



**UFAM**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA**

**ROSIELE DOS SANTOS VASCONCELOS**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO EM UMA FLORESTA  
MANEJADA COMERCIALMENTE NO AMAZONAS**

Manaus - AM  
2015

**ROSIELE DOS SANTOS VASCONCELOS**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO EM UMA FLORESTA  
MANEJADA COMERCIALMENTE NO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração Manejo Florestal.

**Orientador: Dr. Celso Paulo de Azevedo**  
**Co-orientador: Dr<sup>a</sup>. Cintia Rodrigues de Souza**

Manaus - AM  
2015

## Ficha Catalográfica

(Catalogação gerada automaticamente pelo sistema de bibliotecas da UFAM)

	Vasconcelos, Rosiele dos Santos
V331a	Avaliação da Dinâmica do Carbono em uma Floresta Manejada Comercialmente no Amazonas / Rosiele dos Santos Vasconcelos. 2015 90 f.: il. Color; 31 cm.  Orientador: Prof. Dr. Celso Paulo de Azevedo Coorientadora: Dr <sup>a</sup> . Cintia Rodrigues de Souza Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas.  1. Amazônia. 2. Manejo Florestal. 3. Mudanças Climáticas. 4. Cadeia de Markov. I. Azevedo, Prof. Dr. Celso Paulo de (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

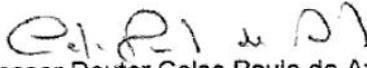


Poder Executivo  
 Ministério da Educação  
 Universidade Federal do Amazonas  
 Faculdade de Ciências Agrárias  
 Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA

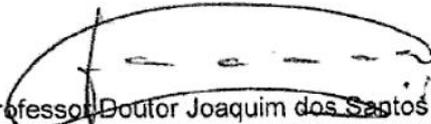


**PARECER**  
 Defesa nº 175

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **ROSIELE DOS SANTOS VASCONCELOS**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado **“AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO EM UMA FLORESTA MANEJADA COMERCIALMENTE NO AMAZONAS”** é de parecer favorável à Aprovação da mestranda habilitando-a ao título de Mestre “*Magister Scientiae*” em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

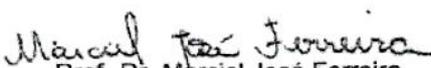
  
 Professor Doutor Celso Paulo de Azevedo  
 Professor da Universidade Federal do Amazonas.  
 Presidente da banca examinadora

  
 Pesquisador Doutor Adriano José Nogueira Lima  
 Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
 Primeiro Examinador

  
 Professor Doutor Joaquim dos Santos  
 Professor da Universidade Federal do Amazonas  
 Segundo Examinador

Manaus, 30 de junho de 2015.



  
 Prof. Dr. Marciel José Ferreira  
 Coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

A Deus;  
Aos meus pais Elias Reis e Rosilene;  
À toda minha família, principalmente, meu irmão Elias Neto.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tens realizado na minha vida e por me suprir de forças para seguir em frente, me dando coragem e perseverança;

Aos meus pais Elias Reis e Rosilene, razão pela qual valem todos meus esforços;

Ao meu querido irmão e mestre Elias Neto pela total dedicação, incentivo, apoio e pela constante disposição de ajudar em tudo;

A minha cunhada Jéssica Carriel, pelo grande apoio nesse período de mestrado, ao meu lindo sobrinho Pedro Victor que com sua alegria renova minhas energias a cada dia.

A Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade da Pós- Graduação e o apoio institucional;

A Embrapa Amazônia Ocidental, através do projeto “Respostas das florestas tropicais úmidas à exploração florestal: novas perspectivas para o manejo florestal na Amazônia-GUIAMAFLOR”, pelo apoio logístico, financeiro e por ceder o banco de dados;

Ao Dr. Celso Paulo de Azevedo e Dra. Cíntia Rodrigues de Souza, pela orientação, sugestões, conselhos, dedicação e conhecimentos repassados durante esse período;

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo;

A empresa Mil Madeiras Preciosas LTDA (Precious Woods Amazon), pelo apoio logístico e disponibilidade dos dados;

Aos professores e colaboradores do curso de Pós- Graduação em Ciências Florestais e Ambientais pelos ensinamentos durante o curso;

Aos amigos de mestrado, Cristina Santos, Alice Rodrigues e Carol Saraiva pelo incentivo e apoio;

Aos amigos bolsistas da EMBRAPA, Larissa Aragão, Cadmiel, Jair e Afonso, pelo apoio;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a execução do trabalho.

AGRADEÇO

## RESUMO

As florestas são importantes sumidouros de carbono que contribuem para mitigar mudanças climáticas, assim, quantificar o estoque de carbono é fundamental para dimensionar este potencial de mitigação. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de curto e médio prazo do sistema silvicultural policíclico, no estoque e dinâmica de carbono de uma floresta manejada comercialmente no Amazonas. Os dados utilizados são provenientes de medições de 41 parcelas permanentes de um hectare cada. Todas as árvores com DAP igual ou maior que 15 cm foram identificadas pelo nome vulgar e tiveram seus diâmetros medidos. Também foram avaliadas as variáveis: classe de identificação do fuste, tratamento silvicultural, iluminação de copa, forma de copa, dano e presença de cipó. Para a quantificação da biomassa acima do nível solo foi utilizada equação ajustada por Chave *et al* (2014) para floresta tropical úmida, e para equação para estimativa de carbono foi considerado 50% da biomassa seca. O estoque de carbono acima do nível do solo estimado para área em estudo é de 165,7 t.ha<sup>-1</sup>. As taxas anuais de recrutamento e mortalidade em carbono foram de 2,94 e 0,38%, respectivamente, com valores de Incremento Periódico Anual em Carbono (IPAc) que variaram de 1,6 a 2,7 t.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>. As variáveis categóricas, iluminação da copa e forma da copa apresentaram correlação significativa com o incremento periódico anual em carbono nos períodos avaliados, o mesmo não ocorreu com as variáveis classe de identificação do fuste e presença e efeitos dos cipós. Na análise de variância houve diferença significativa entre o IPAc e a iluminação de copa e forma da copa em todos os períodos avaliados. Na comparação do estoque de carbono contido na floresta antes e após exploração, considerando o recrutamento e mortalidade, somente os estoque de carbono de 2001 e 2014 na UPA C não apresentaram diferença estatística significativa, em relação as UPAs B e D, todas as comparações de antes e após a exploração apresentaram diferença significativa. Para as médias pareadas de carbono houve diferença significativa antes e após a exploração para todas as UPAs e intervalos, indicando assim que o estoque de carbono vem apresentando uma tendência de crescimento com o passar do tempo. Na análise de variância com medidas repetidas, estoques analisados variaram significativamente com o passar do tempo, o mesmo não ocorreu na interação tempo x UPA. De acordo com as projeções da cadeia de Markov as três unidades de produção anual (UPA B, C e D) apresentaram diferença estatística significativa das projeções estimadas e as observadas para 2014. A cadeia de Markov não foi adequada para projeções a médio prazo.

**Palavras-chave:** Amazônia, Manejo florestal, Mudanças Climáticas, Cadeia de Markov.

## ABSTRACT

Forests are important carbon sinks that contribute to mitigate climatic changes; therefore, measure carbon stock is fundamental to dimension this potential. This study aimed to evaluate the short and long term effects of a polycyclic silvicultural system, in the stock and carbon dynamics of a commercial managed forest in Amazonas. Data used in this study are from 41 permanent plots of one hectare of area. Every tree with DBH equal or above 15 cm was identified by the common name and had its diameter measured. Also the following variables were measured: stem identification class, silvicultural treatment, canopy lighting, form of canopy, damage and the presence of lianas. For biomass above ground quantification it was used equation of Chave *et al.* (2014) adjusted to humid rainforest. For carbon equation it was considered 50% of dry biomass. Carbon stock above ground estimated in the study area is 165,7 t.ha<sup>-1</sup>. Annual rates of recruitment and mortality in carbon were 2,94 and 0,38%, respectively, with values of Periodic Annual Increment in Carbon (PAI<sub>c</sub>) varying from 1,6 to 2,7 t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. The variables crown lighting and form of canopy presented significant correlation with the periodic annual increment in carbon for the periods evaluated, which didn't occur with the variables stem identification class and presence of lianas. In the analysis of variance there was significant difference between PAI<sub>c</sub> and the canopy lighting and canopy form in every period analyzed. Comparing forest carbon stock before and after logging, considering recruitment and mortality, only carbon stocks of 2001 and 2014 in UPA C did not present significant difference, in relation to UPAs B and D, all comparisons of before and after logging presented significant difference. For the carbon paired average there was significant difference before and after logging for all UPAs and intervals, showing that the carbon stock has been presenting a tendency of growth over time. In the analyses of variance with repeated averages, stocks analyzed varied significantly over time, it did not occur in the interaction time x UPA. Accordingly to Markov chains projections the units of annual production (UPA B, C and B) presented statistic difference of projections estimated and observed for 2014. Markov chain was not fit to medium term projections.

**Key-words:** Amazon, Forest Management, Climatic Changes, Markov Chain.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XII
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. HIPÓTESES.....	15
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
4.1 Mudanças Climáticas Globais .....	16
4.2 Estoque e Dinâmica de Carbono .....	17
4.3 Prognose do Estoque de Carbono.....	19
4.4 Sistema Silvicultural Policíclico.....	21
4.5 Manejo Florestal da Empresa Mil Madeiras (PMF).....	22
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
5.1 Localização e Caracterização da Área.....	24
5.2 Monitoramento da Floresta.....	26
5.3 Análise dos Dados .....	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	44
6.1 Análise Descritiva e composição florística .....	44
6.2 Estimativa de estoque de Carbono .....	47
6.3 Taxa de recrutamento e mortalidade .....	48
6.4 Incremento Periódico anual em Carbono (IPA <sub>C</sub> ).....	49
6.5 Análise de correlação de Pearson.....	50
6.6 Análise de Variância (ANOVA) .....	51
6.7 Test t de Student para amostras independentes e pareadas.....	52
6.8 Análise de Variância com Medidas Repetidas .....	55
6.9 Projeções da Dinâmica do Carbono .....	60
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	75
REFERÊNCIAS .....	76
APÊNDICE .....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área total do Plano de Manejo Florestal com a divisão das Unidades de Produção Anual (UPA). Fazenda Dois Mil pertencente à Empresa Mil Madeiras Preciosa Ltda. Itacoatiara-AM.....	25
Figura 2 - Mapa de distribuição das parcelas permanentes nas Unidades de Produção Anual B, C e D. Fazenda Dois Mil pertencente à Empresa Mil Madeiras Preciosa Ltda. Itacoatiara-AM. ....	27
Figura 3 - Parcela permanente (100 m x 100 m) e detalhe de uma subparcela das Unidades de Produção Anual B, C e D instalada na propriedade Fazenda Dois Mil. Itacoatiara-AM. ....	28
Figura 4 - Plaqueta com número de parcela, subparcela e número da árvore, utilizada para numeração das árvores. Fonte: Silva et al. (2005). ....	29
Figura 5 - Classe de identificação do fuste. Fonte: Silva et al. (2005). ....	30
Figura 6 - A) Prática do tratamento silvicultural (anelamento) das árvores, B) Árvore sob tratamento silvicultural (anelamento). Ambos foram realizados na área de manejo da empresa Mil Madeiras Preciosas. Itacoatiara-AM. ....	31
Figura 7 - Classificação dos danos. Fonte: Silva et al. (2005). ....	32
Figura 8 - Classificação iluminação da copa, conforme diretrizes. Fonte: Silva et al. (2005). ....	32
Figura 9 - Classificação da forma da copa. Fonte: Silva et al. (2005). ....	33
Figura 10 - Classificação da presença e os efeitos dos cipós. Fonte: Silva et al. (2005). ....	34
Figura 11 - Evolução da composição florística (Famílias, Espécies e Indivíduos) por Unidade de Produção Anual (UPA). Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosa, Itacoatiara-AM. ....	45
Figura 12 - Dinâmica do estoque do carbono ( $t\cdot ha^{-1}$ ) para cada Unidade de Produção Anual (UPA) e período de medição. Onde Pré - Exploração: B-1996, C-1997 e D-1998. Após exploração: B-1998, C e D-2001. 3º medição: B-2001, C-2014, D-2014. 4ª medição: B-2014. ....	53
Figura 13 - Dinâmica do estoque de carbono do povoamento bruto ( $t\cdot ha^{-1}$ ) para cada Unidade de Produção Anual e período de medição. Onde Pré-Exploração: B-1996, C-1997 e D-1998. Após exploração: B-1998, C e D-2001. 3ª medição: B-2001, C-2014, D-2014. 4ª medição: B-2014. ....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Situação das Unidades de Produção Anual B, C e D, ano de exploração, mês e ano de medição e número de parcelas permanentes mensuradas, da Fazenda Dois Mil pertencente à Empresa Mil Madeiras Preciosa Ltda. Itacoatiara-AM.....	28
Tabela 2 - Histórico da exploração nas UPAs B, C e D, da Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosas, Itacoatiara-AM. ....	35
Tabela 3 - Descrição dos tratamentos para análise de variância. ....	40
Tabela 4 - Componentes de variância do modelo experimental, com fonte de variação, GL (Graus de Liberdade) e Quadrado Médio (QM). ....	41
Tabela 5 - Números de famílias, espécies e indivíduos por Unidade de Produção Anual (UPA) e por períodos de medição. Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosa. Itacoatiara-AM.....	44
Tabela 6 - Valores do teste F da análise de variância obtidos para o número de espécies por parcela, em cada Unidade de Produção Anual (UPA) e a cada período de medição. Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosa, Itacoatiara-AM. ....	46
Tabela 7 - Taxas (%) anuais de mortalidade e recrutamento em carbono acima do solo por intervalos de medição e Unidades de Produção Anual (UPA). Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosas, Itacoatiara-AM. ....	48
Tabela 8 - Incremento Periódico Anual em estoque de carbono ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) calculado para as Unidades de Produção Anual (UPA) B, C e D por intervalos de medição. Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosas, Itacoatiara-AM.....	49
Tabela 9 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre variáveis categóricas do povoamento (Iluminação e forma da copa, Cipó e Classe de Identificação do Fuste (CIF)) e o Incremento Periódico Anual em Carbono ( $IPA_C$ ), antes e após exploração. ....	50
Tabela 10 - Resultados do teste de Tukey para as médias de carbono da variável categórica iluminação da copa para cada período de medição, considerando o povoamento total. Valores seguidos da mesa letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.....	51
Tabela 11 - Resultados do teste de Tukey para as médias de carbono da variável categórica forma da copa para cada período de medição, considerando o povoamento total. Valores seguidos da mesa letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. ....	52
Tabela 12 - Valores médios de estoque (média $\pm$ desvio padrão) de carbono ( $t \cdot ha^{-1}$ ), para cada Unidade de Produção Anual (UPA) e ano de medição, para todos os indivíduos avaliados. Onde UPA B: Exploração 1997, e C e D 1998.....	52
Tabela 13 - Comparação das médias pelo teste t de Student entre os estoques de carbono ( $t \cdot ha^{-1}$ ) dos anos antes e após exploração, considerando o povoamento total. Em que: Exploração B-1997, e C e D 1998.....	53

Tabela 14 - Valores médios (média  $\pm$  desvio padrão) de estoque de carbono ( $t \cdot ha^{-1}$ ), para cada Unidade de Produção Anual (UPA) e ano de medição para amostras pareadas. Onde o ano de exploração: B-1997, e C e D -1998. .... 54

Tabela 15 - MANOVA da interação tempo x tratamento (UPA) e o efeito do tempo para o carbono total considerando o ingresso e a mortalidade..... 56

Tabela 16 - Anova para medidas repetidas no tempo para o carbono total, considerando o ingresso e a mortalidade..... 57

Tabela 17 - MANOVA da interação tempo x tratamento (UPA) e o Efeito do tempo para o carbono dos indivíduos vivos em 2001 e que permaneceram vivos em 2014. .... 57

Tabela 18 - Anova para medidas repetidas no tempo para o número total de carbono dos indivíduos vivos em 2001 e que permaneceram vivos em 2014..... 58

Tabela 19 - MANOVA da interação tempo x tratamento (UPA) x e o Efeito do tempo para o carbono das espécies comerciais, considerando o ingresso e mortalidade..... 59

Tabela 20 - Anova para medidas repetidas no tempo para o número total de carbono das espécies comerciais, considerando o ingresso e mortalidade. .... 59

Tabela 21 - Número de árvores do povoamento que mudaram do estado  $i$  para outro estado  $j$ , por centro de classe de diâmetro, no período de 1996 ( $t$ ) a 2001 ( $t+1$ ), em que estado = classe de DAP, M e I; M = mortalidade. Unidade de Produção Anual B..... 60

Tabela 22 - Matriz de probabilidade de transição (M), por estados, no período de 1996 e 2001 ..... 61

Tabela 23 - Prognose para o período de 1996 e 2001, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1996),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para  $t+1$  (2001) e  $I1$  = número de árvores ingressaram estimado para  $t+1$  (2001)..... 62

Tabela 24 - Prognose para o ano de 2016, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1996),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para 2016 e  $I1$  = número de árvores ingressaram. .... 62

Tabela 25 - Frequências observada (incluindo o ingresso) em 2014 e estimada em 2016, por classe de diâmetro e valores de  $\chi^2$ . Sendo  $\chi^2(1\%) = 21,666$  e  $\chi^2(5\%) = 16,919$  ..... 63

Tabela 26 - Estoque de carbono mensurado e estoque projetado em  $t \text{ ha}^{-1}$ . Em que: Equação 1 (CHAVE et al., 2014) e Equação 2 (SILVA, 2007)..... 63

Tabela 27 - Número de árvores do povoamento que mudaram do estado  $i$  para outro estado  $j$ , por centro de classe de diâmetro, no período de 1997 ( $t$ ) a 2001 ( $t+1$ ), em que estado = classe de DAP, M e I; M = mortalidade. .... 64

Tabela 28 - Matriz de probabilidade de transição (M), por estados, no período de 1997 e 2001 ..... 65

Tabela 29 - Prognose para o período de 1997 e 2001, em que $YO_0$ = número de árvores vivas observadas para $t = 0$ (1997), $YP_1$ = número de árvores vivas prognosticadas para $t+1$ (2001) e $I_1$ = número de árvores ingressaram estimado para $t+1$ (2001).....	68
Tabela 30 - Prognose para o ano de 2013, em que $YO_0$ = número de árvores vivas observadas para $t = 0$ (1997), $YP_1$ = número de árvores vivas prognosticadas para 2013 e $I_1$ = número de árvores ingressaram. ....	68
Tabela 31 - Frequências observada e estimada (incluindo o ingresso) para o ano de 2013, por classe de diâmetro e valores de $\chi^2$ . Sendo $\chi^2(1\%) = 21,666$ e $\chi^2(5\%) = 16,919$ . ....	69
Tabela 32 - Estoque de carbono mensurado e estoque projetado em $t \text{ ha}^{-1}$ . Em que: Equação 1 (CHAVE et al., 2014) e Equação 2 (SILVA, 2007).....	69
Tabela 33 - Número de árvores do povoamento que mudaram do estado $i$ para outro estado $j$ , por centro de classe de diâmetro, no período de 1998 ( $t$ ) a 2001 ( $t+1$ ), em que estado = classe de DAP, M e I; M = mortalidade. ....	70
Tabela 34 - Matriz de probabilidade de transição (M), por estados, no período de 1998 e 2001. ....	71
Tabela 35 - Prognose para o período de 1998 e 2001, em que $YO_0$ = número de árvores vivas observadas para $t = 0$ (1998), $YP_1$ = número de árvores vivas prognosticadas para $t+1$ (2001) e $I_1$ = número de árvores ingressaram estimado para $t+1$ (2001).....	72
Tabela 36 - Prognose para o ano de 2013, em que $YO_0$ = número de árvores vivas observadas para $t = 0$ (1998), $YP_1$ = número de árvores vivas prognosticadas para 2013 e $I_1$ = número de árvores ingressaram. ....	72
Tabela 37 - Frequências observada e estimada (incluindo o ingresso) para o ano de 2013, por classe de diâmetro e valores de $\chi^2$ . Sendo $\chi^2(1\%) = 21,666$ e $\chi^2(5\%) = 16,919$ . ....	73
Tabela 38 - Estoque de carbono mensurado e estoque projetado em $t \text{ ha}^{-1}$ . Em que: Equação 1 (CHAVE et al., 2014) e Equação 2 (SILVA, 2007).....	73

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas têm causado impactos sobre os sistemas naturais e humanos em todos os continentes e através dos oceanos, entretanto, as evidências de impactos de mudanças climáticas são mais fortes e mais abrangentes para os sistemas naturais.

O quinto Relatório de Avaliação do Clima do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), divulgado em 2013, trouxe ainda mais certeza sobre a contribuição das atividades antrópicas nas mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta. Os cientistas concluíram que o homem, com 95% de certeza, está contribuindo com a maior parte do aquecimento global.

As questões relacionadas às mudanças climáticas globais destacam-se como um dos maiores problemas que a humanidade deverá enfrentar em um futuro próximo, sendo que, nas últimas décadas, as discussões sobre as mudanças climáticas globais e seus impactos ambientais e econômicos passaram a fazer parte das principais preocupações da sociedade. Em 1997 foi proposto o Protocolo de Kyoto, com o objetivo de impor metas de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), quando foram criados mecanismos de flexibilização entre países. Dentre esses mecanismos, o único que pode ser utilizado pelos países em desenvolvimento, como no caso do Brasil, é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL permite a compra de créditos de carbono em países em desenvolvimento para abater as reduções de emissões dos países desenvolvidos, que vem emitindo grandes quantidades de carbono desde o início da revolução industrial (HENRIQUES JUNIOR, 2010).

Em 2007, o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima) divulgou em seu relatório sobre o aquecimento global que, na área florestal, existem quatro opções de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas: manejo florestal, redução do desmatamento, florestamento e reflorestamento. No curto prazo, os benefícios da mitigação por meio do manejo florestal e do desmatamento evitado são maiores do que os benefícios do reflorestamento e do florestamento.

Em 2008, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o programa REDD (UN-REDD Programme – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal em Países em Desenvolvimento). Com esta medida, as florestas primárias e, em particular, a floresta amazônica voltaram a desempenhar papel importante no debate sobre neutralização e mitigação. A partir de então, o mecanismo passou a incluir também o incentivo ao manejo

florestal sustentável das florestas e o aumento e preservação dos estoques de carbono florestais, a esse sistema deu-se o nome REDD+ (HIGUCHI et al., 2009).

A floresta amazônica brasileira fornece serviços ambientais à região amazônica, ao Brasil e ao mundo como um todo. Estes serviços podem ser agrupados em manutenção de biodiversidade, ciclo hidrológico e armazenamento de carbono. A partir desse conceito a interação entre floresta e clima começa a se destacar dos demais e a ser dimensionado e valorado. A discussão gira em torno do papel das florestas sobre as mudanças climáticas globais, às vezes como fonte de gases de efeito estufa durante o processo de uso alternativo do solo (desmatamento e queimadas), outras vezes como sumidouro, quando está sob manejo florestal sustentável ou mesmo em condições naturais (FEARNSIDE, 2008).

Segundo Santos (1996), o manejo adequado dos povoamentos florestais é importante para que os mesmos sejam transformados em sequestradores de carbono, sendo esta a principal alternativa para a área remanescente da floresta amazônica. As técnicas de manejo florestal devem ser aplicadas de formas adequadas, e aliado ao desenvolvimento dessas técnicas, pesquisas devem ser desenvolvidas para um melhor entendimento do processo de recuperação. O manejo florestal é fundamental como forma de reconhecer a necessidade de manutenção das florestas tropicais, tornando-o competitivo economicamente, invertendo a relação de valor entre as florestas e a agricultura e pecuária, e assim minimizar o desmatamento na região amazônica (SCHWARTZ et al., 2012).

É necessário reconhecer a vocação florestal dessa importante porção de nosso território, assegurando o desenvolvimento da região e, ao mesmo tempo, garantindo a conservação de seu imenso patrimônio natural. Nesse contexto, o entendimento do comportamento da floresta tropical após a exploração é de extrema importância para orientar o seu manejo. Atualmente existe uma demanda grande para este tipo de informação, tendo em vista a necessidade de alternativas para o desenvolvimento sustentável da região em um cenário de mudanças climáticas (AZEVEDO, 2006).

Nesse aspecto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos de curto e médio prazo do sistema silvicultural policíclico, no estoque e dinâmica de carbono de uma floresta ombrófila densa de terra firme no estado do Amazonas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os efeitos de curto e médio prazo do sistema silvicultural policíclico, no estoque e dinâmica de carbono de uma floresta ombrófila densa de terra firme no estado do Amazonas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Quantificar o estoque de carbono em uma floresta manejada comercialmente;
- Analisar o efeito do sistema silvicultural sobre a dinâmica do povoamento florestal remanescente, com base na mortalidade, ingresso e incremento em carbono;
- Identificar o potencial de recuperação do estoque de carbono das espécies comerciais e não comerciais após a exploração;
- Definir a influência do sistema silvicultural policíclico na dinâmica do carbono da floresta;
- Validar os resultados para projeções da cadeia de Markov.

## **3. HIPÓTESES**

- As variações nas taxas de recrutamento e mortalidade, e no incremento em carbono, são influenciadas pelo sistema silvicultural policíclico;
- A dinâmica do carbono da floresta varia com a intensidade média de corte.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Mudanças Climáticas Globais

De acordo com o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, mudanças climáticas referem-se a alterações no estado do clima que podem ser identificadas por mudanças na média e/ou na variação das suas propriedades e que persistem durante um longo período de tempo. A mudança climática pode ocorrer tanto por meio de processos internos naturais ou forças externas, como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e as mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso da terra (IPCC, 2013).

Anualmente, uma grande quantidade de carbono vindo da queima de combustíveis fósseis e de mudanças do uso da terra é lançada à atmosfera. Como consequência, há o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), causando o chamado efeito estufa. De acordo com especialistas de todo o mundo, esse aumento da concentração de gás carbônico pode resultar em mudanças permanentes no clima (SOARES; OLIVEIRA, 2002).

As estimativas indicavam que o aumento esperado na temperatura deverá ser entre 1 e 4 °C até o ano 2100 (sendo que o valor mais provável ficará próximo de 3 °C), se as fontes emissoras de gases de efeito estufa (GEE) não forem controladas, como a queima de combustíveis fósseis e as atividades de mudança de uso da terra (SOUZA, 2012).

Em virtude desse panorama, em 1997 foi elaborado o Protocolo de Kyoto, que entrou em vigor em fevereiro de 2005. Esse Protocolo previu que as emissões de gases de efeito-estufa, no período de 2008 a 2012, fossem reduzidas, em média, a 5,2% abaixo dos níveis de 1990 (ano de inventário dos gases). A vigência deste acordo terminou em 2012, e diversas tentativas de continuidade dos compromissos firmados são feitas, porém sem sucesso devido, principalmente, a discordâncias entre os países a respeito das responsabilidades dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (RIBEIRO et al., 2010).

O Protocolo de Kyoto limita emissões dos seis gases que provocam o efeito estufa: metano (CH<sub>4</sub>); óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); hidrofluorcarbono (HFC); perfluorcarbono (PFC); hexafluorsulfúrico (SF<sub>6</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Além da redução interna, os países têm mais três mecanismos de flexibilização: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (SILVA, 2009). De acordo com Nobre et al., (2001), os vários cenários de mudanças climáticas para o país modelados em função dos diversos cenários de emissões de gases do efeito estufa para os próximos 100 anos, indicam a

possibilidade de impactos climáticos significativos nos ecossistemas brasileiros, sobretudo os já fragilizados pelo incorreto uso dos recursos naturais.

As mudanças climáticas já em ocorrência são apenas evidências obtidas por meio de observações em todos os continentes e na maior parte dos oceanos que mostram muitos sistemas naturais afetados por mudanças locais ou regionais, com o aumento de temperatura e/ou precipitação (IPCC, 2007).

De acordo com a primeira parte do quinto relatório do IPCC lançado em 27 de setembro de 2013 os cientistas tratam como fato o aumento médio de 0,85 °C na temperatura global entre 1880 e 2012 e que é “muito provável” que desde 1950 tenha havido redução de dias e noites mais frios e aumento de dias e noites mais quentes em todo o planeta. A temperatura da superfície do oceano teve aumento de 0,11 °C por década entre 1971 e 2010, e a água marinha está mais ácida, fator que pode prejudicar o ecossistema. Um ponto considerado polêmico do documento, o chamado "hiato" da mudança climática, foi mantido. O trecho explica que houve uma "desaceleração" no aumento da temperatura global entre 1998 e 2012, com taxa de aquecimento de 0,05 °C por década, enquanto que período entre 1951 e 2012, essa taxa era de 0,12 °C. Para o IPCC, esta desaceleração sentida não significa uma mudança de curso no aquecimento do planeta (IPCC, 2013).

Ao avaliar quatro cenários de emissões de gases, o IPCC fez previsões de que até 2100 a temperatura no planeta pode aumentar entre 0,3 °C e 1,7 °C (no cenário mais brando, com menos emissões e políticas climáticas implementadas) e entre 2,6 °C 4,8 °C se não houver controle do lançamento de gases-estufa. O relatório aponta também que é forte a evidência de que as camadas polares e glaciares do Ártico e Antártica têm perdido massa de gelo e reduzido sua extensão oceânica (IPCC, 2013).

Para o Brasil, no que diz respeito ao uso do solo, a principal oportunidade de mitigar o efeito estufa consiste em reduzir o desmatamento, como resultado do papel importante desempenhado pelas fontes renováveis de energia usadas na geração de eletricidade e combustíveis. Isso faz com que as emissões per capita do país estejam em níveis muito mais baixos em comparação com outros países (GOUVELLO, 2010).

#### **4.2 Estoque e Dinâmica de Carbono**

As florestas desempenham papel primordial no ciclo do CO<sub>2</sub> atmosférico. Armazenam grande quantidade de carbono na vegetação e no solo, compartilhando carbono no ecossistema por meio dos processos de fotossíntese, respiração e decomposição. São fontes de dióxido de carbono atmosférico quando perturbadas por causas antrópicas ou naturais e

convertem-se em sumidouros mediante o crescimento e a produção de biomassa. Enfim, podem ser manejadas para cumprir seu papel no ciclo global do carbono atmosférico (BROWN, 1997).

As árvores agem como um sumidouro por fixar carbono durante a fotossíntese e estocar o carbono excessivo como biomassa. A dinâmica líquida, em longo prazo, de fixação/emissão de carbono das florestas pode tornar-se positiva. Por outro lado, as influências humanas nas florestas podem afetar a dinâmica de carbono por fatores como a utilização de combustíveis fósseis e a extração da biomassa. Entretanto, de forma geral, aumentando o número de árvores pode-se potencialmente reduzir o acúmulo de carbono na atmosfera (NOWAK; CRANE, 2002). Estimativas variam amplamente sobre as quantidades de biomassa e de carbono estocados em florestas amazônicas.

A maioria dos estudos aplica modelos alométricos para estimar a biomassa lenhosa acima do solo transformando dados de inventários florestais em estimativas de estoque de biomassa e carbono. Para Clark (2002) a escolha do modelo alométrico acarreta a veracidade dos resultados e para Chave et al. (2004) o modelo a ser escolhido tanto é mais confiável quanto se utilizar mais parâmetros.

Chambers et al. (2001) estabeleceram nas duas reservas do INPA, BIONTE (Biomassa e Nutriente) e BDFFP (Biological Dynamics of Forest) um experimento para monitorar a biomassa em parcelas permanentes. Baseados em 315 árvores derrubadas com DAP > 5cm, eles elaboraram modelos alométricos para prever biomassa através do DAP e compararam os valores obtidos com mais cinco modelos alométricos de outras florestas tropicais. Dois destes modelos indicaram grandes discrepâncias em relação com os valores determinados, enquanto três indicaram estimativas semelhantes de biomassa. A média de 21 ha de florestas de terra-firme indica uma biomassa seca lenhosa de 324 t ha<sup>-1</sup>.

Malhi et al. (2006) mostram um mapa com estimativas de biomassa lenhosa seca para toda a Amazônia baseado em 227 parcelas variando de 200 t.ha<sup>-1</sup> até acima de 350 t.ha<sup>-1</sup>. Saatchi et al. (2007) realizaram previsões de biomassa viva baseadas em 544 parcelas e fizeram uma extrapolação aplicando técnicas de sensoriamento remoto para toda bacia amazônica. Eles estimam um estoque de carbono de 77-95 t ha<sup>-1</sup> incluindo biomassa morta e biomassa abaixo do solo. Os autores apresentam estimativas médias que variam de acordo com o tipo de floresta. Para floresta densa 272,5 t ha<sup>-1</sup>; floresta decídua/sazonal 225,6 t ha<sup>-1</sup>; e floresta de várzea 248 t ha<sup>-1</sup>.

Schongart et al. (2004) realizaram estimativas de estoques e sequestro de carbono na biomassa lenhosa em floresta alagáveis para floresta de várzea, comparando seis diferentes

modelos alométricos de terra-firme que utilizam 1 a 3 variáveis independentes. Os autores concluíram que dependendo do estágio sucessional as estimativas de biomassa lenhosa variaram entre 15 a 251 t ha<sup>-1</sup>.

Alguns trabalhos avaliaram o estoque de carbono em florestas primárias localizadas em outras regiões. Glenday (2006) avaliou o estoque e o potencial de emissões de carbono em florestas primárias no Quênia. Nestas florestas, a quantidade média de carbono estocado é de 330 ± 65 t C ha<sup>-1</sup>, mais do que em florestas plantadas de coníferas (280 ± 77 t C ha<sup>-1</sup>) e de folhosas (250 ± 77 t C ha<sup>-1</sup>). Sierra et al. (2007) realizaram o mesmo tipo de estudo na Colômbia e concluíram que a média de carbono estocado nas florestas primárias do país é de 383,7 ± 55,5 t C ha<sup>-1</sup>, sendo que 59% desse valor se referem ao carbono estocado no solo até a profundidade de quatro metros, 29% se referem à biomassa acima do solo, 10% à biomassa abaixo do solo e 2% à matéria morta. Com isso os autores afirmam que a mensuração apenas da biomassa acima do solo subestima em muito o estoque de carbono nos ecossistemas florestais.

#### **4.3 Prognose do Estoque de Carbono**

A prognose ou predição da produção é geralmente feita mediante emprego de modelos de crescimento e produção. Os modelos são ajustados com base em dados de crescimento e produção obtidos de inventário florestal contínuo ou monitoramento de parcela permanentes (SOUZA; SOARES, 2013).

A determinação precisa do crescimento florestal é de grande importância para os manejadores florestais. A área basal e o volume do povoamento podem ser convenientemente calculados utilizando o número de árvores contidas em cada classe de diâmetro. O crescimento do povoamento pode ser estimado a partir de mudanças nas frequências das árvores, que resultam do movimento das árvores entre as classes de diâmetro e por meio da mortalidade. A precisão da prognose do crescimento dependerá principalmente da precisão das mudanças nas classes de diâmetros estimados (BRUNER; MOSER JR, 1973).

A matriz de transição é um processo estocástico utilizado para estudar fenômenos que passam, a partir de um estado inicial, por uma sequência de estados, onde a transição entre estados ocorre segundo uma certa probabilidade (Arce et al., 2001). As principais vantagens do uso da matriz de transição são a facilidade com que ela é construída e a possibilidade de desenvolvimento do modelo com apenas duas medições. Como desvantagens pode-se citar que a projeção somente pode ser feita para períodos múltiplos dos da construção da matriz inicial e o fato de que o recrutamento não pode ser projetado (BRUNER; MOSER JR, 1973;

BUONGIORNO; MITCHIE, 1980; VALENTINE; FURNIVAL, 1989; SANQUETTA et al., 1996).

Dentre os modelos de crescimento e produção por classe de diâmetro, a Cadeia de Markov ou matriz de transição é um importante instrumento para viabilizar a prognose da produção em florestas nativas. A prognose a partir deste método é feita através da estimativa da probabilidade de transição dos diâmetros entre classes diamétricas. Estas projeções não devem ser realizadas para períodos de tempo longos, haja vista que o desempenho dos modelos é condicionado a dois pontos básicos: 1) 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; 2) a projeção da estrutura da floresta depende somente do estado atual, não sofrendo efeito de qualquer característica passada da floresta (SCOLFORO, 1997).

A matriz de Markov é utilizada na prognose e no desenvolvimento de povoamentos inequiâneos. Esse modelo utiliza o conceito de estado. Estados são situações em que uma árvore pode ser encontrada, como, por exemplo: ingresso, classe de diâmetro, mortalidade e colheita. (FREITAS; HIGUCHI, 1993; TEIXEIRA et al., 2007; VASCONCELOS et al., 2009).

Os pontos mais importantes na montagem de uma Cadeia de Markov são a definição de estados do sistema e a construção da matriz de transição probabilística (Arce et al., 2001). De acordo com Enright e Ogden (1979), o único requisito para a utilização do modelo matricial é que a população possa ser dividida em estados ou compartimentos, e que haja a probabilidade de movimento de um estado para outro no tempo.

Entre os modelos de matrizes de transição, a cadeia de Markov foi utilizada por vários pesquisadores na prognose e no desenvolvimento de povoamentos inequiâneos, como: Buongiorno e Mitchie (1980); Mitchie e Buongiorno (1984); Solomon et al. (1986); Freitas e Higuchi (1993); Azevedo (1993); Azevedo et al. (1995), dentre outros.

Freitas e Higuchi (1993) avaliaram projeções feitas para 1990 e fizeram novas projeções de crescimento para 1995 e 2000, para uma floresta não manejada na região de Manaus/AM, utilizando a cadeia de Markov. Não houve diferença significativa entre frequências projetadas e observadas para a mortalidade e a sobrevivência nas classes diamétricas, enquanto que para a distribuição diamétrica a diferença foi significativa, fato atribuído pelos autores ao modelo utilizado inicialmente, que não permitia a simulação do recrutamento.

Sanquetta et al., (1996) utilizaram matrizes de transição para avaliar uma floresta natural do Japão mensurada nos anos de 1984 e 1987. Os autores fizeram projeções referentes à área basal e o número total de árvores do povoamento, concluindo que estes dois parâmetros retornarão às condições iniciais doze anos após o corte.

Souza (2012) utilizou a Cadeia de Markov para prognosticar a distribuição diamétrica de floresta manejada e não manejada para projetar o estoque futuro de carbono, em Manaus-AM. Comparando-se com os estoques mensurados para o local, pode-se concluir que, se for confirmada a projeção da dinâmica, a floresta vai sequestrar carbono nos próximos anos, aumentando seu estoque para cerca  $160 \text{ t ha}^{-1}$ , o que estaria dentro do intervalo de confiança estabelecido por Lima (2010).

#### **4.4 Sistema Silvicultural Policíclico**

Sistema Silvicultural é um conjunto de atividades encadeadas no tempo, através das quais os componentes da colheita de uma floresta são removidos, substituídos e assistidos, com o objetivo de otimizar a produção da floresta. A literatura menciona dezenas de sistemas silviculturais, muitas vezes sem conseguir individualizá-los adequadamente, o que leva a considerar que muitos deles, são, na verdade, variações em parâmetros como ciclo de corte, diâmetro de corte, etc. A análise detalhada desses sistemas indica que se pode individualizar apenas cerca de quatro ou cinco deles (LAMPRECHT, 1990).

Os sistemas silviculturais aplicados em florestas tropicais classificam-se, basicamente, em duas categorias: sistemas monocíclicos e sistemas policíclicos. No sistema monocíclico (uniforme), praticamente extinto, pressupõe a colheita em um único corte e o retorno após cumprido o período da rotação da floresta, que é baseada nas mudas das espécies comerciais existentes no momento do primeiro corte. Os ciclos de corte dependem do crescimento médio das espécies a regenerar, mas em geral são longos, entre 70 a 100 anos. Em virtude disto, há necessidade de imobilizar grandes áreas florestais para atender o princípio da produção sustentada. Um exemplo clássico é o Sistema Uniforme Malaio (HIGUCHI, 1996).

No sistema policíclico todas as árvores comerciais, ou parte destas, que atingiram o tamanho de corte são retiradas. As árvores de tamanho intermediário permanecem e passam a constituir o estoque do próximo corte. Por isso os ciclos de corte são bem menores do que os do sistema monocíclico, variando de 20 a 40 anos. Exemplos são os sistemas Seletivos da Indonésia, Seleção de Gana e o CELOS do Suriname (HIGUCHI, 1996).

O Sistema de Seleção (SS) é um sistema policíclico, baseado na regeneração ou enriquecimento, em que o corte é seletivo, com seleção pelo tamanho (DAP) ou pelas

espécies. A assistência pode ser sistemática ou seletiva e de intensidade variável, aplicado em florestas muito heterogêneas com ciclos de corte curtos. O sistema seletivo tem sido recomendado por pesquisadores (SILVA, 1989; CARVALHO, 1992; SOUZA; JARDIM, 1993; SILVA et al., 1995) como o mais adequado para o manejo das florestas tropicais como a Amazônia.

Um sistema silvicultural, mesmo o seletivo, para poder ser adotado no manejo de uma floresta deve ser ajustado às características dessa floresta, pois as espécies comerciais e suas distribuições diamétricas variam de floresta para floresta. Assim sendo, em termos gerais, pode-se definir apenas o tipo de operação, mas não a sua intensidade. Na Amazônia existem algumas propostas de sistemas seletivos como o Sistema de espécies listadas (SEL) do INPA e o sistema Brasileiro da EMBRAPA Amazônia Ocidental. Ambos são sistemas policíclicos baseados no conceito do diâmetro mínimo de corte (JARDIM, 1993).

Os sistemas silviculturais utilizados para o manejo florestal nos países com florestas tropicais são, na realidade, adaptações dos modelos clássicos (principalmente europeus) desenvolvidos para as florestas temperadas. As primeiras experiências silviculturais voltadas ao manejo florestal foram executadas na Índia e Myanmar (antiga Birmânia), em meados do século XIX (HIGUCHI, 1996).

Segundo Lamprecht (1990), a história do manejo florestal nos trópicos só começou a ser contada depois do surgimento dos reinos coloniais europeus. O botânico alemão Dietrich Brandis escreveu em 1860, na Índia, o primeiro plano de ordenamento para teca (*Tectona grandis*) de Myanmar, desenvolve o método de "taungya" e funda o serviço florestal indiano. A revista "The Indian Forester" começou a ser publicada em 1875. O primeiro manual de silvicultura tropical foi publicado em 1888, na Índia.

#### **4.5 Manejo Florestal da Empresa Mil Madeiras (PMF)**

As informações contidas nesse tópico fazem parte do plano de manejo florestal da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda (Precious Woods Amazon).

A área total da empresa Mil Madeiras é, atualmente, de 202.104,776 ha, abrangendo áreas dos municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga, no estado do Amazonas. Visando a manutenção da biodiversidade, apenas 140.975,82 ha são destinados à produção florestal, significando que 30% da área florestal manejada, é preservada entre as áreas de preservação permanente e áreas de preservação absoluta, seguindo os preceitos da legislação e os princípios da certificação florestal. A área total da propriedade a ser estudada é de 80.729,50 ha e área de manejo é de 65.985,00 ha.

A quantidade de madeira que pode ser colhida é estabelecida dentro de critérios e limites ambientais. A empresa fomenta a introdução de novas espécies no mercado, por conta disso, já foram manejadas mais de 60 espécies diferentes de madeira, com o objetivo de diminuir a pressão sobre espécies mais valiosas e procuradas, e que correm risco de extinção. A área de Manejo é dividida em Unidades de Produção Anual (UPA), com um tamanho variado, de 2 a 13 mil hectares.

O Plano de Manejo Florestal (PMF) da propriedade é baseado no Sistema Celos, desenvolvido no Suriname pela Universidade de Wageningen na Holanda, e adequado à realidade local com base em pesquisas realizadas pela EMBRAPA e INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia). O Celos é um sistema policíclico que se caracteriza pela exploração de baixo impacto e tratamentos silviculturais baseados na regeneração natural, que garante futuras colheitas e o fornecimento de matéria prima em longo prazo.

#### **4.5.1 Sistema Silvicultural CELOS**

Este sistema tem como objetivo estimular o crescimento das árvores comerciais residuais de tamanho grande a médio porte, em florestas que sofreram exploração seletiva de modo que os cortes subsequentes possam ser realizados em ciclos de 20-25 anos. Diversos experimentos silviculturais conduzidos desde 1967 serviram de base para a proposição desse sistema. Recomenda-se uma intensidade de exploração de  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , seguida de três refinamentos no decorrer do período de regeneração, utilizando arboricidas. Os resultados experimentais mostraram que se pode obter incrementos volumétricos de  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  e incrementos em diâmetro de 9-10 mm  $\text{ano}^{-1}$ . Espera-se com este sistema, uma produção de  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  no final do ciclo de corte. Uma tentativa de aplicação do sistema em escala empresarial teve que ser interrompida devido aos problemas políticos do país (JARDIM; SOUZA, 1993).

No Suriname, em 1967, foi instalada uma área demonstrativa de manejo florestal usando o sistema silvicultural CELOS, que incluiu tratamentos de liberação e de refinamento com arboricidas. Nos primeiros 14 anos após a exploração seletiva de madeira, o incremento periódico anual das espécies comerciais variaram de 2 a  $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , dependendo da lista de espécies considerada, principalmente, para as primeiras classes de diâmetro (DE GRAAF, 1986).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

Esta dissertação está vinculada ao projeto “**Respostas das florestas tropicais úmidas à exploração florestal: novas perspectivas para o manejo florestal na Amazônia-GUIAMAFLOR**”. Os sítios avaliados nesse projeto estão inseridos na rede Internacional de florestas tropicais "Floresta Observatório Tropical - TMFO". O TmFO é uma rede pan-tropical, engloba 490 parcelas florestais permanentes espalhados por toda bacia Amazônica, bacias do Congo e no Sudeste Asiático. A rede investiga a resposta das florestas tropicais à exploração madeireira, em termos de dinâmica de biomassa e as mudanças na composição de espécies ao longo do tempo, representando uma oportunidade para ganhar a compreensão e comparar as respostas florestais em escalas regionais e continentais. Estes resultados fornecem base sólida para a política e os profissionais florestais para construir a nova orientação para o manejo florestal e das florestas tropicais de forma sustentável.

O projeto tem como objetivo produzir uma síntese do conhecimento sobre o funcionamento das florestas após a exploração para melhorar os planos de gestão, envolvendo diferentes parceiros de pesquisa. Este projeto baseia-se na análise de pós-exploração dos dados de monitoramento da dinâmica da floresta a partir de 99 parcelas permanentes distribuídas em três sítios da Amazônia (Guiana, Amapá e Amazonas). A hipótese adotada é que o manejo florestal se torne um instrumento de gestão importante no território amazônico.

A primeira atividade do projeto será dedicada à análise da capacidade das florestas geridas de forma sustentável para a produção de madeira e produtos não madeireiros, mantendo os serviços ambientais (sua diversidade florística e estoque de carbono), nesta fase serão realizadas caracterizações florestais e ambientais em cada sítio; construção de modelos, nesse caso serão utilizados equações de Chave et al. (2014) para estimativa de biomassa aérea; utilização de ferramentas, como construção de rotinas no programa R; e análises dos dados. A segunda atividade será a realização de uma análise prospectiva sobre a importância e o papel da gestão florestal para a próxima década no contexto de mudanças que atualmente caracterizam a Amazônia brasileira.

### 5.1 Localização e Caracterização da Área

Para este estudo foram utilizados dados de parcelas permanentes da Fazenda Dois Mil de propriedade da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda (Precious Woods Amazon) localizada no município de Itacoatiara - Amazonas, a 227 km a leste de Manaus. A área

florestal está localizada entre as latitudes 2° 43' e 3° 04' S e longitudes 58° 31' e 58° 57' W (Figura 1).

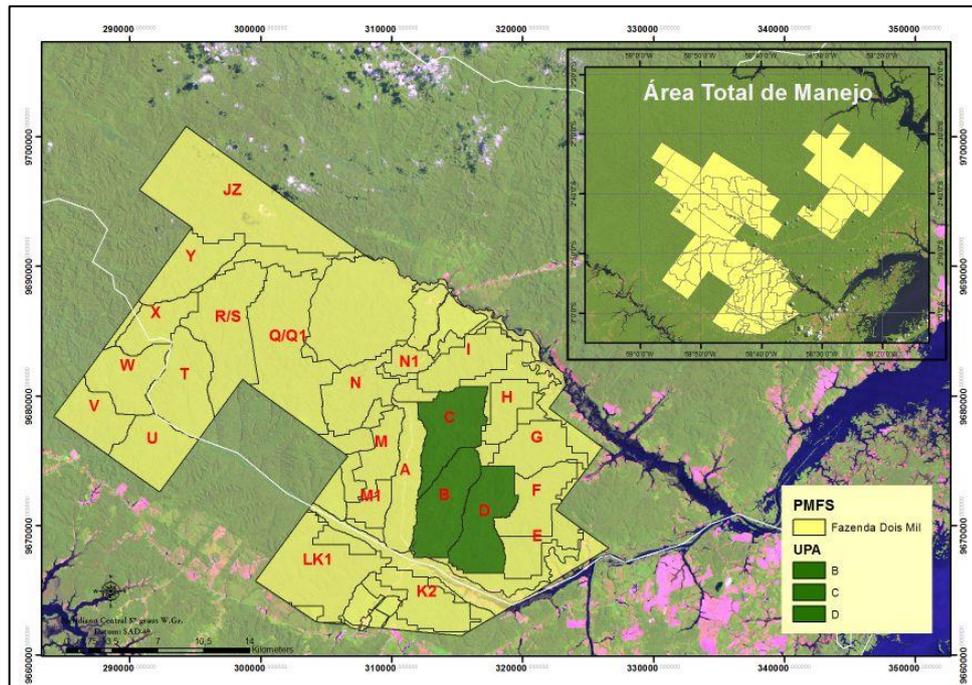


Figura 1 - Área total do Plano de Manejo Florestal com a divisão das Unidades de Produção Anual (UPA). Fazenda Dois Mil pertencente à Empresa Mil Madeiras Preciosa Ltda. Itacoatiara-AM.

### a) Vegetação

A área de estudo corresponde a uma floresta tropical fechada de terras baixas da sub-região de baixos platôs da Bacia Amazônica (RADAMBRASIL, 1978). Essa tipologia caracteriza-se em função de um clima quente e elevadas precipitações com platôs de origem Terciária e sobre terraços de rios recentes ou mais velhos. Na cobertura vegetal pode-se observar diversos estratos, estes formados por plantas herbáceas ou lenhosas, subarbustos, arbustos e por árvores que variam de médio a grande porte, atingindo em média 40 m de altura (RIBEIRO et al., 1999). Esses tipos de florestas são conhecidas como uma categoria de árvores emergentes, com as espécies alcançando o topo das árvores dominantes.

### b) Clima

Na classificação de Köppen o clima da área caracteriza-se por ser chuvoso, do tipo *Amw* (chuvas do tipo monções), correspondendo uma variedade *Am*, diferindo apenas por apresentar as maiores quedas pluviométricas durante o outono. A precipitação pluviométrica é de cerca de 2.200 mm, diminuindo bastante nos meses de agosto e outubro. A temperatura

média anual é de 26°C e a umidade relativa do ar é de 80% ao longo do ano (RADAMBRASIL, 1978).

### **c) Solos**

Os solos predominantes na área, de acordo com o mapa geral de solos do Brasil, estão classificados no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos. A área de estudo está inserida na microrregião Médio Amazonas, com baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio e solos de textura argilosa (RADAM BRASIL, 1978).

Normalmente os solos dos platôs apresentam um alto teor de argila, porém nas encostas esses tipos de solo possuem uma camada superficial arenosa e nas partes baixas ocorrem extensas áreas de depósitos de areia de quartzo branco, profundas e puras. A cobertura pela vegetação da floresta primária lhe oferece uma razoável drenagem, no entanto são vulneráveis à compactação quando molhados, apresentando um solo com presença de nutrientes e capacidade de absorção muito baixa. A saturação de bases é abaixo de 10% e o PH é de baixo valor, variando entre 3,7 e 4,7, apresentando um solo ácido.

### **d) Topografia**

A área apresenta platôs levemente inclinados, com algumas encostas bastante íngremes, apresentando de 5 a 20 m de profundidade, com declives de 100 a 400, sendo o ponto mais alto da área com 128 m e o mais baixo com 40 m, com distância em linha reta entre esses pontos de 40 km. A formação vegetal típica da região é a floresta tropical densa, composta de platôs bem drenados e abriga uma floresta significativamente mais densa do que nos declives e nos igapós. Estima-se que a vegetação de igapó e campinarana correspondam a 30% da floresta pertencente à empresa.

## **5.2 Monitoramento da Floresta**

### **5.2.1 Instalação das parcelas permanentes**

Os dados que foram utilizados nesse projeto são provenientes de parcelas permanentes das Unidades de Produção Anual (UPA) B, C e D (Figura 2). A situação das Unidades de Produção Anual, tais como, ano de exploração, os anos em que foram medidos e remedidos e o número de parcelas em cada compartimento podem ser observados na Tabela 1.

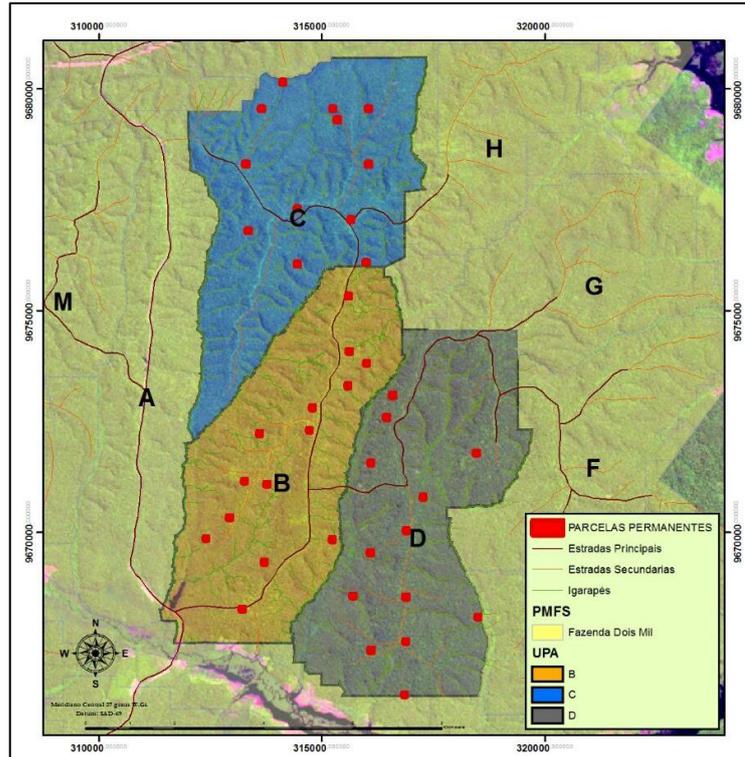


Figura 2 - Mapa de distribuição das parcelas permanentes nas Unidades de Produção Anual B, C e D. Fazenda Dois Mil pertencente à Empresa Mil Madeiras Preciosa Ltda. Itacoatiara-AM.

As parcelas foram implantadas com área de um hectare cada (100 m x 100 m) conforme a metodologia adotada por Silva e Lopes (1984). Cada parcela foi dividida em 100 subparcelas de 10 m x 10 m (Figura 3).

### 5.2.2 Procedimentos de Medição

Todos os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 15 cm foram identificados e medidos em todas as subparcelas. Cada subparcela recebeu uma sequência de numeração própria e os números das árvores são únicos não sendo permitido repetir, na mesma subparcela, o número de uma árvore morta em outra que esteja ingressando. Os indivíduos foram identificados botanicamente em nível de espécie, e os nomes botânicos apresentados foram conferidos com o banco dados público do Missouri Botanical Garden. As variáveis tomadas para cada árvore foram: DAP, classe de identificação do fuste (CIF), tratamento silvicultural, iluminação da copa, forma da copa, danos e presença e efeito dos cipós (SILVA et al., 2005).

Tabela 1 - Situação das Unidades de Produção Anual B, C e D, ano de exploração, mês e ano de medição e número de parcelas permanentes mensuradas, da Fazenda Dois Mil pertencente à Empresa Mil Madeiras Preciosa Ltda. Itacoatiara-AM.

ÁREA	EXPLORAÇÃO	MEDIÇÃO	MÊS	ANO	N <sup>o</sup> PARCELAS
B	1996/1997	01	Dez	1996	14
		02	Mai	1998	
		03	Mar	2001	
		04	Ag	2014	
C	1997	01	Out	1997	13
		02	Ago	2001	
		03	Dez/Fev	2014	
D	1998	01	Abr	1998	14
		02	Out	2001	
		03	Nov	2014	

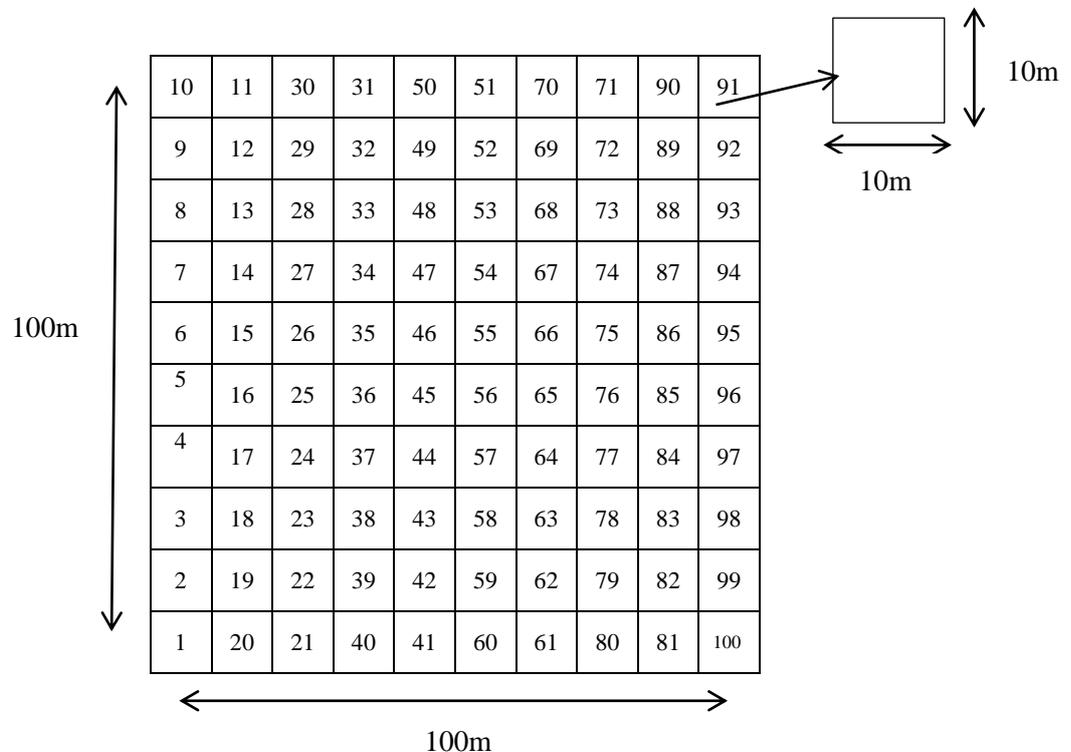


Figura 3 - Parcela permanente (100 m x 100 m) e detalhe de uma subparcela das Unidades de Produção Anual B, C e D instalada na propriedade Fazenda Dois Mil. Itacoatiara-AM.

- **Número da árvore**

Cada indivíduo mensurado recebeu uma plaqueta de alumínio e foi identificado por nome comum, no momento da medição. O número presente nas plaquetas é composto por seis dígitos: os dois primeiros dígitos identificando a parcela, o terceiro e o quarto identificando a subparcela e os dois últimos dígitos identificando o número da árvore (Figura 4). Cada subparcela teve sua sequência própria de numeração. Este procedimento facilita a reconstrução da parcela no caso do desaparecimento dos marcos (piquetes).

As plaquetas foram fabricadas a partir de folhas de alumínio com 3mm de espessura e os números impressos com punção (Figura 4). Essas plaquetas foram pregadas a aproximadamente 10 centímetros acima do ponto de medição do diâmetro.

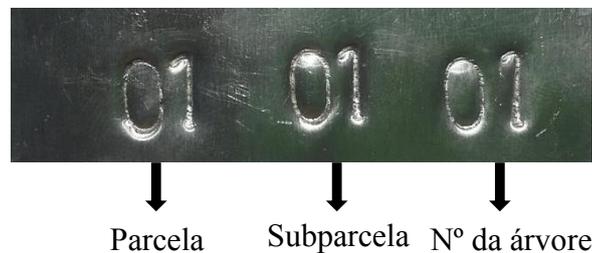


Figura 4 - Plaqueta com número de parcela, subparcela e número da árvore, utilizada para numeração das árvores. Fonte: Silva et al. (2005).

- **Medição do diâmetro**

Os diâmetros foram medidos com uma fita diamétrica com precisão em milímetros, em um ponto fixo do tronco, denominado ponto de medição - PDM, estabelecido a 1,30 m do solo e marcado com tinta a base de óleo vermelha. O mesmo deve estar livre de cipós ou de qualquer anormalidade (sapopemas) que leve a erros de leitura. Em casos de indivíduos com presença de cipó, o mesmo foi retirado, e no caso o ponto de medição foi mudado para um ponto acima, e registrado na ficha de campo a mudança do PDM. Em casos de bifurcação medidos os dois fustes individualmente.

- **Classe de identificação do fuste (CIF)**

A classe de fuste é determinada por meio de códigos numéricos que indicam o estado de sanidade das árvores, conforme Figura 5. O estabelecimento das categorias do CIF está descrito da seguinte maneira:

1. Árvore viva em pé com o fuste completo;
2. Árvore viva em pé, sem copa, com o fuste igual ou maior que 4,0 m de comprimento;
3. Árvore viva em pé, sem copa, com o fuste menor que 4,0 m de comprimento;
4. Árvore viva caída;
5. Árvore morta por causa natural;
6. Árvore morta por exploração;
7. Árvore morta por tratamento silvicultural;
8. Árvore colhida (toco de exploração);
9. Árvore não encontrada.

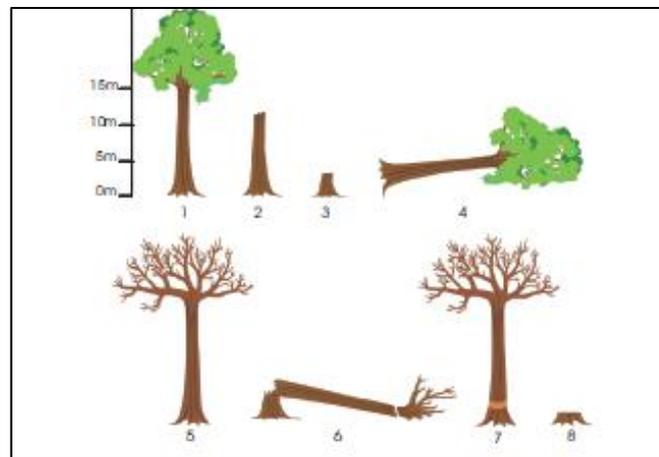


Figura 5 - Classe de identificação do fuste. Fonte: Silva et al. (2005).

- **Situação silvicultural**

A situação silvicultural é determinada por meio de códigos numéricos que indicam as ações silviculturais aplicadas na floresta, um exemplo da aplicação de anelamento pode ser observado na Figura 6. O estabelecimento das categorias da situação silvicultural está descrito da seguinte maneira:

1. Árvore reservada para colher;
2. Árvore anelada;
3. Árvore anelada e tratada com produto químico;
4. Árvore beneficiada por tratamento silvicultural;
5. Árvore não reservada nem tratada.



Figura 6 - A) Prática do tratamento silvicultural (anelamento) das árvores, B) Árvore sob tratamento silvicultural (anelamento). Ambos foram realizados na área de manejo da empresa Mil Madeiras Preciosas. Itacoatiara-AM.

- **Danos**

Os danos nas árvores são determinados por meio de códigos numéricos que indicam a intensidade do impacto da exploração às árvores remanescentes, como também o impacto de tratamentos silviculturais e de fenômenos naturais como vento e tempestade (Figura 7). As observações foram feitas no fuste e na copa de árvores vivas (completas, quebradas ou caídas) O estabelecimento das categorias danos está descrito da seguinte maneira:

1. Árvore sem dano;
2. Árvores com danos leves, decorrente de causas natural;
3. Árvores com danos leves decorrente da exploração;
4. Árvores com danos leves decorrente do tratamento silvicultura;
5. Árvore com danos severos decorrente de causa natural;
6. Árvore com danos severos decorrentes da exploração;
7. Árvores com danos severos decorrente de tratamento silvicultural;
8. Árvores com danos leves decorrente do fogo;
9. Árvore com danos severos decorrente do fogo;
10. Árvore cujo dano foi recuperado ou cicatrizado.

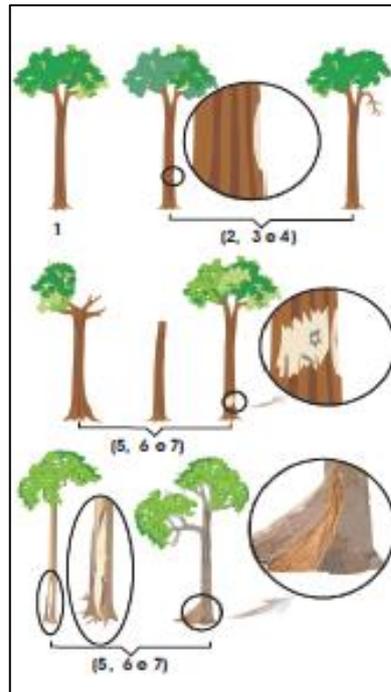


Figura 7 - Classificação dos danos. Fonte: Silva et al. (2005).

- **Iluminação da Copa**

Para avaliação da iluminação da copa são consideradas somente as árvores vivas e em pé, mesmo as copas quebradas e as completas com diâmetro maior ou igual a 15 cm. O estabelecimento das categorias iluminação da copa está descrito da seguinte forma (Figura 8).

1. Copa emergente ou completamente exposta à luz;
2. Copa parcialmente iluminada, ou seja, parcialmente coberta por copas de árvores vizinhas;
3. Copa completamente coberta por copas por copas de árvores vizinhas
4. Sem condições de avaliação (árvores sem copa).

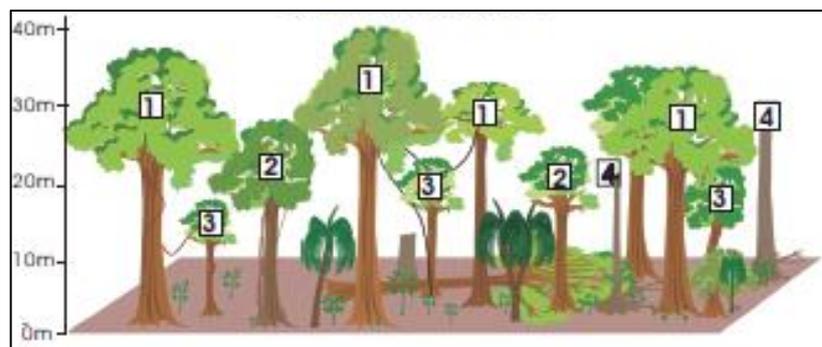


Figura 8 - Classificação iluminação da copa, conforme diretrizes. Fonte: Silva et al. (2005).

- **Forma da Copa**

A forma da copa é determinada por meio de códigos numéricos onde foram avaliadas desde árvores com copas completas até árvores sem copas. Na avaliação dessa variável foram consideradas somente as árvores vivas e em pé, com diâmetro igual ou maior que 15 cm. Os códigos utilizados podem ser visualizados na Figura 9.

1. Copa completa normal: árvore que apresenta a copa completa, bem distribuída;
2. Copa completa irregular: árvore que apresenta a copa completa, porém mal distribuída, devido a fatores naturais como, por exemplo, crescimento no sentido de áreas com maior incidência de luz;
3. Copa incompleta: árvore que perdeu parte da copa devido a causas naturais ou exploração;
4. Rebrotação: copa em processo de regeneração, após dano severo como o descopamento;
5. Sem copa: árvore que perdeu a copa por queda de outras árvores devido à exploração ou a causas naturais.

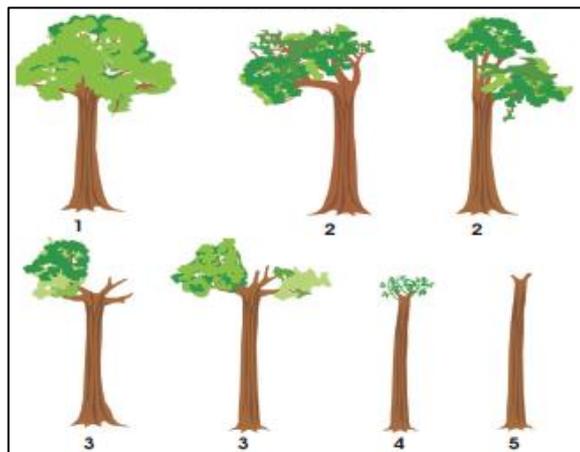


Figura 9 - Classificação da forma da copa. Fonte: Silva et al. (2005).

- **Presença e efeito de cipós**

A presença dos cipós nas árvores é determinada por meio da avaliação do grau de infestação dos cipós nas árvores observadas (Figura 10). São utilizados os seguintes códigos:

1. Nenhum cipó na árvore;
2. Cipós presentes, sem causar danos;
3. Cipós presentes, restringindo o crescimento (fortemente atracados no fuste ou cobrindo completamente a copa);
4. Cipós cortados, ainda vivos, porém sem causar danos à árvore;

5. Cipós cortados, ainda vivos, restringindo o crescimento da árvore;
6. Cipós cortados e mortos.

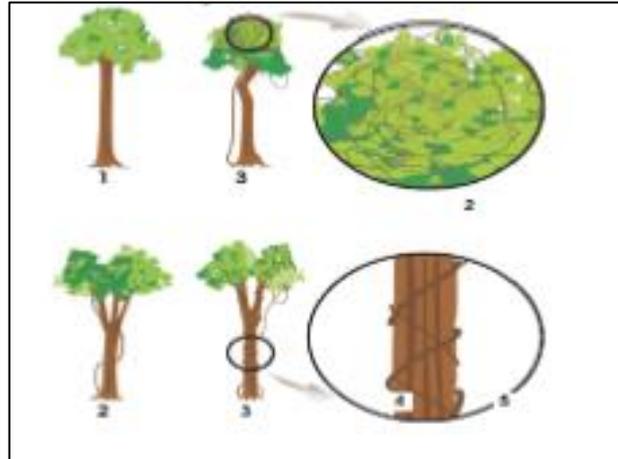


Figura 10 - Classificação da presença e os efeitos dos cipós. Fonte: Silva et al. (2005).

- **Classe de Floresta**

A classe de floresta avalia a fase que a floresta se encontra no momento em que são feitas as medições da parcela permanente. O estabelecimento da categoria classe de floresta está descrito da seguinte maneira.

1. Floresta madura: a subparcela apresenta pelo menos uma árvore com diâmetro igual ou maior que 40 cm;
2. Floresta em construção: a floresta apresenta pelo menos uma árvore com diâmetro maior ou igual a 10 cm e menor que 40 cm;
3. Clareira: há uma abertura no dossel, de pelo menos 50% da área da subparcela, e existem poucas ou nenhuma árvore com diâmetro superior a 10 cm na subparcela. Quando existirem, as copas se projetam para fora do limite da subparcela.

### 5.2.3 Histórico da produção nas UPAS B, C e D

O histórico da exploração realizadas nas Unidades de Produção Anual B, C e D estão na Tabela 2, essas informações estão no plano de manejo florestal sustentável da empresa Mil Madeiras, Essas informações apresentadas são grande importância para as futuras conclusões relacionadas à recuperação da floresta e as projeções para a sua produção.

Tabela 2 - Histórico da exploração nas UPAs B, C e D, da Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosas, Itacoatiara-AM.

UPA	AT (ha)	AP (ha)	VA (m <sup>3</sup> )	VP (m <sup>3</sup> )	G (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Nº	I (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
<b>B</b>	2.598,56	460,56	116.783,90	44.405,70	3.644	11.693	20,77
<b>C</b>	2.613,11	591,11	91.007,71	33.694,60	2.809	7.745	16,66
<b>D</b>	2.776,37	558,27	98.882,90	50.216,60	3.772	11.017	22,64

AT=Área total (ha); AP=Área Preservada; VA=Volume autorizado; VP=Volume produzido; G=Área Basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Nº: Número de Árvores; I=Intensidade de corte (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>).

### 5.3 Análise dos Dados

#### 5.3.1 Dinâmica do carbono

- **Biomassa e estoque de carbono**

Para determinação da biomassa, foram utilizadas duas equações.

Equação 1- Proposta por Chave et al. (2014):

$$AGB_{est} = e^{(1,803 - 0,976 E + 0,976 \ln(\rho) + 2,673 \ln(D) - 0,0299 (\ln(D))^2)}$$

Onde:

AGB<sub>est</sub>: Biomassa acima do Solo

$\rho$ : Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);

ln: Logaritmo na base natural (logaritmo neperiano);

d: DAP em cm.

E: -0,118695844

E= (0,178 TS - 0,938 CWD - 6,61 PS)10<sup>-3</sup>

TS = Temperatura média do período

CWD = Déficit Hídrico Climatológico

PS = Precipitação média do período

Segundo estudos de Higuchi e Carvalho (1994), 50% do peso seco de uma árvore correspondem ao carbono estocado. Houghton et al. (2000) em estudos realizados na Amazônia Legal também constataram que 50% do peso seco das árvores avaliadas

correspondia a carbono. Logo para determinação do carbono acima do solo foi considerado que conteúdo de carbono corresponde 50% do teor de biomassa seca.

$$C = AGB_{est} \times 0,5$$

Onde:

C = Carbono acima do solo

AGB<sub>est</sub> = Biomassa estimada acima do Solo

0,5 = Porcentagem correspondente ao estoque de carbono

Equação 2 - Equação proposta por Silva (2007), esta equação foi utilizada somente nas análises de projeção de carbono.

$$PF_{abg} = 2,2737 \times DAP^{1,9156}$$

$$PS_{abg} = (PF_{abg}) \times 0,592$$

Onde:

PF<sub>abg</sub> = biomassa fresca acima do nível do solo;

PS<sub>abg</sub> = biomassa seca acima do nível do solo;

Com estes dados é possível estimar o estoque de carbono (C).

$$C_{abg} = (PS_{abg}) \times 0,485$$

Onde:

C<sub>abg</sub> = carbono da vegetação acima do nível do solo;

### 5.3.2 Incremento Periódico Anual em Carbono (IPA<sub>c</sub>)

Para a discussão sobre a dinâmica de carbono da floresta tropical em estudo, foi efetuado o cálculo do incremento periódico anual (IPA) em carbono. Estes valores foram calculados para todas as espécies e para o conjunto de espécies comerciais. Com evidência para as mudanças no tempo e comparações entre períodos de tempo pré e pós-exploração.

A fórmula para o cálculo do incremento periódico anual em teor de carbono é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Crescimento}_{21} &= C_2 - C_1 \\ \text{Nanos}_{21} &= \text{ANO}_2 - \text{ANO}_1 \\ \text{Nmes}_{21} &= \text{MES}_2 - \text{MES}_1 \\ \text{Intervaloano}_{21} &= \text{Nanos}_{21} + \frac{\text{Nmes}_{21}}{12} \\ \text{IPAC}_{21} &= \frac{\text{Crescimento}_{21}}{\text{Intervalo ano}_{21}} \end{aligned}$$

Onde:

$C_2$  e  $C_1$ : Teor de carbono no final e no início do período, respectivamente;

$\text{Crescimento}_{21}$ : Crescimento em teor de carbono do período;

$\text{ANO}_2$  e  $\text{ANO}_1$ : Anos no final e no início do período, respectivamente;

$\text{Nanos}_{21}$ : Número de anos no período;

$\text{Mês}_2$  e  $\text{Mês}_1$ : Mês no final e no início do período, respectivamente;

$\text{Intervalo ano}_{21}$ : Intervalo em anos no período;

$\text{IPAC}_{21}$ : Incremento periódico anual em carbono.

### 5.3.3 Ingresso e mortalidade em carbono

O ingresso e a mortalidade relativos em carbono foram obtidos pelas seguintes equações:

$$R\% = \frac{\text{Carbono. árv. ingressaram}}{\text{Carbono. árv. total da medição anterior}} \times 100$$

$$M\% = \frac{\text{Carbono. árv. morreram}}{\text{Carbono. árv. total da medição anterior}} \times 100$$

Onde:

R% = Taxa de recrutamento em carbono

M% = Taxa de mortalidade em carbono

### 5.3.4 Testes estatísticos

- **Coefficiente de Correlação**

O coeficiente de Correlação (r) permite verificar o grau de associação entre duas variáveis, ainda que elas estejam em unidades de medidas diferentes. Este coeficiente é um valor adimensional que pode variar entre -1 e +1.

Por se tratar de um estudo entre duas variáveis foram realizadas análises de correlação de Pearson do incremento do carbono com as seguintes variáveis: classe de identificação do fuste, grau de iluminação da copa, forma da copa e presença e efeito dos cipós.

O coeficiente de correlação linear de Pearson é definido por:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\left[ \left[ \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \cdot \left[ \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right] \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{S_{xy}}{(S_{xx} \cdot S_{yy})^{\frac{1}{2}}}$$

Onde:

rx<sub>y</sub> = coeficiente de correlação linear de Pearson;

X = Incremento periódico em carbono;

Y = variáveis categóricas do povoamento (classe de identificação do fuste, grau de iluminação da copa, forma da copa e presença e efeito dos cipós).

- **Teste-t de Student**

O teste t de Student é um método utilizado para se avaliar as diferenças entre as médias de dois grupos. Esse teste foi realizado para amostras pareadas e independente a 5% de probabilidade em relação a antes e após a exploração no parâmetro estoque de carbono, para observar o efeito da exploração florestal na comunidade remanescente. Para a aplicação do teste-t foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e observado se existia heterocedasticidade (variâncias desiguais). Para se obter os resultado de Test t de Student foram utilizadas as seguintes fórmulas:

- **Amostras pareadas**

a) Diferença das unidades avaliadas: Estoque de carbono entre duas medições.

$$d = x_2 - x_1$$

b) Média das diferenças (d)

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

c) Variância das diferenças

$$s^2 = \frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n-1}$$

d) O valor de t (t)

$$t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}}$$

### - Amostras independentes

a) Variância

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}{n-1}$$

-Variância Ponderada

$$s^2 = \frac{(n_x - 1) \cdot s_x^2 + (n_y - 1) \cdot s_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

-Variâncias diferentes

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}}$$

- Variâncias iguais

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{s^2 \left( \frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y} \right)}}$$

$$n^* = \frac{\left( \frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y} \right)^2}{\frac{\left( \frac{s_x^2}{n_x} \right)^2}{n_x - 1} + \frac{\left( \frac{s_y^2}{n_y} \right)^2}{n_y - 1}}$$

$$n^* = n_x + n_y - 2$$

Onde:

x1 = Estoque de carbono acima do nível do solo antes da exploração

x2 = Estoque de carbono acima do nível do solo depois da exploração

S<sup>2</sup>: Variância

n\* = Graus de liberdade

- **Análise de variância (ANOVA)**

Foi realizada ANOVA para o incremento periódico anual em carbono em relação às seguintes variáveis: classificação e identificação do fuste, iluminação da copa, forma de copa e presença e efeito dos cipós, considerando os diferentes níveis de classificação como tratamento (Tabela 3). Também foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias de incremento de carbono, caso houvesse diferença significativa.

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos para análise de variância.

Variável	Tratamento	Descrição
<b>CIF</b>	1	Árvore viva em pé com o fuste completo
	2	Árvore viva em pé, sem copa, fuste $\geq$ 4,0m de comprimento
	3	Árvore viva em pé, sem copa, $\leq$ 4,0m de comprimento
	4	Árvore viva caída;
<b>Iluminação da copa</b>	1	Copa emergente
	2	Copa parcialmente iluminada
	3	Copa completamente coberta por copas de árvores vizinhas
	4	Sem condições de avaliação
<b>Forma da copa</b>	1	Copa bem distribuída
	2	Copa completa irregular
	3	Copa incompleta
	4	Rebrotação
	5	Sem copa
<b>Cipós</b>	1	Nenhum cipó na árvore
	2	Presentes, sem causar danos
	3	Presentes, restringindo o crescimento
	4	Cortados, vivos, sem causar danos
	5	Cortados, vivos, restringindo o crescimento
	6	Cortados e mortos

- **Análise de variância com medidas repetidas**

Análises de variância com medidas repetidas no tempo (VON ENDE, 2001) foram realizadas para avaliar se os estoques em carbono são influenciados pelas diferentes UPAs exploradas, com o passar do tempo. Para esta análise foram considerados os anos de 2001 e 2014 para os seguintes estoques: Estoque de carbono do povoamento total (considerando ingresso e mortalidade), estoque de indivíduos que estavam presente no ano 2001 e permaneceram presente em 2014 (sem considerar ingresso e mortalidade) e para o estoque comercial (considerando ingresso e mortalidade). A análise foi conforme o seguinte modelo experimental:

$$X_{jkl} = \mu + T_j + B_k + TB_{jk} + \varepsilon_{m(jk)}$$

Onde:

T = Tratamento  $j = 1, \dots, p$

B = Tempo (T).....k = 1, \dots, q

$X_{jkl}$  = A observação correspondente ao j-ésimo tratamento e k-ésimo tempo;

$\mu$  = Média geral comum a todas as observações;

$T_j$  = Efeito do j-ésimo tratamento - fator fixo

$B_k$  = Efeito so k-ésimo tempo - fator fixo

$\varepsilon$  = Erro aleatório associado à observação  $X_{jkl}$  - fator aleatório.

A estimação dos componentes de variância do modelo fez-se conforme apresentado a seguir na Tabela 4.

Tabela 4 - Componentes de variância do modelo experimental, com fonte de variação, GL (Graus de Liberdade) e Quadrado Médio (QM).

Fonte de variação	GL	E (QM)
$T_j$	$p - 1$	$\sigma_\varepsilon^2 + q\sigma_T^2 + rq\phi_T$
$B_k$	$q - 1$	$\sigma_\varepsilon^2 + p\sigma_B^2 + rq\phi_B$
$TB_{jk}$	$(p - 1)(q - 1)$	$\sigma_\varepsilon^2 + p\sigma_{TB}^2 + rq\phi_{TB}$
$\varepsilon_{m(ijk)}$	-	$\sigma_\varepsilon^2$ (não recuperável)

Com o avanço dos pacotes de computador fez-se desnecessário ponderar os detalhes de como calcular a esfericidade. SAS e o SPSS produzem um teste conhecido como o teste de Mauchly que testa a hipótese que as variâncias das diferenças entre contrastes são iguais. Então, se a estatística de teste de Mauchly é significativa (isto é, tem um valor de

probabilidade menor que 0,01) deve-se concluir que há diferenças significantes entre as variâncias dos contrastes, logo, a condição de esfericidade não foi atendida. Assim, em resumo, se o teste de Mauchly é significativo, então deve-se ser cauteloso com o F produzido pelo computador. Se os dados violam a pré-suposição de esfericidade há várias correções que podem ser aplicadas para produzir um F válido. O SAS e o SPSS produzem duas correções fundamentadas nas estimativas de esfericidade defendidas por Greenhouse e Geisser (1958) e Huynh e Feldt (1976). Estas estimativas dão origem a um fator de correção que é aplicado aos graus de liberdade, usado para calcular o valor do F observado.

A análise de variância para medidas repetidas foi realizada por meio software estatístico SAS 9.2 licenciado para a Embrapa.

- **Prognose do estoque do carbono**

As árvores do povoamento florestal foram divididas em um número finito de classes de diâmetro,  $n$ . Durante um período de crescimento  $\Theta$  (teta), as árvores de uma dada classe de diâmetro  $i$  podem permanecer na mesma classe ou avançar para uma classe superior. Elas podem, ainda, morrer durante o intervalo de tempo ou ser explorada.

Notação matricial do número de árvores sobreviventes, em cada classe de diâmetro:

$$\tilde{Y} = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt}), \text{ ou}$$

$$\tilde{Y} = [y_{it}], i = 1, 2, \dots, n \text{ classes de diâmetro.}$$

Representação matricial do número de árvores colhidas na classe de diâmetro  $i$ , durante o intervalo  $\theta$ :

$$\tilde{h} = (h_{1t}, h_{2t}, \dots, h_{nt}), i = 1, 2, \dots, n \text{ classes de diâmetro.}$$

Acompanhando o crescimento e a mortalidade da árvore, tem-se que:

$a_i$  = probabilidade de que uma árvore que está viva numa classe de diâmetro  $i$ , no tempo  $t$ , mas que não é colhida no intervalo  $\theta$ , permaneça viva e na mesma classe de diâmetro  $i$ , no tempo  $t + \theta$ .

$b_i$  = probabilidade de que uma árvore que está viva na classe de diâmetro  $i - 1$ , no tempo  $t$ , mas que não é colhida no intervalo  $\theta$ , esteja viva e na classe de diâmetro  $i$ , no tempo  $t + \theta$ .

$m_i$  = probabilidade de que uma árvore que está viva numa classe de diâmetro  $i$ , no tempo  $t$ , mas que não é colhida durante o intervalo  $\theta$ , esteja morta no intervalo de

tempo  $t + \theta$ .

$$m_i = 1 - a_i - b_{i+1}, \text{ para } i = 1, \dots, n - 1$$

$$m_n = 1 - n_a \text{ (última classe)}$$

A situação do povoamento no tempo  $t + \theta$ , é determinada pela situação no tempo  $t$ , e pelo ingresso ocorrido no intervalo de tempo  $\theta$ , empregando as seguintes equações:

$$y_{1t+\theta} = I_t + a_1(y_{1t} - h_{1t}) \quad \text{e}$$

$$y_{2t+\theta} = b_2(y_{1t} - h_{1t}) + a_2(y_{2t} - h_{2t})$$

Simultaneamente para  $i \geq 3$ ,

$$y_{nt+\theta} = c_n(y_{(n-2)t} - h_{(n-2)t}) + b_n(y_{(n-1)t} - h_{(n-1)t}) + a_n(y_{nt} - h_{nt})$$

em que:

$y_{1t+\theta}$  = número de árvores vivas na classe 1, no tempo  $t + \theta$ ;

$y_{1t}$  = número de árvores vivas na classe 1, no tempo  $t$ ;

$h_{1t}$  = número de árvores colhidas na classe 1, no intervalo  $\theta$ .

$I_t$  = ingresso ( $I_t \geq 0$ ).<sup>4</sup>

O modelo pode ser escrito na seguinte forma matricial:

$$\begin{bmatrix} y_{1t+\theta} \\ y_{2t+\theta} \\ y_{3t+\theta} \\ y_{4t+\theta} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ y_{nt+\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & \bullet & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & 0 \\ 0 & b_3 & a_3 & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & 0 \\ 0 & 0 & b_4 & a_4 & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & b_n & a_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1t} - h_{1t} \\ y_{2t} - h_{2t} \\ y_{3t} - h_{3t} \\ y_{4t} - h_{4t} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ y_{nt} - h_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Usando a notação matricial, esta expressão é escrita, mais compactamente como segue:

$\underset{\sim}{Y}_{t+\theta} = G \left( \underset{\sim}{y}_{it} \right) + \underset{\sim}{c}$  em que,  $G$  e  $\underset{\sim}{c}$ , são, respectivamente, a matriz e o vetor coluna do ingresso.

O modelo foi utilizado para prever a dinâmica do estoque de carbono, com base nas probabilidades de transição. Os intervalos foram de acordo com as medições em cada Unidade de Produção Anual. Esta análise foi realizada por meio do Microsoft Excel 2010.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Análise Descritiva e composição florística

Na área em estudo foram inventariados 12.640 indivíduos, distribuídos em 184 espécies, pertencentes a 45 famílias botânicas. Considerando o povoamento total, 171 indivíduos não foram identificados em nenhuma classificação botânica, 443 foram identificados somente a nível de gênero e 21 a nível de família. A lista de espécies registrada nesse estudo encontra-se no Apêndice A.

Na Tabela 5 é possível observar os números de famílias, espécies e indivíduos por UPA e por ano de medição. A dinâmica dessa composição também pode ser observada na Figura 11. Nos resultados da composição florística por UPA é possível observar que houve uma redução do número de espécies, famílias e indivíduos após a exploração. Entretanto até na última medição houve um aumento gradativo, que foi devido à entrada de 26 espécies distribuídas nas três unidades de produção anual, sendo que oito espécies foram as mesmas para as três UPAs, cinco ocorreram especificamente na UPA B e sete nas UPAs C e D.

Tabela 5 - Números de famílias, espécies e indivíduos por Unidade de Produção Anual (UPA) e por períodos de medição. Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosa. Itacoatiara-AM.

UPA	Classificação botânica	PE	AE1	AE2
	Família	44	43	43
<b>B</b>	Espécies	143	140	151
	Indivíduos	4124	3515	4372
	Família	41	40	41
<b>C</b>	Espécies	138	137	155
	Indivíduos	4216	3737	4241
	Família	43	42	42
<b>D</b>	Espécies	149	146	164
	Indivíduos	3837	3314	4027

PE = Pré-exploração (B-1996, C-1997 e D-1998); AE1-Logo após a exploração (B-1998, C e D-2001); AE2- Após exploração (B, C e D-2014).

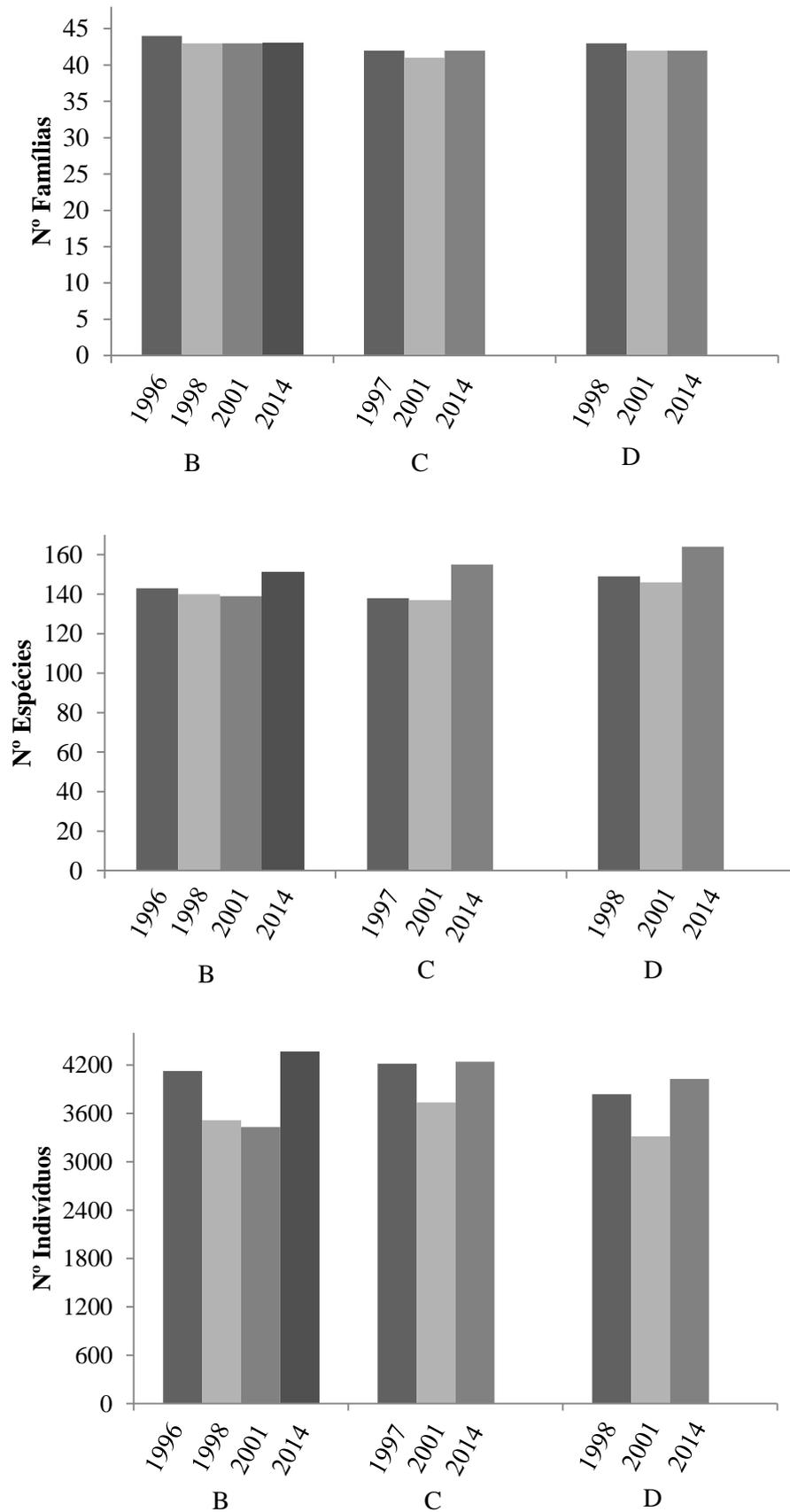


Figura 11 - Evolução da composição florística (Famílias, Espécies e Indivíduos) por Unidade de Produção Anual (UPA). Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosa, Itacoatiara-AM.

Apesar da variação ocorrida do número de espécies por parcela entre UPAs ao longo do período avaliado, análises de variância, realizados a cada ano de medição, não resultaram em diferenças significativas no número de espécies por parcela (Tabela 6). Pode-se afirmar que antes da exploração as UPAs apresentavam o mesmo número de espécies por hectare, o mesmo comportamento foi verificado em todos os períodos de remediações.

Tabela 6 - Valores do teste F da análise de variância obtidos para o número de espécies por parcela, em cada Unidade de Produção Anual (UPA) e a cada período de medição. Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosa, Itacoatiara-AM.

Medições	Espécies.ha <sup>-1</sup>			F	Pr>F <sup>1</sup>
	B	C	D		
<b>PE</b>	70	68	71	0,70	0,50
<b>AE1</b>	67	65	67	0,30	0,75
<b>AE2</b>	78	74	78	1,23	0,30

PE = Pré-exploração (B-1996, C-1997 e D-1998); AE1-Logo após a exploração (B-1998, C e D-2001); AE2- Após exploração (B, C e D-2014).

<sup>1</sup> Valores de probabilidade acima de 5% são considerados não significativos

As mudanças ocorridas na composição florística em relação à entrada e saída de espécies nas UPA B, C e D, estão listadas nos Apêndice B, C e D, respectivamente.

Na UPA B não foram registradas a entrada de novas espécies nos períodos de 1996-1998 e 1998-2001. No primeiro período houve o desaparecimento de três espécies, sendo que a espécie *Apeiba albiflora* Ducke não foi mais registrada nas medições seguintes, e uma espécie desapareceu no segundo período. O registro de novas espécies só pôde ser observada no período de 2001-2014 com o surgimento de 15 espécies, três delas estavam reaparecendo na área, pois duas haviam desaparecido entre 1996-1998 e uma no período de 1998-2001.

Na UPA C, logo após a exploração (1998-2001) foram registradas a entrada de três novas espécies, houve o desaparecimento de duas. No período de 2001-2014 houve o registro de 16 novas espécies, destas somente uma estava reaparecendo. Das novas espécies que ingressaram, três espécies são importante do ponto de vista comercial madeireiro (*Pouteria hispida* Eyma, *Tachigali chrysophyla* Zarucchi e *Pseudopiptadenia psilostachya* (DC.) G.P) que, se permanecerem na área, poderão fazer parte do conjunto de espécies para uma próxima exploração.

Na UPA D, após a exploração houve a entrada de uma espécie, e saída de quatro, sendo que a espécie *Caryocar villosum* (Aubl) Pers. é madeireira e não foi mais registrada

nesta UPA. No período de 2001-2014 houve o surgimento de 16 espécies, destas, três reapareceram e uma é comercial (*Pouteria hispida* Eyma), nesse período houve o desaparecimento de duas espécies, sendo que a espécie *Simarouba amara* Aubl. é uma espécie com potencial no mercado atual.

Quanto à dinâmica de famílias observa-se que somente a UPA C recuperou a composição anterior a exploração quanto ao número de família, entretanto não são as mesmas. A família Dichapetalaceae, entrou no intervalo de 2001 a 2014, enquanto que a família Araliaceae, não foi mais registrada. Nas UPAs B e D não foram registradas as famílias Tiliaceae e Simaroubaceae, respectivamente.

## 6.2 Estimativa de estoque de Carbono

A média do estoque de carbono acima do nível do solo estimado para área em estudo é de  $165,7 \pm 24,1 \text{ t.ha}^{-1}$ . Para a Amazônia diversos estudos encontraram valores de carbono acima do nível do solo próximos aos valores deste estudo, mesmo considerando diversos métodos de cálculo da biomassa.

Keller et al. (2001), trabalhando na Floresta Nacional de Tapajós, estimaram uma biomassa acima do solo, para  $\text{DAP} > 35 \text{ cm}$ , de  $372 \text{ t.ha}^{-1}$ . Higuchi et al. (1993) ajustaram um modelo de biomassa para região de Manaus e aplicando a equação em duas regiões, uma no sul do Pará e outra no sul de Roraima, estimaram uma biomassa de  $306,8 \text{ t.ha}^{-1}$  e  $377,4 \text{ t.ha}^{-1}$ , respectivamente para  $\text{DAP} > 25$ .

O trabalho realizado por Lima (2010), avaliando o Sistema de Inventário Florestal Contínuo (IFC) do laboratório de manejo florestal do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), apresenta uma lista de 16 sítios no Estado do Amazonas com os valores de carbono acima do solo variando de  $99,4 \text{ t.ha}^{-1}$  em uma área manejada de Lábrea, a  $169,86 \text{ t.ha}^{-1}$  em uma área em Manaus.

Fearnside (1997, 2000) estimou a biomassa total na Amazônia brasileira (considerando-se a biomassa acima e abaixo do solo) em valores entre  $433,6$  e  $464 \text{ t.ha}^{-1}$  em média, que corresponde a  $216,8$  e  $232 \text{ t.ha}^{-1}$  de carbono, considerando as florestas densas e não densas. Saatchi et al. (2007) utilizando dados de 216 parcelas permanentes instaladas em áreas de terra-firme na região amazônica, estimaram o carbono médio destas florestas em  $127,4 \text{ t.ha}^{-1}$ . Houghton et al. (2000), fizeram estimativas de biomassa para a Amazônia brasileira que variaram de  $66$  a  $277 \text{ t.ha}^{-1}$ . Houghton et al. (2001) estimaram estoque de carbono médio de florestas de terra-firme em  $177 \text{ t.ha}^{-1}$ .

As famílias mais representativas em estoque de carbono na área em estudo foram

Sapotaceae (17,3%), Fabaceae (15,4%), Lecythidaceae (14,1%), Lauraceae (8,3%) e Chrysobalanaceae (7,3%). As espécies que mais se destacaram quanto ao teor de carbono foram *Pouteria platyphylla* (A.C. Sm.) Baehni, *Lecythis prancei* S.A. Mori, *Geissospermum vellosii* Allemão, *Ocotea fragrantissima* Ducke, *Pouteria guianensis* Aubl e *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A., representando 22% do carbono total estocado na área. As espécies comerciais presente na área são responsáveis por, aproximadamente, 29% do estoque total de carbono acima do solo.

Em um estudo realizado por Souza (2012) que avaliou a dinâmica do carbono em uma floresta manejada experimentalmente, foram obtidos resultados semelhantes, onde as famílias mais representativas em carbono foram: Lecythidaceae, Fabaceae, Sapotaceae, Euphorbiaceae, Apocynaceae, Burseraceae e Lauraceae. Nesse mesmo estudo a espécie *Eschweilera coriacea* (D.C.) S.A. também se destacou dentre as que apresentaram maior estoque de carbono.

### 6.3 Taxa de recrutamento e mortalidade

As taxas anuais de recrutamento e mortalidade em carbono foram em média 2,94 e 0,38%, respectivamente. Essas taxas de recrutamento e mortalidades para cada período avaliado e para cada UPA encontram-se na Tabela 7. Foram consideradas nesse estudo como mortalidade, árvores mortas por causas naturais e mortas devido a exploração.

Tabela 7 - Taxas (%) anuais de mortalidade e recrutamento em carbono acima do solo por intervalos de medição e Unidades de Produção Anual (UPA). Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosas, Itacoatiara-AM.

UPA	Período	Mortalidade (%)	Recrutamento (%)
<b>B</b>	1996-1998	7,21	0,35
	1998-2001	2,42	0,23
	2001-2014	1,54	0,72
<b>C</b>	1997-2001	2,60	0,08
	2001-2014	1,83	0,62
<b>D</b>	1998-2001	3,37	0,11
	2001-2014	1,64	0,57

As maiores taxas de mortalidade em carbono foram observadas logo após a exploração, essas taxas são decorrentes da mortalidade natural, e dos danos às árvores remanescentes em consequência da exploração.

As taxas de mortalidade e recrutamento definem a dinâmica do carbono da vegetação. Normalmente, o diâmetro das árvores mortas, e conseqüentemente o carbono presente das árvores mortas, é sempre maior do que o das recrutadas, por essa razão, a taxa de recrutamento foi menor do que a taxa de mortalidade em carbono. Para cada UPA é possível observar que com o passar do tempo há um aumento da taxa de recrutamento.

#### 6.4 Incremento Periódico anual em Carbono (IPA<sub>C</sub>)

A área em estudo apresentou valores de Incremento Periódico Anual em Carbono (IPA<sub>C</sub>) que variaram de 1,6 a 2,7 t.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>. Os incrementos periódicos anuais por UPA e por intervalo de medição podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Incremento Periódico Anual em estoque de carbono (t.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) calculado para as Unidades de Produção Anual (UPA) B, C e D por intervalos de medição. Fazenda Dois Mil. Empresa Mil Madeiras Preciosas, Itacoatiara-AM.

UPA	Período	IPA <sub>C</sub> (t.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
<b>B</b>	1996-1998	2,7
	1998-2001	2,4
	2001-2014	2,5
<b>C</b>	1997-2001	1,6
	2001-2014	2,2
<b>D</b>	1998-2001	2,6
	2001-2014	2,5

De acordo com Oliveira (2010) valores semelhantes foram encontrados na reserva de desenvolvimento sustentável de Anamã, onde o incremento periódico anual em carbono variou entre 2,4 a 3,1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, porém quando comparado com outros resultados, o mesmo é considerado alto, já que de acordo com Philips et al. (1998) a média de acumulação de carbono na Amazônia, é igual a 0,97 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, estimada com base em 97 parcelas permanentes.

Souza (2012) encontrou valores inferiores em seu estudo realizado em uma área manejada experimentalmente, onde o incremento periódico anual em estoque de carbono

variou de 0,3 a 1,56 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. O incremento encontrado nesse estudo pode ser devido ao crescimento individual das árvores compensando as perdas causadas pela mortalidade e exploração, essa acumulação pode explicar em parte, para onde está indo o “carbono perdido” estimado em 1,6 bilhão t/ano, segundo Houghton (1994).

### 6.5 Análise de correlação de Pearson

A análise de correlação foi realizada entre o incremento periódico anual em carbono com as seguintes variáveis: classe de identificação do fuste, grau de iluminação da copa, forma da copa e presença e efeito dos cipós. Os períodos analisados foram antes da exploração e após a exploração em duas situações (segunda medição e última medição), (Tabela 9).

Observa-se que as variáveis, iluminação da copa e forma da copa apresentaram correlação significativa com o incremento periódico anual em carbono nos três períodos avaliados, o mesmo não ocorreu com as variáveis, classe de identificação do fuste e presença e efeitos dos cipós.

Tabela 9 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre variáveis categóricas do povoamento (Iluminação e forma da copa, Cipó e Classe de Identificação do Fuste (CIF)) e o Incremento Periódico Anual em Carbono (IPA<sub>C</sub>), antes e após exploração.

Variáveis	Correlação		
	PE	AE1	AE2
<b>Iluminação da copa</b>	-0,18 ( $\rho < 0,0001$ ) <sup>***</sup> (10.077)	-0,18 ( $\rho < 0,0001$ ) <sup>***</sup> (10.085)	-0,28 ( $\rho < 0,0001$ ) <sup>***</sup> (10.726)
<b>Forma da copa</b>	-0,05 ( $\rho = 0,03475$ ) <sup>*</sup> (10.077)	-0,09 ( $\rho < 0,0001$ ) <sup>***</sup> (10.085)	-0,10 ( $\rho < 0,0001$ ) <sup>***</sup> (10.726)
<b>Cipó</b>	0,01 ( $\rho = 0,1367$ ) <sup>ns</sup> (10.077)	0,01 ( $\rho = 0,5983$ ) <sup>ns</sup> (10.085)	0,01 ( $\rho = 0,2775$ ) <sup>ns</sup> (10.726)
<b>CIF</b>	-0,01 ( $\rho = 0,1271$ ) <sup>ns</sup> (10.077)	-0,02 ( $\rho = 0,1035$ ) <sup>ns</sup> (10.085)	-0,02 ( $\rho = 0,0658$ ) <sup>ns</sup> (10.726)

PE = Pré-exploração (B-1996, C-1997 e D-1998); AE1-Logo após a exploração (B-1998, C e D-2001); AE2- Após exploração (B, C e D-2014).

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade e \*\*\*altamente significativo

## 6.6 Análise de Variância (ANOVA)

Os resultados do teste F da análise de variância e as comparação das médias pelo teste de Tukey para o incremento periódico anual em carbono (IPAc), das variáveis: iluminação da copa e forma de copa, antes e após exploração estão apresentado nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Observa-se que houve diferença significativa entre o IPAc e a iluminação de copa ( $p < 0,0001$ ) e forma da copa ( $p < 0,0001$ ) em todos os períodos avaliados. Na comparação das médias pelo teste de Tukey, percebe-se que o maior incremento periódico anual em relação ao carbono ocorreu em árvores com copa completamente exposta à luz (Tabela 10). Quanto à forma da copa, o incremento foi maior em árvore que apresentaram copa completa (Tabela 11).

Tabela 10 - Resultados do teste de Tukey para as médias de carbono da variável categórica iluminação da copa para cada período de medição, considerando o povoamento total. Valores seguidos da mesa letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Iluminação da copa	IPAc t/ano		
	PE	AE1	AE2
1 Copa emergente	0,023 a	0,020 a	0,026 a
2 Copa parcialmente iluminada	0,013 b	0,011 b	0,011 b
3 Copa completamente coberta	0,006 c	0,004 c	0,004 c
4 Sem avaliação (sem copa)	0,002 b c	0,003 b c	0,004 b c
<b>Fcal</b>	<b>140,80</b>	<b>119,1</b>	<b>290,0</b>
<b>Pr&gt;F</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>

PE = Pré-exploração (B-1996, C-1997 e D-1998); AE1-Logo após a exploração (B-1998, C e D-2001); AE2- Após exploração (B, C e D-2014).

Não houve diferença significativa do Incremento periódico anual em carbono em função das variáveis categóricas cipó e classe de identificação do fuste. Essas variáveis não influenciam no incremento periódico anual em carbono.

Tabela 11 - Resultados do teste de Tukey para as médias de carbono da variável categórica forma da copa para cada período de medição, considerando o povoamento total. Valores seguidos da mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Forma da copa	IPA <sub>C</sub> t/ano		
	PE	AE1	AE2
1 Copa completa	0,010 a	0,011 a	0,015 a
2 Copa completa irregular	0,007 b	0,007 b	0,009 b
3 Copa incompleta	0,005 b	0,003 b	0,008 b
4 Rebrote	0,002 b	0,004 b	0,004 b
5 Sem copa	0,001 b	0,003 b	0,004 b
<b>Fcal</b>	<b>7,15</b>	<b>24,43</b>	<b>41,6</b>
<b>Pr&gt;F</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>

PE = Pré-exploração (B-1996, C-1997 e D-1998); AE1-Logo após a exploração (B-1998, C e D-2001); AE2- Após exploração (B, C e D-2014).

### 6.7 Test t de Student para amostras independentes e pareadas.

A fim de avaliar o processo de recuperação da floresta após o manejo, foi feita uma comparação da média do estoque de carbono antes da exploração e as médias nos anos em que houve mensurações, essas análises foram realizadas a partir do teste t de Student tanto para o povoamento total, levando em consideração o recrutamento e mortalidade (Amostras independentes), como também para o povoamento não levando em consideração os dados de recrutamento e mortalidade (Amostras pareadas).

O estoque para cada UPA e ano de medição do povoamento total pode ser observado na Tabela 12, o mesmo está sendo representado em forma de gráfico (Figura 12).

Tabela 12 - Valores médios de estoque (média  $\pm$  desvio padrão) de carbono (t.ha<sup>-1</sup>), para cada Unidade de Produção Anual (UPA) e ano de medição, para todos os indivíduos avaliados. Onde UPA B: Exploração 1997, e C e D 1998.

UPA	Anos de medição			
	1996	1998	2001	2014
<b>B</b>	179,1 $\pm$ 26,5	146,5 $\pm$ 20,9	144,3 $\pm$ 22,1	161,1 $\pm$ 17,4
<b>C</b>	163,5 $\pm$ 30,4	146,1 $\pm$ 27,1	151,9 $\pm$ 28,2	
<b>D</b>	203,57 $\pm$ 21,7	171,1 $\pm$ 20,1	180,16 $\pm$ 20,4	

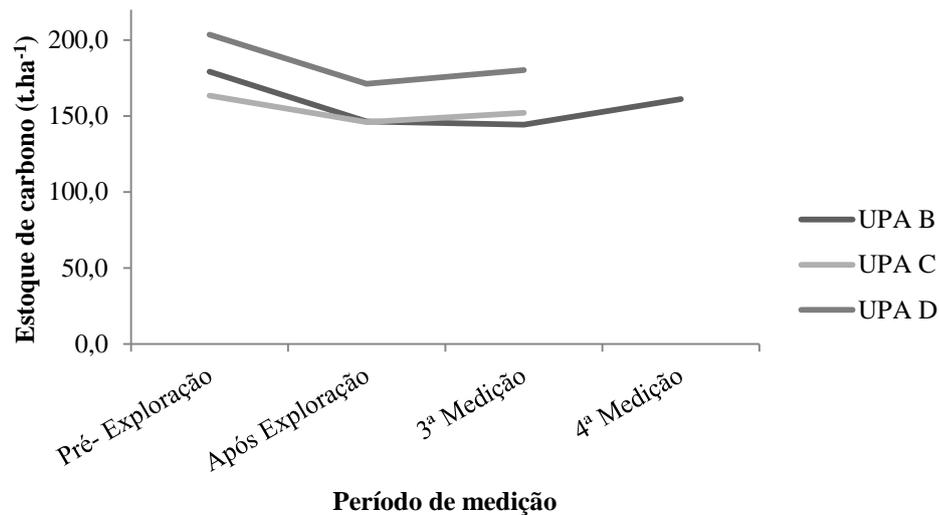


Figura 12 - Dinâmica do estoque do carbono ( $t.ha^{-1}$ ) para cada Unidade de Produção Anual (UPA) e período de medição. Onde Pré - Exploração: B-1996, C-1997 e D-1998. Após exploração: B-1998, C e D-2001. 3ª medição: B-2001, C-2014, D-2014. 4ª medição: B-2014.

Na comparação do estoque de carbono contido na floresta antes da exploração e após (Tabela 13), somente os estoques de carbono de 2001 e 2014 na UPA C não apresentaram diferença estatística significativa, ou seja, o conteúdo de carbono é igual estatisticamente às quantidades presentes na floresta antes desta ser explorada. Em relação as UPAs B e D, todas as comparações de antes e após a exploração apresentaram diferença significativa. Em relação as UPAs B e D, todas as comparações de antes e após a exploração apresentaram diferença significativa.

Tabela 13 - Comparação das médias pelo teste t de Student entre os estoques de carbono ( $t.ha^{-1}$ ) dos anos antes e após exploração, considerando o povoamento total. Em que: Exploração B-1997, e C e D 1998.

UPA	Antes e após exploração	T	P
B	1996 x 1998	3,60 <sup>**</sup>	0,0013
	1996 x 2001	3,75 <sup>**</sup>	0,0009
	1996 x 2014	2,11 <sup>*</sup>	0,0461
C	1997 x 2001	1,46 <sup>ns</sup>	0,1558
	1997 x 2014	0,95 <sup>ns</sup>	0,3517
D	1998 x 2001	4,09 <sup>**</sup>	0,0003
	1998 x 2014	2,93 <sup>**</sup>	0,0069

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

A comparação de estoque sem levar em consideração o recrutamento e mortalidade (Amostras pareadas) teve como objetivo eliminar a forte influência que principalmente a mortalidade tem sobre a produtividade da floresta, pois quando uma árvore de grande porte morre, a substituição da biomassa perdida é lenta.

Pela observação da Tabela 14, pode-se notar que quando não se considera a mortalidade e o recrutamento, os valores médios por hectare do estoque de carbono é menor do que os valores observados nos cálculos do povoamento total. Houve diferença significativa ( $p < 0,0001$ ) das médias de carbono antes e após a exploração para todas as UPAs e intervalos. Indicando assim que o estoque de carbono vem apresentando uma tendência de crescimento com o passar do tempo.

A Figura 8 mostra graficamente a evolução no estoque de carbono para as UPA B, C e D, quando apenas se leva em consideração as árvores que estavam antes da exploração e que assim permaneceram até a última medição.

Tabela 14 - Valores médios (média  $\pm$  desvio padrão) de estoque de carbono ( $t \cdot ha^{-1}$ ), para cada Unidade de Produção Anual (UPA) e ano de medição para amostras pareadas. Onde o ano de exploração: B-1997, e C e D -1998.

UPA	Anos de medição			
	1996	1998	2001	2014
B	104,7 $\pm$ 18,2	107,5 $\pm$ 17,9	113,1 $\pm$ 18,1	144,84 $\pm$ 18,7
C	106,2 $\pm$ 26,6	111,02 $\pm$ 26,4	139,46 $\pm$ 29,7	
D	126,36 $\pm$ 23,4	133,67 $\pm$ 24,7	166,10 $\pm$ 22,6	

A fixação de carbono na floresta é reportada como, no mínimo, parcialmente resultado de intensivo manejo florestal. Seidl et al. (2007) avaliaram a correlação entre o sequestro de carbono e a produção de madeira de forma sustentável em uma floresta de múltiplo uso na Áustria e concluíram que o sequestro de carbono da atmosfera é maior nas florestas manejadas sustentavelmente do que nas florestas não manejadas. Pode se dizer, dessa forma, que ao desconsiderar os efeitos da mortalidade e do recrutamento, a floresta não esteve em equilíbrio com a atmosfera, agindo assim como sumidouro de carbono.

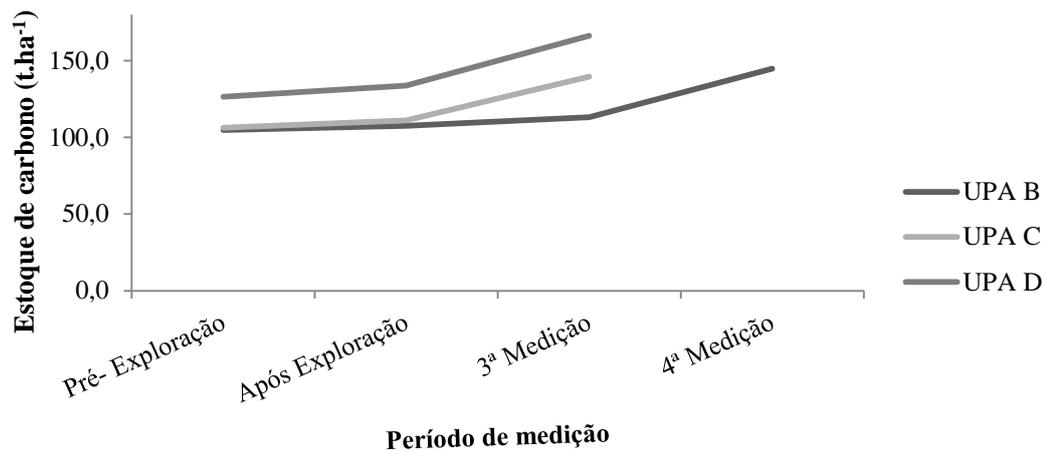


Figura 13 - Dinâmica do estoque de carbono do povoamento bruto (t.ha<sup>-1</sup>) para cada Unidade de Produção Anual e período de medição. Onde Pré-Exploração: B-1996, C-1997 e D-1998. Após exploração: B-1998, C e D-2001. 3ª medição: B-2001, C-2014, D-2014. 4ª medição: B-2014.

### 6.8 Análise de Variância com Medidas Repetidas

Essas análises foram conduzidas de acordo com Von Ende (2001) para o modelo univariado tendo na parcela os fatores tratamento e alocou-se os tempos e as interações tempo x tratamento. Considerou-se cada Unidade de Produção Anual (UPA) como sendo um tratamento, para os anos de 2001 e 2014 dos seguintes estoques de carbono: Estoque de carbono total (considerando ingresso e mortalidade), estoque de indivíduos que estavam presentes em 2001 e permaneceram presentes em 2014 e para o estoque comercial (considerando ingresso e mortalidade).

Devido ao pequeno número nos graus de liberdade, já que foram considerados somente dois períodos de medição, não foram realizadas as correções de Huynh - Feldt (H-F) e Greenhouse - Geisser (G-G) para possíveis violações da pressuposição de esfericidade da Anova de medidas repetidas, pois de acordo com esses autores as correções nos graus de liberdade são realizadas para que esses testes possam ser usados de forma aproximada, mesmo que a condição de esfericidade não seja satisfeita.

Observando-se a Tabela 15 têm-se quatro estatísticas multivariadas para o estoque total. Nesta análise são utilizados critérios e estatísticas de testes para verificar as hipóteses nulas, de igualdade dos tratamentos, tempos e interação tempo x UPA. No contexto multivariado, foram utilizados os critérios de Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior raiz de Roy. Para o fator tempo, posto que o nível de significância associado a cada uma das estatísticas é a mesma (0,0001) menor que 1%, pode-se rejeitar a

hipótese nula, de igualdade das medidas, e concluir que o estoque de carbono total não é o mesmo nos dois momentos temporais definidos pelo fator tempo. Quanto a interação tempo x UPA, observa-se que essa interação não foi significativa para análise multivariada, ou seja, o estoque de carbono total não foi influenciado pelas diferentes Unidades de Produção Anual.

Tabela 15 - MANOVA da interação tempo x tratamento (UPA) e o efeito do tempo para o carbono total considerando o ingresso e a mortalidade.

<b>Estatística</b>	<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>GL Hipótese</b>	<b>GL Erro</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tempo</b>					
Lambda de Wilks	0,66996244	18,72	1	38	0,0001
Traço de Pillai	0,33003756	18,72	1	38	0,0001
Traço de Hotelling-Lawley	0,49262100	18,72	1	38	0,0001
Maior Raiz de Roy	0,49262100	18,72	1	38	0,0001
<b>Tempo x UPA</b>					
Lambda de Wilks	0,91631826	1,74	2	38	0,1901
Traço de Pillai	0,08368174	1,74	2	38	0,1901
Traço de Hotelling-Lawley	0,09132388	1,74	2	38	0,1901
Maior Raiz de Roy	0,09132388	1,74	2	38	0,1901

A estatística F univariada é mais eficiente que a estatística multivariada e para utilizar esta estatística se faz necessário corrigir os graus de liberdade de F (tanto do numerador como do denominador) multiplicando pelo valor estimado de  $\epsilon$ , porém como nesse caso não houve a correção, o resultado da análise univariada (Tabela 16) resultou na mesma interpretação da análise multivariada. O estoque de carbono total foi influenciado pelo passar do tempo, porém a interação tempo x UPA não foi significativa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2012) que ao estudar uma floresta manejada experimentalmente, submetida a quatro tratamentos e quatro períodos de medição (2005, 2007, 2009 e 2010) observou que houve uma tendência de aumento do carbono total (considerando recrutamento e mortalidade) com o passar do tempo e quanto a interação tempo x tratamento, o carbono total não sofreu influência significativa do tratamento com o passar do tempo.

Tabela 16 - Anova para medidas repetidas no tempo para o carbono total, considerando o ingresso e a mortalidade.

PARCELA					
Fonte variação	GL	SQ	QM	Fcal	Pr>F
UPA	2	11437,4169	5718,7084	6,27**	0,0044
Erro	38	34644,8187	911,7057		
SUBPARCELA					
Tempo	1	2308,2711	2308,2711	18,72**	0,0001
Tempo * UPA	2	427,9157	213,9579	1,74 <sup>ns</sup>	0,1901
Erro (tempo)	38	4685,6937	123,3077		

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

A Tabela 17 apresenta as quatro estatísticas multivariadas para o estoque dos indivíduos que estavam presentes no ano de 2001 e que permaneceram em 2014, de acordo com as estatísticas o fator tempo para cada uma das estatísticas é a mesma e altamente significativa (<0,0001), ou seja, o carbono pareado de 2001 e 2014 não é o mesmo nos dois períodos de medição. Observa-se que a interação tempo x tratamento não foi significativa, o estoque de carbono não foi influenciado pelas diferentes Unidades de Produção Anual.

Tabela 17 - MANOVA da interação tempo x tratamento (UPA) e o Efeito do tempo para o carbono dos indivíduos vivos em 2001 e que permaneceram vivos em 2014.

Estatística	Valor	F	GL Hipótese	GL Erro	Pr > F
<b>Tempo</b>					
Lambda de Wilks	0,02338261	1587,14	1	38	< 0,0001
Traço de Pillai	0,97661739	1587,14	1	38	< 0,0001
Traço de Hotelling-Lawley	41,76683279	1587,14	1	38	< 0,0001
Maior Raiz de Roy	41,76683279	1587,14	1	38	< 0,0001
<b>Tempo x UPA</b>					
Lambda de Wilks	0,86745863	2,90	2	38	0,0671
Traço de Pillai	0,13254137	2,90	2	38	0,0671
Traço de Hotelling-Lawley	0,15279273	2,90	2	38	0,0671
Maior Raiz de Roy	0,15279273	2,90	2	38	0,0671

Na Tabela 18 pode-se observar os resultados da análise de variância para medidas repetidas para os indivíduos que estavam presentes em 2001 e que permaneceram 2014. Observa-se que esse estoque foi influenciado pelo passar do tempo, porém a interação tempo x UPA não foi significativa.

Tabela 18 - Anova para medidas repetidas no tempo para o número total de carbono dos indivíduos vivos em 2001 e que permaneceram vivos em 2014.

PARCELA					
Fonte variação	GL	SQ	QM	Fcal	Pr>F
UPA	2	9448,5198	4724,2599	4,37*	0,0196
Erro	38	41080,9665	1081,0780		
SUBPARCELA					
Tempo	1	20403,7936	20403,7936	1587,14**	<0,0001
Tempo * UPA	2	74,6418	37,3210	2,90 <sup>ns</sup>	0,0671
Erro (tempo)	38	488,5166	12,8557		

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

Souza (2012) também estudou o carbono que estavam presente na primeira medição e que permaneceram nas próximas medições em uma floresta manejada experimentalmente, submetida a quatro tratamentos e constatou que o carbono variou significativamente com o passar do tempo e que as interações entre tempo e tratamento de redução de área basal são estatisticamente significativa, ou seja, a aplicação dos diferentes tratamentos de exploração de área basal influenciou no estoque de carbono com o passar do tempo, quando desconsiderou o recrutamento e mortalidade.

A Tabela 19 apresenta as estatísticas multivariadas para o estoque das espécies comerciais, considerando o ingresso e mortalidade, de acordo com as estatísticas o fator tempo para cada uma das estatísticas é a mesma (0,0004), ou seja, o estoque não é o mesmo nos dois períodos de medição. Observa-se que a interação tempo x UPA não foi significativa, o estoque de carbono não foi influenciado pelas diferentes Unidades de Produção Anual.

Tabela 19 - MANOVA da interação tempo x tratamento (UPA) x e o Efeito do tempo para o carbono das espécies comerciais, considerando o ingresso e mortalidade.

<b>Estatística</b>	<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>GL Hipótese</b>	<b>GL Erro</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tempo</b>					
Lambda de Wilks	0,71698743	15,00	1	38	0,0004
Traço de Pillai	0,28301257	15,00	1	38	0,0004
Traço de Hotelling-Lawley	0,39472458	15,00	1	38	0,0004
Maior Raiz de Roy	0,39472458	15,00	1	38	0,0004
<b>Tempo x UPA</b>					
Lambda de Wilks	0,94949693	1,01	2	38	0,3736
Traço de Pillai	0,05050307	1,01	2	38	0,3736
Traço de Hotelling-Lawley	0,05318929	1,01	2	38	0,3736
Maior Raiz de Roy	0,05318929	1,01	2	38	0,3736

Na Tabela 20 pode-se observar os resultados da análise de variância para medidas repetidas para o estoque das espécies comerciais. Observa-se que esse estoque foi influenciado pelo passar do tempo, porém a interação tempo x UPA não foi significativa.

Tabela 20 - Anova para medidas repetidas no tempo para o número total de carbono das espécies comerciais, considerando o ingresso e mortalidade.

<b>PARCELA</b>					
<b>Fonte variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Pr&gt;F</b>
UPA	2	3193,3318	1596,6659	4,11*	0,0242
Erro	38	14764,9799	388,5521		
<b>SUBPARCELA</b>					
Tempo	1	362,34431	362,3443	15,0**	<0,0001
Tempo * UPA	2	48,8960	24,4130	1,01 <sup>ns</sup>	0,3736
Erro (tempo)	38	917,9674	24,1570		

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

Os estoques analisados variaram significativamente com o passar do tempo, o mesmo não ocorreu na interação tempo x UPA. Desta maneira, pode-se afirmar que o sistema de manejo aplicado não influenciou de maneira diferente as Unidades de Produção Anual B, C e D, a diferença nos estoques foi somente em função do tempo.

## 6.9 Projeções da Dinâmica do Carbono

As projeções foram realizadas por meio da cadeia de transição probabilística de Markov, aplicada para cada Unidade de Produção Anual, com base em duas medições, em intervalos de cinco anos para UPA B, quatro anos UPA C e três anos UPA D. Essas projeções foram realizadas para anos próximos a 2014 para comparações com as observações reais.

- **Unidade de Produção Anual B**

Com base nas medições realizadas nos anos de 1996 e 2001, foram realizadas projeções para o ano de 2016, com o objetivo de comparar com as medições do ano de 2014. A Tabela 21 apresenta a matriz contendo a frequência por classe diamétrica no intervalo de tempo, as árvores que ingressaram, as árvores que permaneceram na mesma classe diamétrica, as que mudaram para classes superiores e as que morreram.

Tabela 21 - Número de árvores do povoamento que mudaram do estado  $i$  para outro estado  $j$ , por centro de classe de diâmetro, no período de 1996 ( $t$ ) a 2001 ( $t+1$ ), em que estado = classe de DAP, M e I; M = mortalidade. Unidade de Produção Anual B.

		Estado em 1996											
		I	20	30	40	50	60	70	80	90	100	≥105	
Estado em 2001	I												
	20	195	1521										
	30		112	674									
	40			63	354								
	50				48	220							
	60					25	101						
	70						22	48					
	80							9	11				
	90								3	12			
	100									2	2		
	≥105											1	8
	Morta		447	188	82	38	14	11	1	2	1	1	2
Total	195	2080	925	484	283	137	68	15	16	4	10		

A Tabela 22 mostra a matriz M de probabilidades inicial de transição por classe diamétrica. Por exemplo, a probabilidade de uma árvore da primeira classe de diâmetro permanecer na mesma classe após o intervalo de cinco anos, é de 73%, ou ainda, a probabilidade de uma árvore desta mesma classe crescer até a próxima classe de diâmetro é de 5%, e assim sucessivamente.

Tabela 22 - Matriz de probabilidade de transição (M), por estados, no período de 1996 e 2001

		Estado em 1996										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	≥105	
Estado em 2001	20	0,7313										
	30	0,0538	0,7286									
	40		0,0681	0,7314								
	50			0,0992	0,7774							
	60				0,0883	0,7372						
	70					0,1606	0,7059					
	80						0,1324	0,7333				
	90							0,2000	0,7500			
	100								0,1250	0,5000		
	≥105										0,2500	0,8000
Morta	0,2149	0,2032	0,1694	0,1343	0,1022	0,1618	0,0667	0,1250	0,2500	0,2000		

O próximo passo foi obter os valores estimados para o ano de 2001 para cada classe diamétrica (Tabela 23). Os valores estimados foram somados com os ingressos que ocorreram neste período. Neste caso ocorreram 195 ingressos na primeira classe e nenhum ingresso nas demais classes diamétricas. Tais valores foram comparados com os valores reais medidos no inventário realizado neste mesmo ano por meio do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Como o valor calculado de  $\chi^2$  (0,38) foi inferior aos valores tabelados (21,666 a 1% de probabilidade e 16,919 a 5% de probabilidade), pôde-se chegar à conclusão de que não existe diferença significativa entre os valores observados e os valores calculados para o ano de 2001.

Como a diferença entre as frequências observadas e estimadas para 2001 não foi significativa ( $\chi^2$  calculado <  $\chi^2$  tabelado) foi possível continuar com a análise e então projetar para os anos seguintes, considerando que o ano em que houve medição foi 2014, logo a projeção foi realizada até o ano de 2016. A matriz de probabilidades para o ano de 2016 está contida na Tabela 24.

Tabela 23 - Prognose para o período de 1996 e 2001, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1996),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para  $t+1$  (2001) e  $I_1$  = número de árvores ingressaram estimado para  $t+1$  (2001).

		Centro de Classe de DAP										$YO_0$ (1996)	$YP_1$ (2001)	$I_1$	$YP_{1est}$ (2001)	$YP_{1obs}$ (2001)
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	$\geq 105$					
Centro de classe de DAP	20	0,7313										2080	1521	195	1716	1716
	30	0,0538	0,7286									925	787		787	786
	40		0,0681	0,7314								484	417		417	416
	50			0,0992	0,7774							283	268		268	268
	60				0,0883	0,7372						137	126		126	126
	70					0,1606	0,7059					68	70		70	70
	80						0,1324	0,7333				15	20		20	20
	90							0,2000	0,7500			16	15		15	17
	100								0,1250	0,5000		10	4		4	4
	$\geq 105$									0,2500	0,8000	4	9		9	8

Tabela 24 - Prognose para o ano de 2016, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1996),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para 2016 e  $I_1$  = número de árvores ingressaram.

		Centro de Classe de DAP										$YO_0$ (1996)	$YP_1$ (2016)	$I_1$	$YP_{1est}$ (2001)	$YP_{1obs}$ (2016)
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	$\geq 105$					
Centro de classe de DAP	20	0,2859										2080	595	1684	1716	2279
	30	0,0838	0,2819									925	437		787	435
	40	0,0117	0,1060	0,2862								484	259		416	261
	50	0,0011	0,0225	0,1705	0,3652							283	209		268	209
	60		0,0018	0,0295	0,1536	0,2954						137	100		126	100
	70			0,0042	0,0466	0,2414	0,2483					68	65		70	65
	80				0,0055	0,0671	0,1974	0,2892				15	29		20	29
	90					0,0124	0,0846	0,3264	0,3164			16	24		17	18
	100						0,0089	0,0660	0,1270	0,0625		10	4		4	4
	$\geq 105$							0,0174	0,0884	0,2893	0,4096	4	4		8	7

Foram obtidos os valores estimados para o ano de 2016, para cada classe diamétrica, sendo que estes foram somados com os ingressos que ocorreram no período de 1996 a 2014. Esses valores foram comparados por meio do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com os valores reais medidos no inventário realizado em 2014. Como o valor calculado de  $\chi^2$  (689,91) foi superior aos valores tabelados (21,666 a 1% de probabilidade e 16,919 a 5%), pôde-se concluir que existe diferença significativa entre os valores medidos em campo no ano de 2014 e os valores projetados para o ano de 2016 (Tabela 25).

Tabela 25 - Frequências observada (incluindo o ingresso) em 2014 e estimada em 2016, por classe de diâmetro e valores de  $\chi^2$ . Sendo  $\chi^2(1\%) = 21,666$  e  $\chi^2(5\%) = 16,919$

Centro de classe	Frequência observada	Frequência estimada	$\chi^2$
20	2498	2279	21,10
30	884	435	463,48
40	454	261	142,78
50	246	209	6,56
60	150	100	25,13
70	79	65	2,89
80	29	29	0,01
90	16	18	0,13
100	14	4	25,57
$\geq 105$	3	7	2,27
Total			689,91**

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

Os estoques de carbono foram estimados utilizando as frequências estimadas e observadas (Tabela 26), observa-se que as projeções estimadas para 2016 foram diferente estatisticamente que a observada em 2014, o que permite afirmar que os dados não se ajustam a cadeia de transição probabilística de Markov.

Tabela 26 - Estoque de carbono mensurado e estoque projetado (estoque  $\pm$  erro padrão do resíduo em %) em  $t\ ha^{-1}$ . Em que: Equação 1 (CHAVE et al., 2014) e Equação 2 (SILVA, 2007).

Ano	Equação 1		Equação 2	
	Mensurado	Projetado	Mensurado	Projetado
1996	179,1 $\pm$ 5,31	-	160,5 $\pm$ 4,20	-
2001	144,3 $\pm$ 5,31	117,2 $\pm$ 5,31	131,1 $\pm$ 4,20	133,54 $\pm$ 4,20
2014	161,1 $\pm$ 5,31	-	150,8 $\pm$ 4,20	-
2016	-	100,4 $\pm$ 5,31	-	114,86 $\pm$ 4,20

- **Unidade de Produção Anual C**

Foram feitas projeções para o ano de 2013, com base nas medições realizadas nos anos de 1997 e 2001, com o objetivo de comparar com as medições do ano de 2014. A Tabela 27 apresenta a matriz contendo a frequência por classe diamétrica no intervalo de tempo, as árvores que ingressaram, as árvores que permaneceram na mesma classe diamétrica, as que mudaram para classes superiores e as que morreram.

Tabela 27 - Número de árvores do povoamento que mudaram do estado *i* para outro estado *j*, por centro de classe de diâmetro, no período de 1997 (*t*) a 2001 (*t*+1), em que estado = classe de DAP, M e I; M = mortalidade.

		Estado em 1997											
		I	20	30	40	50	60	70	80	90	100	≥105	
Estado em 2001	I												
	20	64	1906										
	30		101	851									
	40			51	376								
	50				22	184							
	60					14	87						
	70						4	43					
	80							1	13				
	90								1	4			
	100									1	2		
	≥105										1	10	
Morta		297	117	57	22	14	6	2	1	1	1		
Total	64	2304	1019	455	220	105	50	16	7	4	11		

A Tabela 28 apresenta a matriz de probabilidades inicial de transição por classe diamétrica. Por exemplo, a probabilidade de uma árvore da primeira classe de diâmetro permanecer na mesma classe após o intervalo de quatro anos, é de 83%, e a probabilidade de uma árvore desta mesma classe crescer até a próxima classe de diâmetro é de 4%, e assim sucessivamente.

Tabela 28 - Matriz de probabilidade de transição (M), por estados, no período de 1997 e 2001

		Estado em 1997											
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	≥105		
Estado em 2001	20	0,8273											
	30	0,0438	0,8351										
	40		0,0500	0,8264									
	50			0,0484	0,8364								
	60				0,0636	0,8286							
	70					0,0381	0,8600						
	80						0,0200	0,8125					
	90							0,0625	0,6667				
	100								0,1667	0,5000			
	≥105										0,2500	0,9091	
	Morta	0,1289	0,1148	0,1253	0,1000	0,1333	0,1200	0,1250	0,1667	0,2500	0,0909		

O próximo passo foi obter os valores estimados para o ano de 2001 para cada classe diamétrica (Tabela 29). Os valores estimados foram somados com os ingressos que ocorreram neste período. Neste caso ocorreram 64 ingressos na primeira classe e nenhum ingresso nas demais classes diamétricas. Tais valores foram comparados com os valores reais medidos no inventário realizado neste mesmo ano por meio do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Como o valor calculado de  $\chi^2$  (0,70) foi inferior aos valores tabelados (21,666 a 1% de probabilidade e 16,919 a 5% de probabilidade), pôde-se chegar à conclusão de que não existe diferença significativa entre os valores observados e os valores calculados para o ano de 2001.

Como a diferença entre as frequências observadas e estimadas para 2001 não foi significativa ( $\chi^2$  calculado <  $\chi^2$  tabelado) foi possível continuar com a análise e então projetar para os anos seguintes, considerando que o ano em que houve medição foi 2014, logo a projeção foi realizada até o ano de 2013. A matriz de probabilidades para o ano de 2013 está contida na Tabela 30.

Tabela 29 - Prognose para o período de 1997 e 2001, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1997),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para  $t+1$  (2001) e  $I_1$  = número de árvores ingressaram estimado para  $t+1$  (2001).

		Centro de Classe de DAP										$YO_0$ (1997)		$YP_1$ (2001)	$I_1$	$YP_{1est}$ (2001)	$YP_{1obs}$ (2001)				
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	$\geq 105$										
Centro de classe de DAP	20	0,8273										X	=	+	64	1970	1970				
	30	0,0438	0,8351															1019	952	952	952
	40		0,0500	0,8264														455	426	426	427
	50			0,0484	0,8364													220	205	205	206
	60				0,0636	0,8286												105	101	101	101
	70					0,0381	0,8600											50	47	47	47
	80						0,0200	0,8125										16	14	14	14
	90							0,0625	0,6667									7	4	4	6
	100								0,1667	0,5000								3	3	3	4
	$\geq 105$									0,2500	0,9091							11	9	9	10

Tabela 30 - Prognose para o ano de 2013, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1997),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para 2013 e  $I_1$  = número de árvores ingressaram.

		Centro de Classe de DAP										$YO_0$ (1997)		$YP_1$ (2013)	$I_1$	$YP_{1est}$ (2013)				
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	$\geq 105$									
Centro de classe de DAP	20	0,4683										X	=	+	1359	2438				
	30	0,1007	0,4864														1019	728	728	728
	40	0,0091	0,1148	0,4663													455	350	350	350
	50		0,0101	0,1111	0,4893												220	169	169	169
	60			0,0127	0,1469	0,4713											105	88	88	88
	70				0,0103	0,0917	0,5470										50	39	39	39
	80					0,0032	0,0468	0,4358									16	10	10	10
	90						0,0046	0,1021	0,1975								7	4	4	3
	100							0,0275	0,1350	0,0625							3	6	6	2
	$\geq 105$								0,1215	0,3792	0,6830						11	10	10	12

Foram obtidos os valores estimados para o ano de 2013, para cada classe diamétrica, sendo que estes foram somados com os ingressos que ocorreram no período de 1997 a 2014, tais valores foram comparados, por meio do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), com os valores reais medidos no inventário realizado em 2014. Como o valor calculado  $\chi^2$  (155,38) foi superior aos valores tabelados (21,666 a 1% de probabilidade e 16,919 a 5% de probabilidade), pôde-se concluir que existe diferença significativa entre os valores medidos em campo e os valores calculados para o ano de 2013 (Tabela 31).

Tabela 31 - Frequências observada e estimada (incluindo o ingresso) para o ano de 2013, por classe de diâmetro e valores de  $\chi^2$ . Sendo  $\chi^2$  (1%) = 21,666 e  $\chi^2$  (5%) = 16,919.

Centro de classe	Frequência observada	Frequência estimada	$\chi^2$
20	2483	2438	0,83
30	981	728	88,19
40	368	350	0,92
50	224	169	17,68
60	101	88	1,88
70	47	39	1,45
80	19	10	8,97
90	6	3	2,82
100	8	2	27,36
≥105	4	12	5,27
		Total	155,38**

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

Com base nas frequências estimadas e observadas, pôde-se então estimar o estoque de carbono (Tabela 32), observa-se que as projeções estimadas para 2016 foram diferente estatisticamente que a observada em 2014, o que permite afirmar que os dados não se ajustam a cadeia de transição probabilística de Markov.

Tabela 32 - Estoque de carbono mensurado e estoque projetado (estoque  $\pm$  erro padrão do resíduo em %) em t ha<sup>-1</sup>. Em que: Equação 1 (CHAVE et al., 2014) e Equação 2 (SILVA, 2007).

Ano	Equação 1		Equação 2	
	Mensurado	Projetado	Mensurado	Projetado
1997	163,5 $\pm$ 5,31	-	152,2 $\pm$ 4,20	-
2001	146,1 $\pm$ 5,31	114,7 $\pm$ 5,31	135,9 $\pm$ 4,20	137,8 $\pm$ 4,20
2013	-	101,1 $\pm$ 5,31	-	124,7 $\pm$ 4,20
2014	152,9 $\pm$ 5,31	-	142,9 $\pm$ 4,20	-

- **Unidade de Produção Anual D**

Com base nas medições realizadas nos anos de 1998 e 2001, foram feitas projeções para o ano de 2013, com o objetivo de comparar com as medições do ano de 2014. A Tabela 33 apresenta a matriz contendo a frequência por classe diamétrica no intervalo de tempo, as árvores que ingressaram, as árvores que permaneceram na mesma classe diamétrica, as que mudaram para classes superiores e as que morreram.

Tabela 33 - Número de árvores do povoamento que mudaram do estado i para outro estado j, por centro de classe de diâmetro, no período de 1998 (t) a 2001 (t+1), em que estado = classe de DAP, M e I; M = mortalidade.

		Estado em 1998											
		I	20	30	40	50	60	70	80	90	100	≥105	
Estado em 2001	I												
	20	110	1442										
	30		122	635									
	40			60	376								
	50				42	220							
	60					19	141						
	70						7	62					
	80							4	29				
	90								4	15			
	100									1	5		
	≥105											1	19
	Morta			331	124	46	38	29	21	20	12	2	10
Total		110	1895	819	464	277	177	87	53	28	8	29	

A Tabela 34 mostra a matriz de probabilidades inicial de transição por classe diamétrica. Por exemplo, a probabilidade de uma árvore da primeira classe de diâmetro permanecer na mesma classe após o intervalo de três anos, é de 76%, ou ainda a probabilidade de uma árvore desta mesma classe crescer até a próxima classe de diâmetro é de 5%, e assim sucessivamente.

Tabela 34 - Matriz de probabilidade de transição (M), por estados, no período de 1998 e 2001.

		Estado em 1998											
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	≥105		
Estado em 2001	20	0,7609											
	30	0,0644	0,7753										
	40		0,0733	0,8103									
	50			0,0905	0,7942								
	60				0,0686	0,7910							
	70					0,0452	0,7126						
	80						0,0460	0,5472					
	90							0,0755	0,5357				
	100								0,0357	0,6250			
	≥105										0,1250	0,6552	
Morta	0,1747	0,1514	0,0991	0,1372	0,1638	0,2414	0,3774	0,4286	0,2500	0,3448			

O próximo passo foi obter os valores estimados para o ano de 2001 para cada classe diamétrica (Tabela 35). Os valores estimados foram somados com os ingressos que ocorreram neste período. Neste caso ocorreram 110 ingressos na primeira classe e nenhum ingresso nas demais classes diamétricas. Tais valores foram comparados com os valores reais medidos no inventário realizado neste mesmo ano por meio do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Como o valor calculado de  $\chi^2$  (0,25) foi inferior ao valores tabelados (21,666 a 5% de probabilidade e 16,919 a 5% de probabilidade), pôde-se chegar à conclusão de que não existe diferença significativa entre os valores observados e os valores calculados para o ano de 2001.

Como a diferença entre as frequências observada e estimada para 2001 não foi significativa ( $\chi^2$  calculado <  $\chi^2$  tabelado) foi possível continuar com a análise e então projetar para os anos seguintes, considerando que o ano em que houve medição foi 2014, logo a projeção foi realiza até o ano de 2013. A matriz de probabilidades para o ano de 2013 está contida na Tabela 36.

Tabela 35 - Prognose para o período de 1998 e 2001, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1998),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para  $t+1$  (2001) e  $I_1$  = número de árvores ingressaram estimado para  $t+1$  (2001).

		Centro de Classe de DAP										$YO_0$ (1998)		$YP_1$ (2001)		$I_1$	$YP_{1est}$ (2001)	$YP_{1obs}$ (2001)				
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	$\geq 105$											
Centro de classe de DAP	20	0,7609										X	=	+	110	1552	1552					
	30	0,0644	0,7753															1895	1442	757	757	757
	40		0,0733	0,8103														819	436	436	436	436
	50			0,0905	0,7942													464	262	262	262	262
	60				0,0686	0,7910												277	159	159	159	159
	70					0,0452	0,7126											177	69	69	69	70
	80						0,0460	0,5472										87	33	33	33	33
	90							0,0755	0,5357									53	19	17	17	19
	100								0,0357	0,6250								28	6	6	6	6
	$\geq 105$									0,1250	0,6552							8	20	20	20	20

Tabela 36 - Prognose para o ano de 2013, em que  $YO_0$  = número de árvores vivas observadas para  $t = 0$  (1998),  $YP_1$  = número de árvores vivas prognosticadas para 2013 e  $I_1$  = número de árvores ingressaram.

		Centro de Classe de DAP										$YO_0$ (1998)		$YP_1$ (2013)		$I_1$	$YP_{1est}$ (2013)			
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	$\geq 105$									
Centro de classe de DAP	20	0,2551										X	=	+	110	593				
	30	0,1121	0,2802														1895	483	442	442
	40	0,0226	0,1449	0,3494													819	324	324	324
	50	0,0026	0,0331	0,1875	0,3160												464	207	207	207
	60		0,0029	0,0316	0,1353	0,3096											277	110	110	110
	70			0,0017	0,0140	0,0726	0,1838										177	34	34	34
	80				0,0007	0,0067	0,0374	0,0490									87	7	7	7
	90					0,0007	0,0075	0,0324	0,0441								53	4	4	4
	100						0,0005	0,0050	0,0205	0,0954							28	2	2	2
	$\geq 105$							0,0012	0,0100	0,1050	0,1207						8	3	3	3

Foram obtidos os valores estimados para o ano de 2013, para cada classe diamétrica, sendo que estes foram somados com os ingressos que ocorreram no período de 1998 a 2014, tais valores foram comparados, por meio do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), com os valores reais medidos no inventário realizado em 2014. Como o valor calculado de  $\chi^2$  (1007,66) foi superior aos valores tabelados (21,666 a 1% de probabilidade e 16,919 a 5% de probabilidade), pôde-se concluir que existe diferença significativa entre os valores medidos em campo e os valores calculados para o ano de 2013 (Tabela 37).

Tabela 37 - Frequências observada e estimada (incluindo o ingresso) para o ano de 2013, por classe de diâmetro e valores de  $\chi^2$ . Sendo  $\chi^2$  (1%) = 21,666 e  $\chi^2$  (5%) = 16,919.

Centro de classe	Frequência observada	Frequência estimada	$\chi^2$
20	2241	1957	41,06
30	818	442	320,15
40	389	324	13,22
50	248	207	8,27
60	161	110	24,21
70	74	34	48,73
80	43	7	175,60
90	22	4	89,15
100	23	2	278,20
≥105	8	3	9,10
		Total	1007,69**

Com base nas frequências estimadas e observadas, pôde-se então estimar o estoque de carbono (Tabela 38), observa-se que as projeções estimadas para 2016 foram diferente estatisticamente que a observada em 2014, o que permite afirmar que os dados não se ajustam a cadeia de transição probabilística de Markov.

Tabela 38 - Estoque de carbono mensurado e estoque projetado (estoque  $\pm$  erro padrão do resíduo em %) em  $t\ ha^{-1}$ . Em que: Equação 1 (CHAVE et al., 2014) e Equação 2 (SILVA, 2007).

Ano	Equação 1		Equação 2	
	Mensurado	Projetado	Mensurado	Projetado
1998	203,6 $\pm$ 5,31	-	166,8 $\pm$ 4,20	-
2001	171,1 $\pm$ 5,31	133,7 $\pm$ 5,31	142,6 $\pm$ 4,20	142,7 $\pm$ 4,20
2013	-	90,8 $\pm$ 5,31	-	99,6 $\pm$ 4,20
2014	180,2 $\pm$ 5,31	-	154,0 $\pm$ 4,20	-

De maneira geral, é possível observar que as projeções constatadas para os anos próximo 2014 tem menos árvores no centro de classe 20cm, esta tendência pode ser explicada pela dificuldade de quantificar o ingresso (AZEVEDO, 1993).

Os resultados das projeções conduzem ao povoamento para alguma situação diferente da situação inicial, nesse caso as frequências decresceram. Os estoques de carbono projetados para o ano de 2016 para UPA B foram menores que os observados em 2014, porém essa comparação não pode ser validada pelo fato de haver irregularidades nos intervalos de medições entre as UPAs, e o longo intervalo entre duas medições (2001-2014).

As três unidades de produção anual (UPA B, C e D) apresentaram diferença estatística significativa das projeções estimadas para 2016 e 2013 e as observadas para 2014. O que não permite realizar projeções para os ciclos de corte de 25, 30 e 35.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nas condições do presente trabalho, pode-se concluir que:

- Considerando o povoamento total foi possível observar que houve uma redução do número de espécies, famílias e indivíduos após a exploração, entretanto até na última medição houve um aumento gradativo. No período de antes e após exploração foi registrado a entrada de 26 novas espécies sendo, três comerciais, e a saída de sete espécies, sendo nenhuma do grupo comercial.
- O estoque de carbono estimado para a área ( $165,7 \pm 24,1 \text{ t.ha}^{-1}$ ) é semelhante ao encontrado por outros autores em área manejada. As espécies comerciais são responsáveis por 29% do estoque de carbono acima do solo.
- O incremento periódico anual em carbono é influenciado pelas variáveis categóricas: iluminação da copa e forma da copa. Em que, a maior incidência de iluminação e uma forma de copa bem distribuída, apresentam as maiores médias de incremento periódico anual em carbono.
- Nas UPAs B e D, 17 e 16 anos após exploração, o conteúdo de carbono é significativamente diferente do estoque antes da exploração. Em relação a UPA C, a mesma apresenta, estatisticamente, o mesmo estoque de carbono que continha antes da exploração, quando considerado o povoamento total.
- As médias de estoque para todas as UPAs, antes e após a exploração foram diferentes estatisticamente, quando não considerado o recrutamento e mortalidade.
- De maneira geral, o sistema de manejo aplicado não influenciou de maneira diferente as Unidades de Produção Anual B, C e D, a diferença nos estoque foi somente em função do tempo.
- A cadeia de Markov não foi adequada para projeções a médio prazo.

Como forma de melhorar as análises do efeito da aplicação do sistema de manejo aplicado, recomenda-se:

- Adotar intervalos constantes entre as medições e por longa série temporal para aprimorar o estudo da dinâmica do carbono e prognose dos ciclos de corte.
- Recomenda-se que sejam buscadas esforços para que as florestas continuem sendo avaliadas periodicamente para futuras avaliações de seu comportamento quanto à dinâmica de carbono.

## REFERÊNCIAS

- ALDER, D. *Growth Modelling for Mixed Tropical Forests*, Oxford: Department of Plant Sciences. University of Oxford, p.23, 1995.
- 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.
- AZEVEDO, C. P. *Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia Oriental: experimentação e simulação*. 2006. 254 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Paraná.
- AZEVEDO, C. P. *Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequidâneos pelo emprego da matriz de transição*. 1993. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- AZEVEDO, C. P.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, N. M.; MACHADO, S. A. Efeito de diferentes níveis de exploração e de tratamentos silviculturais sobre a dinâmica da floresta remanescente. *Floresta*, 38 (2): 277-293, 2008.
- AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Um modelo de matriz de transição para prognose do crescimento de um povoamento natural remanescente não manejado de Mata Atlântica. *Revista Árvore*, 19(2): 187-199, 1995.
- BRASIL, *Serviço Florestal Brasileiro-SFB*, Florestas do Brasil em resumo - 2009: Dados de 2005-2010, Brasília, DF.
- BROWN, S. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: A Primer*, Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 55 p, 1997.
- BRUNER, H. D.; MOSER, Jr. J. W. A Markov Chain approach to the prediction of diameter distribution in an even-aged forest stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 3: 409-417, 1973.
- BUONGIORNO, J.; MITCHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management, *Forest Science*, 26 (4): 609-625, 1980.
- CARVALHO, J. O. P. Changes in the floristic composition of a terra firme rain forest in Brazilian Amazonia over an eight-year period in response to logging. *Acta Amazonica*, 32(2): 277-291, 2002.
- CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152: 73-84, 2001.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; AGUILAR, S.; HERNANDEZ, A.; LAO, S.; PEREZ, R. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions: The Royal Society of London* 359: 409-420, 2004.

CHAVE, J.; MÉCHAIN, M. R.; BÚRQUEZ, A.; CHIDUMAYO, E.; COLGAN, M. S.; DELITTI, W. B. C.; DUQUE, A.; EID, T.; FEARNSIDE, P. M.; GOODMAN, R. C.; HENRY, M.; YRÍZAR A. M.; MUGASHA, W.; LANDAU, H. C. M.; MENCUCCINI, M.; NELSON, B. W.; NGOMANDA, A.; NOGUEIRA, E. M.; MALAVASSI, E. O.; PÉLISSIER, R.; PLOTON, P.; RYAN, C. M.; SALDARRIAGA, J. G.; VIEILLEDENT, G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, p 3177– 3190, 2014

CLARK, D. A. Are tropical forests na importante carbono sink? Reanalysis of the long-term plot data, *Ecological Applications*, 12: 3-7, 2002.

DE GRAAF, N. R. A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname. Wageningen: Agricultural University, 250 p, 1986.

ENRIGHT, N.; OGDEN, J. Applications of transition matrix models in forest dynamics: Araucaria in Papua New Guinea and Nothofagus in New Zealand. *Australian Journal of Ecology*, n. 4, p. 3-23, 1979.

FEARNSIDE, P. M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46(1-2): 115-158. 2000.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, 35(3): 321-360, 1997.

FEARNSIDE, P.M. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. *Oecologia Brasiliensis*, 12 (4): 743-756, 2008.

FREITAS, J. V.; HIGUCHI, N. *Projeções da distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme pela cadeia de Markov*, In: Congresso Florestal Brasileiro e Congresso Florestal Panamericano. Curitiba, Anais, Curitiba: S.B.S/S.B.E.F., 1993, v. 2, p. 545-548,1993.

GLENDAY, J. Carbon storage and emissions offset potential in an East African tropical rainforest. *Forest Ecology and Management*, 235(1-3): 72-83. 2006.

GOMIDE, G. L. A. *Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá*. 1997. 179 pp. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

GOUVELLO, C. de. Estudo de baixo carbono para o Brasil. Brasília: Banco Mundial, 2010. 278p.

HENRIQUES JUNIOR, M. F. *Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro*. 2010. 309 p. Tese (Doutorado em Planejamento energético)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J. 1994. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. *In: Seminário emissão x sequestro de CO<sub>2</sub> – uma oportunidade de negócios para o Brasil*, Rio de Janeiro: CVRD. p. 125-153.

HIGUCHI, N.; PEREIRA, H. S.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, F. G.; HIGUCHI, M. I. G.; AYRES, I. G. S. *Governos locais amazônicos e as questões climáticas globais*. Edição dos autores, 104 pp, 2009.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; COIC, A. R. ; MINETTE, L.J. Crescimento e incremento de uma floresta Amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. *In: Workshop Bionte - Aspectos Silviculturais e ecológicos do Manejo Florestal INPA - Manaus- AM*, 1997.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: 301-304. 2000.

HUNT, C. A. G. *Measuring the carbon in forestsinks, In: Carbonsinksandclimatechange: forests in thefightagainst global warming*. University of Queen sland, Australia, 236 pp, 2009.  
HUSCH, B.; MILLER C.I.; BEERS T.W. *Forest mensuration*, 3rd ed, New York: John Wiley& Sons, 1982.

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*, Resumo Técnico, Disponível em <<http://www.ipcc.ch>>, Acesso em 02 Jan, 2014.

IPCC, 2013. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Working Group I Report "The Physical Science Basis"*, Resumo técnico Disponível em <<http://www.ipcc.ch>>, Acesso em 15 Jan 2014.

JARDIM, F. C. S.; SOUZA, A. L. *Sistemas Silviculturais Aplicados As Florestas Tropicais*. Sociedade de investigações florestais, Viçosa-MG 125 p , 1993.

LAMBERS, H.; CHAPIM III, F. S.; PONS, T. L. *Plant Physiological Ecology*, Springer Verlag. New York, USA, 299 pp, 1998.

LAMPRECHT, H. *Silvicultura nos Trópicos*. Eschborn: GTZ, 1990.

LIMA, A. J. N. Avaliação de um sistema de Inventário Florestal Contínuo em áreas manejadas e não manejadas do Estado do Amazonas (AM). 2010. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA/UFAM, Manaus, Amazonas, 2010.

LOETSCH, F.; ZOHER, F.; HALLER K. E. *Forest Inventory*. BLV, Volume 2, 469p, 1973.  
MALHI, Y.; BAKER, T. R.; PHILIPS, O. L.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; CHAVE, J.; CZIMCZIK, C. I. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neo tropical forest plots. *Global Change Biology*, 10: 563-591, 2006.

- MITCHIE, B.R.; BUONGIORNO, J. Estimation of a matrix model of forest growth from remeasured permanent plots. *Forest Ecology and Management*, 18: 127-135, 1984.
- NOBRE, C. A. *Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono?* In: MMA, Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia, Brasília, DF, p. 197-224, 2001.
- NOWAK, D. J.; CRANE, D. E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116:381-389, 2002.
- ODUM, E. P. *Ecologia*, Rio de Janeiro: Editora Guanabara S. A. 434 p, 1986.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. *Inventário Florestal*. Curitiba: Editado pelos autores, 316 pp, 1997.
- RADAMBRASIL. *Propagação de Interação Nacional, Levantamentos de Recursos Naturais IV- Vegetação*, Manaus: DNPM, Ministério das Minas e Energia, v. 18. p. 747, 1978.
- RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. *Flora da Reserva Ducke – Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*, Manaus: INPA, 816 p, 1999.
- RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MATINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B.; SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. *Revista Árvore*, v. 34, n. 3, p. 495-504, Viçosa-MG, 2010.
- ROCHA, R. M. *Taxas de recrutamento e mortalidade da floresta de terra-firme da Bacia do Rio Cuieiras na região de Manaus-AM*. 2001. 49 pp. Dissertação (Mestrado em Florestas Tropicais)-Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/UFAM), Manaus, Amazonas.
- SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R.A.; SANTOS, R.C.; SOARES, J. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 12: 816-837, 2007.
- 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*, 6 (1): 65-78, 1996.
- SANTOS, J. *Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira*. 1996. 121 pp. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- SCHNEIDER, P. R.; SHNEIDER, P. S. P. *Introdução ao manejo florestal*, 2ª ed, Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008.
- SCHONGART, J.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; AYRES, J. M.; HUTTERMANN, A. Telconnection between Ter Growth in the Amazonia Floodplains and the El Niño-Southern Oscillation Effect, *Glob. Global Change Biology*, 10: 683-692, 2004.
- SCHWARTZ, G.; PEÑA-CLAROS, LOPES, M.; J. C. A. MOHREN, G. M. J.; KANASHIRO, M. Mid-term effects of reduced-impact logging on the regeneration of seven

- tree commercial species in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 274: 116-125, 2012.
- SCOLFORO, J. R. S. *Manejo Florestal*, Lavras: UFLA/PAEPE, 438 p, 1997.
- SEIDL, R.; RAMMER, W.; JÄGE R. D.; CURRIE, W. S.; LEXER, M. J. Assessing tradeoffs between carbon sequestration and timber production within a framework of multipurpose forestry in Austria. *Forest Ecology and Management*, 248(1-2): 64-79, 2007.
- SIERRA, C. A.; VALLE, J. I. DEL; ORREGO, S. A.; MORENO, F. H.; HARMON, M. E.; ZAPATA, M.; COLORADO, G. J.; HERRERA, M. A.; LARA, W.; RESTREPO, D.E.; BERROUET, L. M.; LOAIZA, L. M.; BENJUMEA, J. F. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 243(2-3): 299-309, 2007.
- SILVA, D. H. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais, v. 52, n. 2, p: 155-172, 2009.
- SILVA, J. N. M. The behavior of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging, PhD Thesis, University of Oxford, Oxford, United Kingdom, 303 pp, 1989.
- SILVA, J. N. M., CARVALHO, J. O. P., LOPES, J. C. A., ALMEIDA, B. F., COSTA, D. H. M., OLIVEIRA, L. C., 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*, 71: 267-274, 1995.
- SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A. Inventário florestal contínuo em florestas tropicais: a metodologia utilizada pela EMBRAPA/CPATU na Amazônia Brasileira. Belém, PA: EMBRAPA-PA, 33 p, 1984.
- SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, S. M. A.; CARVALHO, J. O. P.; COSTA, D. H. M.; MELO, M. S.; TAVARES, M. J. M. Diretrizes simplificadas para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 68 p, 2005.
- SILVA, R, P, *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. 2007. 152 pp. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais)-Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/UFAM), Manaus, Amazonas.
- SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em viçosa, minas gerais. *Revista, Árvore*, Viçosa-MG, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.
- SOLOMON, D. S.; HOSMER, R. A.; HAYSLETT JR., H. T. A forest two-stage matrix model for predicting growth of forest stands in the northeast. *Canadian Journal of Forest Research*. 16: 521-508, 1986.
- SOUZA, A. L. SOARES, C. P. B. *Florestas Nativas: Estrutura, Dinâmica e Manejo*, Viçosa, MG: Ed. UFV, 201; SFB, 2013.

- SOUZA, C. R. *Dinâmica de carbono em floresta explorada e em floresta nativa não explorada na Amazônia-Manaus*. 2012. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas tropicais)- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/UFAM), Manaus, Amazonas.
- SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; PUTZ, F. E. The dynamics of tree populations in tropical forest. *Journal of Tropical Ecology*, v. 3, p. 359-366, 1987.
- TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R.; LIMA, J. N.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J.; 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*, 37 (3): 377-384, 2007.
- VALENTINE, H. T.; FURNIVAL, G. M. Projections with in growth by Markov Chains, *Forest Science*, 35 (1): 245-250, 1989.
- VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental, *Acta Amazonica* 39 (1): 71-80, 2009.
- VON ENDE, C. N. *Repetead-Measures Analysis: Growth and Other Time Dependent Measures*. In: Scheiner, S. M.; Gurevitch, J. (Eds), *Design and Analysis of Ecological Experiments*, Oxford University Press, p, 134 – 157, 2001.

## APÊNDICE

Apêndice A. Lista de espécies arbóreas identificadas nas Unidades de Produção Anual B, C e D.

Família	Nome Científico	Carbono t.ha <sup>-1</sup>	Mercado Atual
Sapotaceae	<i>Pouteria platyphylla</i> (A.C. Sm.) Baehni	8,1494	Não
Lecythidaceae	<i>Lecythis prancei</i> S.A. Mori	8,0604	Não
Apocynaceae	<i>Geissospermum vellosii</i> Allemão	5,5624	Não
Lauraceae	<i>Ocotea fragrantissima</i> Ducke	5,0752	<b>Sim</b>
Sapotaceae	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl	4,6935	Não
Chrysobalanaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	4,5588	Não
Lecythidaceae	<i>Licania heteromorpha</i> Benth.	4,3899	Não
Lecythidaceae	<i>Lecythis poiteaui</i> O.Berg	4,3345	Não
Lecythidaceae	<i>Eschweilera collina</i> Eyma	3,9618	Não
Fabaceae	<i>Swartzia brachyrachis</i> Harms	3,8106	Não
Solanaceae	<i>Duckeodendron cestroides</i> Kuhlmann	3,5031	Não
Burseraceae	<i>Protium puncticulatum</i> J F Macbr.	3,4335	<b>Sim</b>
Olacaceae	<i>Minuartia guianensis</i> Aubl.	3,2949	<b>Sim</b>
Sapotaceae	<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	3,1626	Não
Sapotaceae	<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	3,1331	<b>Sim</b>
Malvaceae	<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	3,1245	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Tachigali goeldianum</i> Huber	2,9009	Não
Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	2,8412	<b>Sim</b>
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea froesii</i> Earle Sm.	2,7036	Não
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	2,5040	<b>Sim</b>
Sapotaceae	<i>Ecclinusa bacuri</i> Aubrév. & Pellegr.	2,5036	Não
Annonaceae	<i>Gutteria procera</i> R.E. Fr.	2,4696	Não
Fabaceae	<i>Swartzia corrugata</i> Benth.	2,3508	<b>Sim</b>
Sapotaceae	<i>Planchonella pachycarpa</i> Pires	2,3319	Não
Moraceae	<i>Perebea guianensis</i> Aubl.	2,2997	Não
Chrysobalanaceae	<i>Licania paraensis</i> Prance	2,2821	Não
Burseraceae	<i>Protium paniculatum</i> Engl	2,2586	<b>Sim</b>
Sapotaceae	<i>Pouteria opposita</i> (Ducke) T.D.Penn	2,1247	Não
Lauraceae	<i>Licaria chrysophylla</i> (Meisn.) Kosterm.	2,0060	<b>Sim</b>
Lauraceae	<i>Licaria rigida</i> (Kosterm) Kosterm.	1,9280	Não
Apocynaceae	<i>Aspidosperma rigidum</i> Rusby	1,7447	Não

<b>Família</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Carbono t.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Mercado Atual</b>
Combretaceae	<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler	1,7074	Não
Myristicaceae	<i>Virola duckei</i> A.C. Sm.	1,6761	Não
Lauraceae	<i>Mezilaurus synandra</i> (Mez) Kosterm.	1,6304	Não
Fabaceae	<i>Martiodendron elatum</i> (Ducke) Gleason	1,5452	<b>Sim</b>
Rubiaceae	<i>Duroia sprucei</i> Rusby	1,4640	Não
Humiriaceae	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	1,3993	<b>Sim</b>
Sapotaceae	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	1,3236	<b>Sim</b>
Chrysobalanaceae	<i>Licania impressa</i> Prance	1,3029	Não
Lecythidaceae	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	1,2184	<b>Sim</b>
Chrysobalanaceae	<i>Couepia bracteosa</i> Benth.	1,2033	Não
Annonaceae	<i>Xylopia calophylla</i> R.E. Fr.	1,1534	Não
Fabaceae	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	1,1232	Não
Fabaceae	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	1,1076	<b>Sim</b>
Humiriaceae	<i>Sacoglottis amazonica</i> Mart.	0,9898	Não
Moraceae	<i>Brosimum parinarioides</i> Duck	0,9676	<b>Sim</b>
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	0,9581	<b>Sim</b>
Urticaceae	<i>Pourouma longipendula</i> Ducke	0,9511	Não
Fabaceae	<i>Pithecellobium cauliflorum</i> Mart.	0,9359	Não
Fabaceae	<i>Peltogyne catingae</i> Ducke	0,8713	Não
Fabaceae	<i>Andira parviflora</i> Ducke	0,8476	<b>Sim</b>
Humiriaceae	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	0,8454	Não
Fabaceae	<i>Ormosia paraensis</i> Ducke	0,8207	Não
Fabaceae	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	0,8061	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Hymenolobium pulcherrimum</i> Ducke	0,8039	<b>Sim</b>
Lauraceae	<i>Sextonia rubra</i> (Mez) Van der Werff	0,8012	<b>Sim</b>
Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez	0,7731	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Pithecellobium racemosum</i> Ducke	0,7196	Não
Myrtaceae	<i>Eugenia patrisii</i> Vahl	0,6928	Não
Urticaceae	<i>Cecropia</i> sp.	0,6649	Não
Melastomataceae	<i>Mouriria</i> sp.	0,6604	Não
Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taubert	0,6558	Não
Chrysobalanaceae	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	0,6425	Não
Melastomataceae	<i>Mouriri sideroxylon</i> Sagot ex Triana	0,6398	Não
Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A. Juss.)	0,5966	Não
Hypericaceae	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers.	0,5909	Não

<b>Família</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Carbono t.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Mercado Atual</b>
Lauraceae	<i>Aniba burchellii</i> Kostern	0,5733	Não
Lauraceae	<i>Mezilaurus</i> sp.	0,5624	Não
Apocynaceae	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll. Arg.	0,5340	<b>Sim</b>
Chrysobalanaceae	<i>Licania</i> spp.	0,5311	Não
Anacardiaceae	<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	0,5195	Não
Fabaceae	<i>Parkia paraensis</i> Ducke	0,5186	Não
Myristicaceae	<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	0,5010	<b>Sim</b>
Myristicaceae	<i>Iryanthera</i> sp.	0,4733	Não
Fabaceae	<i>Vataireopsis</i> sp.	0,4678	Não
Euphorbiaceae	<i>Croton lanjouwensis</i> Jabl	0,4662	Não
Peraceae	<i>Poecilanthe effusa</i> (Huber) Ducke	0,4442	Não
Fabaceae	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl	0,4352	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	0,4342	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Diploptropis triloba</i> Gleason	0,4317	<b>Sim</b>
Moraceae	<i>Ficus dendrocida</i> Kunth	0,4271	Não
Solanaceae	<i>Solanum rugosum</i> Dunal	0,4183	Não
Moraceae	<i>Brosimum potabile</i> Ducke	0,4092	Não
Rubiaceae	<i>Capirona huberiana</i> Ducke	0,4074	Não
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl. var. montana	0,4029	<b>Sim</b>
Lecythidaceae	<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	0,3941	Não
Nyctaginaceae	<i>Neea oppositifolia</i> Ruiz & Pav.	0,3882	Não
Sapotaceae	<i>Pouteria laevigata</i> (Mart.) Radlk.	0,3756	Não
Fabaceae	<i>Machaerium caudatum</i> Ducke	0,3755	Não
Fabaceae	<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i> (DC.) G. P. Lewis	0,3623	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Diploptropis</i> sp.	0,3522	Não
Fabaceae	<i>Inga capitata</i> Desv.	0,3415	Não
Euphorbiaceae	<i>Hevea</i> sp.	0,3407	Não
Fabaceae	<i>Parkia</i> sp.	0,3394	Não
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	0,3381	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	0,3309	Não
Fabaceae	<i>Tachigali myrmecophila</i> (Ducke) Ducke	0,3262	Não
Hypericaceae	<i>Vismia cauliflora</i> A.C. Sm.	0,3084	Não
Annonaceae	<i>Duguetia echinophora</i> R.E. Fr.	0,2865	Não
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	0,2840	<b>Sim</b>
Lauraceae	<i>Aniba ferrea</i> Kubitzki	0,2826	Não

<b>Família</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Carbono t.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Mercado Atual</b>
Fabaceae	<i>Tachigali chrysophyllum</i> Poepp.	0,2783	Não
Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nichols.	0,2733	<b>Sim</b>
Lauraceae	<i>Licaria cannella</i> (Meisn) Kosterm.	0,2708	Não
Dichapetalaceae	<i>Tapura amazonica</i> Poepp. & Endl.	0,2684	Não
Fabaceae	<i>Pterocarpus amazonicus</i> Huber	0,2648	Não
Lecythidaceae	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth	0,2642	Não
Fabaceae	<i>Ormosia</i> sp.	0,2551	Não
Lauraceae	<i>Licaria</i> sp.	0,2535	Não
Fabaceae	<i>Ormosia discolor</i> Spruce ex Benth.	0,2430	Não
Euphorbiaceae	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	0,2317	Não
Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	0,2249	<b>Sim</b>
Siparunaceae	<i>Siparuna decipiens</i> (Tul.) A. DC.	0,2218	Não
Sapotaceae	<i>Pouteria hispida</i> Eyma	0,2211	<b>Sim</b>
Lauraceae	<i>Mezilaurus lindaviana</i> Schwacke & Mez	0,2103	Não
Lauraceae	<i>Aniba canellila</i> (H.B.K.)Mez	0,2087	Não
Melastomataceae	<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	0,1995	Não
Hypericaceae	<i>Vismia japurensis</i> Reichardt	0,1984	Não
Violaceae	<i>Rinorea macrocarpa</i> (C Mart. ex Eichler) Kuntze	0,1948	Não
Fabaceae	<i>Platymiscium duckei</i> Huber	0,1928	Não
Myristicaceae	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (Spruce ex A. DC.)	0,1793	Não
Fabaceae	<i>Inga rubiginosa</i> (Rich.) DC.	0,1764	Não
Fabaceae	<i>Inga tarapotensis</i> Spruce ex Benth.	0,1720	Não
Fabaceae	<i>Inga heterophylla</i> Willd.	0,1654	Não
Clusiaceae	<i>Calophyllum angulare</i> A.C. Sm.	0,1611	<b>Sim</b>
Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	0,1560	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L. var. <i>stilbocarpa</i> (Hayne)	0,1485	<b>Sim</b>
Fabaceae	<i>Tachigali guianensis</i> (Benth) Zarucchi & Herend.	0,1484	Não
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0,1327	<b>Sim</b>
Burseraceae	<i>Protium</i> sp.	0,1153	Não
Lecythidaceae	<i>Couratari stellata</i> A.C. Sm.	0,1037	Não
Fabaceae	<i>Copaífera multijuga</i> Hayne	0,1014	Não
Sapotaceae	<i>Pouteria amazonica</i> Radlk.	0,1011	Não
Fabaceae	<i>Vataireopsis speciosa</i> Ducke	0,0956	Não
Moraceae	<i>Brosimum obovata</i> L.	0,0951	Não
Annonaceae	<i>Annona sericea</i> Dunal	0,0946	Não

<b>Família</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Carbono t.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Mercado Atual</b>
Moraceae	<i>Trymatococcus amazonicus</i> Poepp. & Endl.	0,0943	Não
Fabaceae	<i>Swartzia</i> sp.	0,0913	Não
Apocynaceae	<i>Couma macrocarpa</i> Barb. Rodr.	0,0876	Não
Lecythidaceae	<i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A.Mori	0,0824	Não
Clusiaceae	<i>Moronobea coccinea</i> Aubl.	0,0822	Não
Fabaceae	<i>Taralea oppositifolia</i> Aubl.	0,0750	Não
Lecythidaceae	<i>Eschweilera amazonica</i> R. Knuth	0,0723	Não
Malpighiaceae	<i>Byrsonim aerugo</i>	0,0711	Não
Lecythidaceae	<i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori	0,0694	Não
Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	0,0681	Não
Achariaceae	<i>Lindackeria paraensis</i> Kuhlm.	0,0665	Não
Lauraceae	<i>Aniba megaphylla</i> Mez	0,0648	Não
Fabaceae	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	0,0644	Não
Lauraceae	<i>Ocotea</i> sp.	0,0581	Não
Annonaceae	<i>Gutteria</i> sp.	0,0567	Não
Olacaceae	<i>Ptychopetalum olacoides</i> Benth	0,0548	Não
Celastraceae	<i>Maytenus pruinosa</i> Reissek	0,0462	Não
Lamiaceae	<i>Vitex cymosa</i> Bert. ex Spreng	0,0437	Não
Fabaceae	<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.	0,0430	<b>Sim</b>
Apocynaceae	<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Müll. Arg.)	0,0430	Não
Malvaceae	<i>Quararibea guianensis</i> Aubl.	0,0426	Não
Myristicaceae	<i>Virola caducifolia</i> WA Rodrigues	0,0387	Não
Rutaceae	<i>Fagara pentandra</i> Aubl.	0,0374	Não
Sapindaceae	<i>Talisia longifolia</i> (Benth.) Radlk	0,0358	Não
Annonaceae	<i>Duguetia cauliflora</i> R.E. Fr	0,0349	Não
Myristicaceae	<i>Virola theiodora</i> (Spruce ex Benth.) Warb.	0,0343	Não
Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i> sp.	0,0336	Não
Malvaceae	<i>Bombax paraensis</i> Ducke	0,0334	Não
Burseraceae	<i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart.	0,0328	Não
Fabaceae	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	0,0301	Não
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	0,0295	Não
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni	0,0284	Não
Burseraceae	<i>Protium sagotianum</i> Marchand	0,0268	Não
Annonaceae	<i>Gutteria aff olivacea</i> R.E. Fr.	0,0258	Não
Myristicaceae	<i>Virola melinonii</i> (Benoist) A.C. Sm.	0,0250	Não

<b>Família</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Carbono t.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Mercado Atual</b>
Tiliaceae	<i>Apeiba albiflora</i> Ducke	0,0249	Não
Urticaceae	<i>Cecropia leucoma</i> Miq.	0,0211	Não
Lauraceae	<i>Aniba rosaeodora</i> Ducke	0,0201	Não
Rubiaceae	<i>Amaioua guianensis</i>	0,0197	Não
Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i> Mart.	0,0197	Não
Menispermaceae	<i>Abuta</i> sp.	0,0193	Não
Lecythidaceae	<i>Lecythis usitata</i> Miers	0,0189	Não
Myristicaceae	<i>Virola guggenheimii</i> W.A. Rodrigues	0,0163	Não
Myristicaceae	<i>Iryanthera olacoides</i> (A.C. Sm.) A.C. Sm.	0,0159	Não
Malvaceae	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	0,0149	Não
Malvaceae	<i>Theobroma sylvestre</i> Aubl. ex Mart.	0,0142	Não
Myrtaceae	<i>Myrcia bracteata</i> (Rich.) DC.	0,0121	Não
Fabaceae	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	0,0118	Não
Annonaceae	<i>Guatteria</i> sp.	95	Não
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	92	Não
Myrtaceae	<i>Duroia saccifera</i> (Mart. ex Roem. & Schult.)	68	Não
Hypericaceae	<i>Vismia</i> sp.	66	Não
Annonaceae	<i>Xylopia polyantha</i> R.E. Fr.	65	Não
Fabaceae	<i>Bocoa viridiflora</i> (Ducke) R.S. Cowan	64	Não
<b>TOTAL</b>		<b>165,69</b>	



## Apêndice B. Entradas e saídas de espécies por intervalo de medição da Unidade de Produção Anual B

	1996-1998	1998-2001	2001-2014
	-	-	<i>Pouteria amazonica</i> Radlk. <i>Pouteria guianensis</i> Aubl <i>Ficus dendrocida</i> Kunth <i>Iryanthera olacoides</i> (A.C. Sm.) A.C. Sm. <i>Duroia saccifera</i> (Mart. ex Roem. & Schult.) Hook. <i>Platonia insignis</i> Mart. <i>Protium sagotianum</i> Marchand <i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart. <i>Duguetia cauliflora</i> R.E. Fr <i>Viola theiodora</i> (Spruce ex Benth.) Warb. <i>Vismia cauliflora</i> A.C. Sm. <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers. <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori <i>Bombax paraensis</i> Ducke <i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Müll. Arg.) Woodson
<b>ENTRADA</b>			
	<i>Vismia cauliflora</i> A.C. Sm. <i>Bombax paraensis</i> Ducke <i>Apeiba albiflora</i> Ducke	<i>Platonia insignis</i> Mart.	<i>Brosimum potabile</i> Ducke <i>Brosimum obovata</i> L.
<b>SAÍDA</b>			

## Apêndice C. Entradas e saídas de espécies por intervalo de medição da Unidade de Produção Anual C

	1997-2001	2001-2014
	<i>Cecropia</i> sp.	<i>Pouteria hispida</i> Eyma
	<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	<i>Pouteria amazonica</i> Radlk.
	<i>Brosimum obovata</i> L	<i>Pouteria laevigata</i> (Mart.) Radlk.
		<i>Protium sagotianum</i> Marchand
		<i>Virola theiodora</i> (Spruce ex Benth.) Warb.
		<i>Vataireopsis speciosa</i> Ducke
		<i>Inga tarapotensis</i> Spruce ex Benth.
		<i>Vismia cauliflora</i> A.C. Sm.
		<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers.
		<i>Croton lanjouwensis</i> Jabl
		<i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori
		<i>Tapura amazonica</i> Poepp. & Endl.
		<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.
		<i>Tachigali guianensis</i> (Benth) Zarucchi & Herend.
		<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i> (DC.) G. P. Lewis
		<i>Sacoglottis amazonica</i> Mart.
<b>ENTRADA</b>		
	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	<i>Protium</i> sp.
<b>SAÍDA</b>	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Frondin	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell
	<i>Sacoglottis amazonica</i> Mart.	

## Apêndice D. Entradas e saídas de espécies por intervalo de medição da Unidade de Produção Anual D

	1998-2001	2001-2014
	<i>Virola guggenheimii</i> W.A. Rodrigues	<i>Pouteria hispida</i> Eyma <i>Osteophloeum platyspermum</i> (Spruce ex A. DC.) <i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni <i>Protium sagotianum</i> Marchand <i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart. <i>Theobroma sylvestre</i> Aubl. ex Mart. <i>Lindackeria paraensis</i> Kuhlman. <i>Virola theiodora</i> (Spruce ex Benth.) Warb. <i>Vataireopsis speciosa</i> Ducke <i>Inga alba</i> (Sw.) Willd. <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers. <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori <i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A.Mori <i>Bocoa viridiflora</i> (Ducke) R.S. Cowan <i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Müll. Arg.) Woodson <i>Virola caducifolia</i> WA Rodrigues
<b>ENTRADA</b>		
	<i>Theobroma sylvestre</i> Aubl. ex Mart. <i>Lindackeria paraensis</i> Kuhlman. <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers. <i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Müll. Arg.) Woodson	<i>Simarouba amara</i> Aubl. <i>Perebea</i> sp.
<b>SAÍDA</b>		

