

DANILA MORENA FIDÉLES PONTES

**ESTOQUES DE MADEIRA, BIOMASSA, CARBONO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DE DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA PARA RESERVA
LEGAL**

Botucatu

2018

DANILA MORENA FIDÉLES PONTES

**ESTOQUES DE MADEIRA, BIOMASSA, CARBONO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DE DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA PARA RESERVA
LEGAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestra em Ciência Florestal.

Orientadora: Prof^a Dr^a Vera Lex Engel

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P813e	Pontes, Danila Morena Fidéles, 1990- Estoque de madeira, biomassa, carbono e avaliação econômica de diferentes sistemas de restauração ecológica para Reserva Legal / Danila Morena Fidéles Pontes. - Botucatu: [s.n.], 2018 118 p.: fots. color., grafs. color., ils. color., tabs. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018 Orientador: Vera Lex Engel Inclui bibliografia 1. Florestas - Restauração. 2. Mata Atlântica. 3. Fluxo de caixa. 4. Florestas - Legislação. I. Engel, Vera Lex. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.
-------	--

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

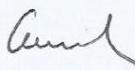
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTOQUES DE MADEIRA, BIOMASSA, CARBONO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA PARA RESERVA LEGAL

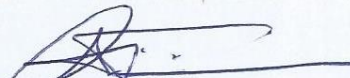
AUTORA: DANILA MORENA FIDÉLES PONTES

ORIENTADORA: VERA LEX ENGEL

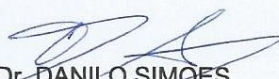
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. VERA LEX ENGEL
Dep de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. RICARDO AUGUSTO GORNE VIANI
Biotecnologia de Produção Vegetal e Animal / UFSCar



Prof. Dr. DANILO SIMOES
Depto de Engenharia de Produção / UNESP - Campus Experimental de Itapeva

Botucatu, 23 de julho de 2018.

À minha amada família,

dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora.

À minha família, Laura e Carlos Eduardo, pelo carinho, amor incondicional, apoio, compreensão e inspiração diária.

Aos meus pais, Almir e Sandra, que sempre puderam dar seu braço sem medir esforços, acreditando, apoiando e incentivando esta conquista.

À minha irmã, Daniella, pelas descontrações durante toda a minha jornada.

À minha orientadora, professora Dra. Vera Lex Engel, pela confiança, oportunidades, orientações e ensinamentos na acolhida durante estes anos no LERF (Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal). Um exemplo de mulher, a qual admiro profissionalmente.

À professora e pesquisadora Dra. Maria José Zakia, por me proporcionar o conhecimento prático e científico, agradeço imensamente as oportunidades.

Ao professor Dr. Danilo Simões, pela prontidão no auxílio das análises econômicas e participação na banca de defesa da dissertação de mestrado.

Ao professor Dr. Ricardo Viani pelas sugestões e participação na minha banca de defesa da dissertação de mestrado.

À FCA (Faculdade de Ciências Agrônomicas) por ceder suas Fazendas à pesquisa florestal e ao avanço da Restauração Ecológica.

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, pela bolsa de pesquisa concedida.

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF - UNESP) que contribuíram e acompanharam os trabalhos de campo, pelas conversas, trocas de experiências: Bruna, Deivid, Zé Butina, Diego, Lesma, Andra, Naiade, Chen, Danadinha, Grelha, Henrique Pena, Diana e Rita.

Ao Centro de Convivência Infantil (CCI - UNESP) e às funcionárias que proporcionaram um ambiente acolhedor e motivador à minha filha, Laura, no decorrer da minha pesquisa.

OBRIGADA A TODOS que de alguma forma fizeram parte deste trabalho!

*PASSARINHO E A FLORESTA EM CHAMAS
Certa vez, uma floresta começou a pegar fogo.
Os animais, assustados, começaram a correr,
fugindo desesperadamente da floresta.*

*Mas um deles, um passarinho, corajosamente decidiu
fazer alguma coisa para impedir o ímpeto das chamas:
ele pegava um pouco de água pelo bico e jogava
água nas chamas, na tentativa de apagar o fogo.*

*Os outros animais lhe diziam que seria impossível
que ele conseguisse apagar o fogo sozinho.
Mas o passarinho não hesitou em responder:
- “Não importa. Estou fazendo a minha parte”.*

*“Ninguém comete erro maior do que não fazer nada,
porque só pode fazer um pouco”*

BURKE, E. Nature. The Nature Publishing Group -
Norman Lockyer, Macmillan Journals Ltd. 1869,
p.190.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.1 - Localização dos sítios experimentais da FCA-UNESP - Botucatu/SP (a) e dos tratamentos no sítio 1 - Nitossolo Vermelho (NV) (b) e no sítio 2 - Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA). Legenda: SEM (semeadura direta); SAF (agroflorestal); CML (consórcio madeira serrada e lenha); DIV (alta diversidade); CON (controle).....30
- Figura 1.2 - Croqui de implantação dos sistemas de restauração ecológica em Botucatu, São Paulo. Legenda: SEM: semeadura direta; DIV: alta diversidade; SAF: agroflorestal; CML: consórcio madeira serrada e lenha; o o o o o: cada cor representa uma espécie no SEM; o: linha de plantio de espécies de rápido crescimento; x: linha de espécies de lento crescimento.....35
- Figura 1.3 - Aspectos gerais dos sistemas de restauração ecológica 19-20 anos após implantação, no sítio Nitossolo Vermelho, em Botucatu, São Paulo. Legenda: SEM: semeadura direta; DIV: alta diversidade; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; SAFM: agroflorestal 'manejado'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'.....36
- Figura 1.4 - Densidade de indivíduos nos sítios de Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Legenda: NV (Nitossolo Vermelho) e AVA (Argissolo Vermelho Amarelo). Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão)...47
- Figura 1.5 - Área basal nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, SP. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão); círculos são os outliers ..48
- Figura 1.6 - Dossel dominado por indivíduos de *S. parahyba* no semeadura direta (SEM).48
- Figura 1.7 - Curva de rarefação para os diferentes sistemas de restauração ecológica, considerando as duas áreas experimentais em conjunto. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Linhas azuis representam o erro padrão. Linha verde representa o valor de abundância usado como referência para parâmetro de comparação49
- Figura 1.8 - Índice de diversidade Alfa de Fisher nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e

	as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão); círculos são os outliers.	50
Figura 1.9 -	Estoque de madeira ($m^3 \cdot ha^{-1}$) nos sítios (A) e tratamentos (B) de restauração da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Legenda: NV (Nitossolo Vermelho) e AVA (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão); círculos são os outliers	51
Figura 1.10 -	Distribuição diamétrica da densidade (A) e do volume de madeira (B) nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade	52
Figura 1.11 -	Densidade absoluta e volume de madeira no sítio NV (Nitossolo Vermelho) e AVA (Argissolo Vermelho-Amarelo). Médias diferem estatisticamente para letras diferentes para cada variável do eixo "x", em que DA (densidade absoluta, ind. ha^{-1}): $F_{(1)} = 6,3225$ e $p = 0,018184$ e; VT (volume de madeira total, $m^3 \cdot ha^{-1}$): $F_{(1)} = 5,9531$ e $p = 0,0215$	53
Figura 1.12 -	Estoque de biomassa arbórea ($t \cdot ha^{-1}$) nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão)	54
Figura 1.13 -	Análise de agrupamento hierárquico das espécies plantadas, pelo método de distância euclidiana. A linha tracejada representa o corte arbitrário na distância euclidiana de 3,3 para definição dos grupos. Legenda: grupo A, grupo B, grupo C e grupo D	55
Figura 1.14 -	Distribuição diamétrica do volume de madeira dos indivíduos mais abundantes nos sistemas de restauração ecológica: SEM (A); SAFM (B) e; CMLM (C). Legenda: (SEM) semeadura direta; (SAFM) agroflorestal 'manejado'; (CMLM) consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'	58
Figura 2.1 -	Coeficiente de correlação posto-ordem de Spearman das variáveis de entrada do modelo de simulação estocástico em relação ao valor presente líquido (VPL) probabilístico dos projetos de investimento para a restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM).....	91

Figura 2.2 - Frequência cumulativa do VPL probabilístico dos projetos de investimento para restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM) e sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM).....	92
Quadro 1.1 - Caracterização da fertilidade, da granulometria e classificação textural dos solos nos diferentes sítios experimentais, no ano de 1997/ 1998, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em Botucatu, São Paulo. Legenda: Sítio 1: Nitossolo Vermelho (NV); Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo (AVA)	31
Quadro 1.2 - Lista das famílias, espécies, nomes populares e grupos ecológicos-silviculturais utilizados na composição dos sistemas de semeadura direta (SEM), agroflorestal (SAF), consórcio madeira serrada e lenha (CML) e alta diversidade (DIV), em Botucatu, São Paulo. Legenda: Grupo A (espécies pioneiras); Grupo B (espécies oportunistas de clareiras grandes ou de início de sucessão); Grupo C (espécies oportunistas de clareiras pequenas ou nômades); Grupo D (espécies tolerantes à sombra).	37
Quadro 1.3 - Lista das famílias, espécies e nomes populares utilizados no enriquecimento do sistema agroflorestal (SAF) na faixa intercalar com consórcio de espécies frutíferas no sítio NV e de espécies medicinais no sítio AVA.....	39
Quadro 1.4 - Lista da composição das famílias e espécies amostradas nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, em Botucatu, São Paulo. Legenda: CMLM (consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado'); CMLT (consórcio de madeira serrada e lenha 'testemunha'); DIV (alta diversidade); SAFM (agroflorestal 'manejado'); SAFT (agroflorestal 'testemunha'); SEM (semeadura direta); P (Plantada); R (Regenerante).....	44
Quadro 2.1 - Variáveis de interesse de cada sistema de restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM).....	86
Quadro 2.2 - Fluxo de caixa livre (FCL), em R\$ por hectare por ano, dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM).....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Valores médios do índice de diversidade Alfa de Fisher nos sítios de Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Sítio NV (Nitossolo Vermelho) e Sítio AVA (Argissolo Vermelho Amarelo).	49
Tabela 1.2 – Valores médios e desvios padrões do estoque de biomassa arbórea nos sítios. Legenda: NV (Nitossolo Vermelho), AVA (Argissolo Vermelho Amarelo).	53
Tabela 1.3 – Valores do incremento médio anual (IMA) em volume de madeira e biomassa arbórea dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal ‘manejado’; SAFT: agroflorestal ‘testemunha’; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha ‘manejado’; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha ‘testemunha’; DIV: alta diversidade.	54
Tabela 1.4 – Estatística descritiva das espécies mais abundantes em cada tratamento para os dois sítios estudados. Legenda: NV: Nitossolo Vermelho; AVA: Argissolo Vermelho Amarelo; SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal ‘manejado’; SAFT: agroflorestal ‘testemunha’; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha ‘manejado’; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha ‘testemunha’; DIV: alta diversidade; DAP é a média dos diâmetros a 1,30 m de altura do solo (cm) ± desvio-padrão, H é a média das alturas (m) ± desvio-padrão, VT é o volume de madeira de cada espécie (em m ³ . ha ⁻¹); DA é a densidade absoluta (ind. ha ⁻¹).	56
Tabela 1.5 – Valores de densidade absoluta (ind.ha ⁻¹) e indivíduos por hectare com DAP ≥ 25 cm das espécies mais abundantes e produtivas em cada sistema de restauração ecológica. Legenda: consórcio de madeira serrada e lenha ‘manejado’ (CMLM); agroflorestal ‘manejado’ (SAFM) e semeadura direta (SEM).	59
Tabela 2.1 – Valores de indivíduos por hectare com DAP ≥ 25 cm, volume de madeira (m ³ . ha ⁻¹) para as espécies mais abundantes e produtivas, e do estoque de carbono (t C. ha ⁻¹) e sequestro de dióxido de carbono (t CO ₂ e. ha ⁻¹) em cada sistema de restauração ecológica. Legenda: consórcio de madeira serrada e lenha ‘manejado’ (CMLM); agroflorestal ‘manejado’ (SAFM) e semeadura direta (SEM).	83
Tabela 2.2 – Resumo estatístico em relação ao VPL dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: SEM (semeadura direta); SAFM (agroflorestal e; CMLM (consórcio madeira serrada e lenha).	92

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	19
CAPÍTULO 1: ESTOQUES DE MADEIRA E BIOMASSA ARBÓREA EM DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL: EFEITOS DOS SÍTIOS E DOS SISTEMAS.....	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	25
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
1.2.1 Local de estudo.....	28
1.2.2 Delineamento experimental.....	32
1.2.3 Coleta dos dados.....	40
1.2.4 Processamento e análise dos dados.....	40
1.3 RESULTADOS.....	43
1.3.1 Características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração ecológica.....	43
1.3.2 Efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração ecológica nos estoques de madeira e biomassa arbórea.....	50
1.4 DISCUSSÃO.....	59
1.4.1 Características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração ecológica.....	59
1.4.2 Efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração ecológica nos estoques de madeira e biomassa arbórea.....	61
1.4.3 Agrupamento das espécies e distribuição diamétrica.....	65
1.4.4 Implicações para a restauração ecológica.....	69
1.5 CONCLUSÕES.....	70
1.6 REFERÊNCIAS.....	70
CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL PARA RESERVA LEGAL.....	78
2.1 INTRODUÇÃO.....	80
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	82
2.2.1 Dados silviculturais.....	82
2.2.2 Avaliação econômica.....	84

2.2.3	Análise de investimentos em ativos florestais.....	85
2.2.4	Análise de risco.....	85
2.3	RESULTADOS.....	88
2.4	DISCUSSÃO.....	93
2.5	CONCLUSÕES.....	97
2.6	REFERÊNCIAS.....	97
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105

INTRODUÇÃO GERAL

Historicamente a exploração de madeira tropical no mundo tem se amparado na exploração predatória e no desmatamento da vegetação nativa (FAO, 2012). Entretanto, este cenário tende a mudar, em função da demanda mundial por madeira e outros produtos oriundos de áreas de manejo florestal sustentável e certificadas por instituições internacionais, pelo fortalecimento das políticas públicas e pela diminuição dos estoques de florestas naturais. As iniciativas de restauração ecológica vêm sendo implantadas no intuito de reverter este quadro, junto com as plantações florestais com fins puramente econômicos. Entretanto, existem barreiras socioeconômicas que restringem a expansão destas áreas (LAMB, 1998; LAMB; ERKSINE; PARROTTA, 2005; ENGEL; PARROTTA, 2000a, 2000b; ENGEL, 2011).

É uma necessidade intervir para restaurar não só a biodiversidade e as funções ecológicas dos ecossistemas naturais, mas ainda suprir os produtos e serviços ecossistêmicos anteriormente exauridos. O caminho que se tem para aumentar a cobertura florestal é proteger e manejar as grandes áreas de floresta secundária e restaurar novas áreas. Porém é muito difícil conciliar os benefícios financeiros dos plantios para madeira e os ganhos de biodiversidade dos plantios de restauração ecológica (LAMB, 1998; LAMB; ERKSINE; PARROTTA, 2005; ENGEL, 2003).

A definição dos objetivos da restauração, no momento de seu planejamento, deve envolver as questões ligadas aos valores da sociedade, incluindo aspectos éticos, estéticos e culturais. A ciência deve contribuir no desenvolvimento de um cardápio variado de opções e de modelos de restauração, que possam ser adotados em pequenas, médias e grandes propriedades rurais, dependendo dos muitos fatores já mencionados, com baixo custo de implantação, e que sejam capazes de incorporar a dimensão socioeconômica no seu planejamento e definição dos objetivos (ENGEL, 2003; ENGEL, 2007).

Desta forma, os modelos de restauração ecológica devem enfatizar além das metas ecológicas e serviços ambientais indiretos, o retorno econômico (LAMB; ERKSINE; PARROTTA, 2005; ENGEL; PARROTTA, 2008; BRANCALION et al., 2012). Faz-se necessário o conhecimento prévio da viabilidade econômica, grau de risco e potencial de retorno de capital para que se concretize a restauração da vegetação por meio de incentivos técnicos e financeiros ao produtor rural (BENINI; ADEODATO, 2017).

Para viabilizar este retorno econômico, o manejo adaptativo de áreas em processo de restauração pode permitir tanto o ajuste de trajetórias sucessionais como o fortalecimento direto de bens e a geração de renda (LAMB, 1998; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; ENGEL, 2007). Os desbastes com aproveitamento da madeira, das áreas em restauração, podem ser usados em diferentes idades para conduzir a sucessão (LAMB, 1998; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005). Podem ainda, ser realizados com objetivos de eliminação de espécies exóticas que foram introduzidas como facilitadoras iniciais (PODADERA et al., 2015) ou como fonte de primária de madeira (ONOFRE; ENGEL, 2013).

Porém, para a viabilização do manejo de áreas restauradas, ainda existem muitas lacunas do conhecimento em relação aos estoques de madeira, taxas de crescimento, idades de colheita, fenologia, dinâmica da floresta e características arquiteturas das diferentes espécies utilizadas nos modelos de restauração (LAMB, 1998; ENGEL; PARROTTA, 2000b). Além disso, a adaptação de técnicas silviculturais de manejo de plantações florestais a áreas em restauração são possíveis somente até certo ponto, visto que a busca pela produtividade acaba implicando em perdas de biodiversidade (ENGEL, 2007).

A estimativa do volume individual de madeira da árvore em pé é passo fundamental nos planos de manejo em florestas nativas e de suprimento de madeira plantada, permitindo também o estudo de crescimento e produção de povoamentos florestais (SCOLFORO, 2005). Aliada a esta informação, a biomassa é uma importante característica de ecossistemas florestais, pois reflete o acúmulo de carbono orgânico bem como a produtividade do ecossistema (DIXON et al., 1994; GRACE, 2004; MELO; DURIGAN, 2006), sendo um indicador importante para monitoramento do desenvolvimento do ecossistema em restauração, para indicação da melhor prática de manejo florestal e conservação, bem como para a geração de renda através de projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) (MONTAGNINI; FINNEY, 2011; PIOTTO et al., 2010).

Outra questão que se tem colocado como importante é se os sistemas mais simples do ponto de vista estrutural, ou seja, aqueles implantados com menos espécies, bem como aqueles privilegiando espécies comerciais, são capazes de gerar mais renda, e ao mesmo tempo cumprir com os preceitos mínimos da boa restauração ecológica. Esta questão tornou-se mais relevante ainda após a aprovação da Lei Federal 12.651/ 2012, ou Lei de Proteção à Vegetação Nativa (BRASIL, 2012), bem

como o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAPEG, 2017). A partir da necessidade de se efetuar o Cadastro Ambiental Rural (CAR) de todas as propriedades do Brasil e adoção do Programa de Regularização Ambiental (PRA), as propriedades deverão restaurar as suas Áreas de Preservação Permanente (APP) e/ou de Reserva Legal (RL) em até 20 anos após a adesão ao PRA.

A partir destas leis e políticas públicas, a RL visa garantir o uso econômico sustentável dos recursos naturais do imóvel rural e contribuir para a conservação da biodiversidade, podendo inclusive ser restaurada com uma percentagem de até 50% de espécies exóticas. Para tanto, sua implantação é um instrumento poderoso para promover o plantio de novas florestas, planejadas para fins econômicos e ecológicos (CARVALHAES et al., 2014). Entretanto, não existem ainda no Brasil experiências de restauração ecológica voltadas à RL, com idades suficientes, ou com abordagem experimental adequada, para atestar a sua eficácia quanto ao cumprimento dos múltiplos objetivos da restauração, uma vez que é difícil desenvolver métodos de restauração que otimizam os meios financeiros e benefícios de subsistência, bem como a geração de biodiversidade (LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005).

De forma pioneira, entre 1997 e 1998 foi implantado um experimento de restauração ecológica denominado “Restauração da Mata Atlântica em Sítios Degradados no Estado de São Paulo”, fruto de cooperação entre a Universidade Estadual Paulista (Unesp) e o US-DA Forestry Service – Internacional Institute of Tropical Forestry. Este projeto teve por objetivo geral avaliar a sustentabilidade ecológica, econômica e social de diferentes sistemas de associações de espécies visando sua aplicação a pequenas e médias propriedades rurais, com enfoque de diminuição de custos de implantação e possibilidade de geração de renda aos produtores. Desde então, vários estudos ecológicos têm sido conduzidos nessas áreas, bem como pesquisas sobre o crescimento das árvores, estoques de madeira e biomassa (NOGUEIRA JUNIOR et al., 2014; RÉ et al., 2015; PODADERA et al., 2015). Entretanto, ainda existem carência no conhecimento no que se refere ao real potencial produtivo e à viabilidade econômica destes sistemas de restauração.

Visamos com este trabalho, preencher algumas lacunas do conhecimento para embasar o manejo de diferentes sistemas de restauração da Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) enfatizando a geração de renda e conciliação dos objetivos ecológico, econômico e sociais. Neste sentido, estimamos os estoques de madeira e

biomassa arbórea em diferentes sítios e sistemas de restauração ecológica entre 19-20 anos de idade, voltados à restauração da RL, para testar as seguintes hipóteses:

1. Os estoques são dependentes do contexto da paisagem, principalmente no que diz a qualidade do sítio.
2. Os sistemas menos complexos e de menor custo são mais produtivos que os sistemas mais complexos, e ainda são capazes de cumprir com os objetivos ecológicos da restauração.
3. Os sistemas de restauração ecológica podem ser viáveis do ponto de vista econômico, quando aliado ao plano de manejo sustentável. Ou no mínimo, os dispêndios de implantação destes sistemas são amenizados pelas suas receitas potenciais.

Para isto, estruturamos este trabalho em dois capítulos. O primeiro tem como foco os estoques de madeira e biomassa arbórea nos diferentes sistemas de restauração aos 19-20 anos, e o segundo, as análises econômicas para avaliar a viabilidade dos sistemas.

CAPÍTULO 1: ESTOQUES DE MADEIRA E BIOMASSA ARBÓREA EM DIFERENTES SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL: EFEITOS DOS SÍTIOS E DOS SISTEMAS

RESUMO

Os modelos de restauração ecológica devem prever além das metas ecológicas e serviços ambientais indiretos, os aspectos econômicos, através do manejo florestal sustentável, o que é considerado ainda um desafio para a restauração ecológica. Conhecer o crescimento e produtividade através dos estoques de madeira e biomassa arbórea, é fundamental para subsidiar o plano de manejo sustentável, o qual ainda é incipiente em áreas de restauração da Reserva Legal da Floresta Estacional Semidecidual, na Mata Atlântica. Nosso objetivo foi estimar o estoque de madeira e biomassa arbórea em diferentes sítios e sistemas de restauração ecológica a fim de verificar a influência dos mesmos nos estoques. O estudo foi realizado em dois sítios experimentais: Nitossolo Vermelho (NV) e Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) com delineamento em blocos casualizados com três repetições e seis tratamentos com diferentes arranjos e composições: semeadura direta (SEM), com 5 espécies de rápido crescimento; alta diversidade (DIV), com 40 espécies; agroflorestal (SAFT) e consórcio para madeira serrada e lenha (CMLT) com 20 e 25 espécies, respectivamente; e, o SAFM e CMLM com corte raso da espécie exótica *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. Foram inventariadas duas parcelas de 15 x 15 m, totalizando 450 m² por tratamento, por bloco e por sítio. Foram coletados os diâmetros e alturas totais dos indivíduos com diâmetro a altura do peito (1,30 m do solo, DAP) ≥ 5 cm. Os estoques foram determinados por equações de modelos alométricos locais. O sítio NV teve maior volume de madeira (142,31 m³. ha⁻¹). Mas houve maior densidade de indivíduos (906 ind. ha⁻¹) no sítio AVA. O SEM apresentou maior estoque de madeira, porém não diferiu do DIV e SAFM. O estoque de biomassa arbórea foi maior no sistema SEM em relação aos demais. De modo geral, os sistemas menos complexos possuem maiores estoques de madeira e biomassa arbórea quando comparado aos sistemas mais complexos.

Palavras-chave: Volume de Madeira, Restauração Florestal, Manejo Adaptativo, Mata Atlântica, Reserva Legal

CHAPTER 1: WOOD STOCKS AND TREE BIOMASS IN DIFFERENT RESTORATION SYSTEMS OF SEMIDECIDUOUS SEASONAL FOREST: EFFECTS OF SITES AND SYSTEMS

ABSTRACT

Ecological restoration models should predict the economic aspect beyond ecological goals and indirect environmental services. This might be possible through sustainable forest management, which is still a challenge for ecological restoration. Knowing the growth and productivity through wood volume and tree biomass stocks is fundamental to subsidize the sustainable forest management plan, which is still incipient in restoration areas of Legal Reserve in the Semideciduous Seasonal Forest, in the Atlantic Forest Biome. Our objective was to estimate the volume of wood and tree biomass stocks in different sites and ecological restoration systems in order to verify the influence of site conditions and systems. The study was carried out in two experimental sites: Red Ultisol (RU) and Alfisol (A). In each site a randomized block design, with three replications and six treatments was installed, with different arrangements and composition: direct seeding (SEM), composed of 5 species; high diversity (DIV), composed of 40 species; agroforestry (SAFT) and timber and firewood commercial species plantation (CMLT), with 20 and 25 species, respectively; SAFM and CMLM with clearcutting of the exotic species *Mimosa caesalpinifolia* Benth. Two subplots of 15 x 15 m were inventoried, totaling 450 m² per treatment, per block and per site. All diameters and total heights of individuals with DBH (diameter at breast height) ≥ 5 cm were measured. Wood stocking was determined by the indirect method, using equations with local allometric models. The RU had a higher wood volume (142.31 m³. ha⁻¹), although tree density was higher in the A (906 ind. ha⁻¹). The SEM contributed to the highest wood stock and highest tree biomass, but did not differ from DIV and SAFM in terms of volume. In general, the less complex systems had higher wood stock and tree biomass when compared to more complex systems.

Key words: Wood Volume, Forest Restoration, Adaptive Management, Atlantic Forest, Legal Reserve

1.1 INTRODUÇÃO

A restauração é uma estratégia potencial para reduzir a exploração predatória em remanescentes de florestas naturais, uma vez que os aspectos socio-econômicos e ecológicos não estejam em desacordo (PAQUETTE; MESSIER, 2009). No Brasil, a Lei Federal 12.651/ 2012 propõe a alocação de 20% da área total de cada propriedade rural, com mais de quatro módulos fiscais para Reserva Legal (RL). As RLs são destinadas à sustentabilidade econômica por meio do uso dos recursos naturais e a recuperação e preservação dos processos ecológicos e da biodiversidade. Mais do que apenas um cumprimento legal, seu desenvolvimento é um instrumento poderoso para promover o plantio de novas florestas, unindo estes objetivos.

No entanto, uma limitação importante à produção de madeira nativa em plantios de restauração é o tempo necessário para um retorno econômico (BRANCALION et al., 2012). Os riscos e falhas associados com o uso de material reprodutivo inadequado ou incompatível, que, embora possa fornecer cobertura, provavelmente não estabelecerá um ecossistema autossustentável, uma vez que existe insuficiência de informação em relação à variação genética inter e intra espécies de árvores nativas e as consequências de suas interações entre si e com o ambiente (THOMAS et al., 2014). Além disso, é um desafio para conciliar os benefícios ambientais, sociais e econômicos que se espera com a restauração ecológica (ENGEL, 2003; ENGEL 2011), visto que falta o conhecimento das taxas de crescimento das espécies potenciais para produção de madeira e biomassa arbórea, bem como do comportamento destas nos modelos de restauração ecológica.

O consumo doméstico de madeira serrada sofreu uma queda, devido a desaceleração da construção civil observada no mercado nacional, que passou de 7,2 milhões de m³ em 2015 para 6,4 milhões de m³ em 2016. Consequentemente, a produção brasileira de serrados oriundos de árvores plantadas recuou 2,3% em relação a 2015, e atingiu 8,6 milhões de m³ em 2016. Entretanto, em decorrência da desvalorização do real frente ao dólar, o setor aumentou as exportações de madeira serrada em 39% na comparação com 2015, totalizando 2,2 milhões de m³ exportados. Já o consumo de carvão vegetal, um dos principais insumos da indústria siderúrgica nacional, registrou uma queda de 2,2% de 2015 para 2016 e encerrou o ano com 4,5 milhões de toneladas no Brasil. A madeira oriunda de árvores plantadas foi a matéria-prima utilizada em 84% do total de carvão consumido no País em 2016. A retração

observada no consumo total de carvão ocorreu principalmente em relação ao produto originado de florestas nativas, em decorrência da pressão realizada pelos órgãos de fiscalização ambiental sobre a origem do carvão consumido (IBA, 2017).

Aliada a tendência de crescimento deste mercado e a diminuição da oferta de madeira vinda das florestas tropicais naturais (FAO, 2012), as plantações florestais com espécies nativas podem suprir a demanda futura. Uma das alternativas para suprimento de parte desta demanda por madeiras tropicais pode vir, no Brasil, das florestas restauradas, principalmente das áreas de RL. Diante do preconizado pela legislação ambiental vigente, existe um passivo de 12 milhões de hectares em escala nacional para a composição das RLs e, só para o Estado de São Paulo, são cerca de 1,5 milhão de hectares (CAR, 2018).

Para que a restauração de florestas em larga escala venha ocorrer, em cumprimento a meta do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG, 2017) de restaurar 12 milhões de hectares até 2030, é necessário o desenvolvimento de modelos de restauração ecológica que proporcionem além da biodiversidade, a perspectiva de um manejo sustentável. Para isto, se faz necessário o conhecimento da estrutura da floresta, da produtividade e estoques de madeira e biomassa, permitindo traçar planos de manejo viáveis para os diferentes grupos de espécies neles inseridos (ENGEL, 2003; ENGEL 2011).

Ainda assim, a recuperação da vegetação nativa de florestas em larga escala é uma oportunidade para os serviços ecossistêmicos, como os de suporte, provisão, regulação e culturais (ENGEL, 2016). O serviço ecossistêmico de sequestro de carbono em áreas degradadas e alteradas ou de baixa aptidão agrícola é uma alternativa para amortizar e evitar a emissão de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa (GEE).

A capacidade de sequestro e acúmulo de carbono de um sistema ocorre na forma de biomassa viva deste ecossistema e, de outros componentes, não menos importante, como o solo, a serapilheira, entre outros. Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2015), o estoque de biomassa é classificado em biomassa acima e abaixo do solo, em que a biomassa acima do solo inclui toda a biomassa viva, incluindo caule, toco, galhos, casca, sementes e folhagem. E a biomassa abaixo do solo inclui toda a biomassa de raízes vivas, sendo que somente as raízes finas de menos de 2 mm de diâmetro são excluídas, porque muitas vezes não podem ser distinguidas da matéria orgânica do solo ou da serapilheira. A biomassa viva acima

do solo em florestas tropicais está contida principalmente nas árvores (VIEIRA et al., 2008).

Nas florestas nativas, o conhecimento cada vez mais preciso do estoque volumétrico de madeira e de biomassa florestal estão intimamente ligados à definição de critérios sobre que espécies manejar, sobre o potencial de produção da floresta e, sobretudo, sobre a conservação ambiental (SCOLFORO; MELLO, 1997). Existe uma demanda crescente de informações sobre o desenvolvimento a longo prazo das espécies arbóreas nativas, sistemas silviculturais para madeira, produção de biomassa e viabilidade econômica da restauração nas regiões tropicais (PIOTTO et al., 2003; PIOTTO et al., 2010). A literatura pertinente tem demonstrado uma recente preocupação, por parte dos pesquisadores, em estimar corretamente o volume de madeira (SOUZA; JESUS, 1991, CHICHORRO; RESENDE; LEITE, 2003, ROLIM; COUTO; JESUS, 2006, RÉ et al., 2015), a biomassa e carbono fixado (ROLIM; COUTO; JESUS, 2006, BURGER; DELITTI, 2008, SILVEIRA et al., 2008, VIEIRA et al., 2008; CUNHA et al., 2009, NOGUEIRA JUNIOR et al., 2014) e ambos (RIBEIRO et al., 2010, SOUZA et al., 2011, IMANÃ-ENCINAS; PAULA; CONCEIÇÃO, 2012), em áreas de Mata Atlântica.

Outro fator relevante para a pesquisa sobre o armazenamento de carbono na biomassa de plantios de restauração florestal é a necessidade de avaliar o crescimento potencial de espécies nativas e as suas interações com as práticas de manejo silvicultural (PARROTTA; TURNBULL; JONES, 1997). Estudos já vem demonstrando a importância do conhecimento da resposta das espécies nativas às técnicas de implantação e manejo como formas de se obter melhores resultados no seu estabelecimento e sustentabilidade, uma vez que tais práticas aumentam o desempenho fisiológico das plantas, devido a minimização do estresse ambiental (CAMPOE; STAPE; MENDES, 2010). Contudo, ainda é preciso mais pesquisas a longo prazo do comportamento das espécies nativas arbóreas, para promover um guia de práticas silviculturais mais confiável para os programas de restauração. E ainda, incorporar os fatores abióticos no estudo (CARDINALE et al., 2009), uma vez que influenciam na diversidade de espécies, produção e ciclagem de nutrientes do sítio (NGUYEN et al., 2012), sendo mais importantes inclusive para definir as propriedades do ecossistema do que a riqueza de espécies (HOOPER et al., 2005).

Segundo Lamb (1998), existem três opções para o manejo de plantios mistos de espécies nativas: a primeira opção é a colheita total da plantação quando esta

atingir a maturação desejada, perdendo toda a biodiversidade que tenha chegado ao local após o plantio no momento da colheita. Nesta situação, privilegia-se mais o aspecto econômico, devido ao alto retorno econômico, sob pena de se regredir a área a um estado degradado após a colheita. Entretanto, essas áreas ainda trazem benefícios ambientais à medida que podem tornar a matriz da paisagem mais permeável, além de servir de abrigo para a fauna durante o período de crescimento da floresta.

A segunda opção é o abandono da área como unidade de produção, sendo manejada apenas para a recuperação da biodiversidade. Este é o caso dos plantios clássicos de restauração florestal que, no entanto, com custos altos, acabam não sendo atrativos aos produtores rurais devido à ausência de produção de bens diretos. A terceira opção é o manejo por desbastes seletivos na plantação, sendo manejada para se obter madeira suficiente para pagar os custos de implantação do projeto. Esta última alternativa parece ser a mais viável para implantação nas propriedades rurais, porém pode vir a comprometer a biodiversidade.

O nosso objetivo com este trabalho foi estimar os estoques de madeira e biomassa arbórea após 19-20 anos dos sistemas de restauração ecológica para a Reserva Legal da Floresta Estacional Semidecidual. As hipóteses do trabalho foram:

1. Os estoques de madeira e biomassa arbórea em florestas plantadas de restauração ecológica dependem das características dos sistemas de restauração ecológica e dos sítios de plantio.
2. Existem grupos similares de espécies arbóreas quanto aos seus ritmos de crescimento e produção de madeira, que podem ser adotados para fins de manejo, conforme planejamento de plantio.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 *Local de estudo*

Os sítios experimentais estão instalados nas Fazendas Experimentais Lageado e Edgardia, pertencentes à Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), no município de Botucatu, região centro-sul do Estado de São Paulo (22°52'32”S e 48°26'46”O).

O clima da região é subtropical úmido e quente - Cfa (ALVARES et al., 2013), com precipitação média anual de 1.300 mm, concentrada entre os meses de outubro a março. A temperatura média anual é de 19,4°C, variando de 21,9°C (janeiro) a 16,3°C (julho).

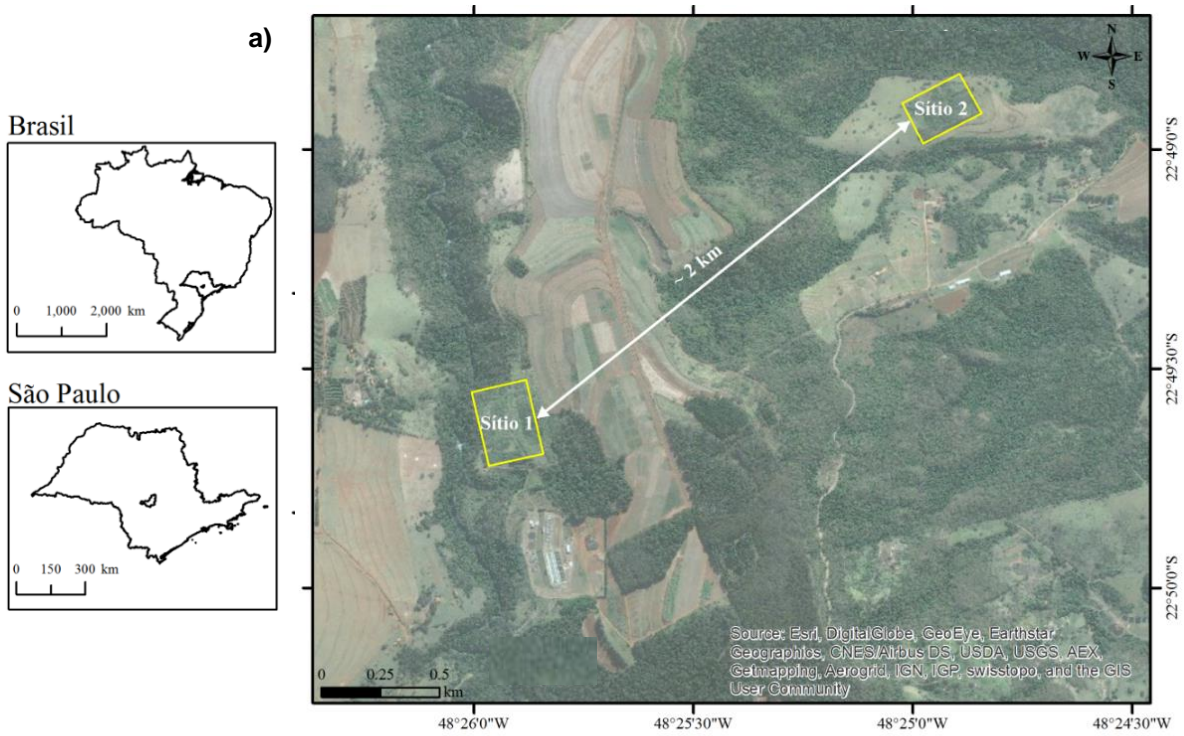
A vegetação natural das áreas foi classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual de domínio da Floresta Atlântica (IBGE, 2012), com alguns remanescentes em bom estado de conservação (ORTEGA; ENGEL, 1992; JORGE; SARTORI, 2002). Recentemente, a região vem merecendo atenção dos ambientalistas, pois situa numa Área de Proteção Ambiental (APA), considerada importante ponto de recarga do Aquífero Guarani (ENGEL; PARROTTA, 2000a).

Foram amostrados dois sítios experimentais (Figura 1.1), descritos a seguir:

Sítio NV: pertencente à Fazenda Lageado, está localizado a 700 m de altitude, em área de Nitossolo Vermelho (NV), de textura argilosa e alta fertilidade natural (Quadro 1), possui relevo ondulado com tendência a compactação. O histórico agrícola da área é a produção de café, produção de feijão e posteriormente pastagens de *Pennisetum purpureum* Schum.

Sítio AVA: pertencente à Fazenda Edgárdia, está localizado a 574 m de altitude, em área de Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA), textura arenosa e de menor fertilidade quando comparado ao Sítio NV (Quadro 1.1). Possui relevo suave ondulado a ondulado. O histórico do uso inclui o plantio de *Citrus* sp. e pastagens de *Urochloa decumbens* Stapf.

Figura 1.1 - Localização dos sítios experimentais da FCA-UNESP - Botucatu/SP (a) e dos tratamentos no sítio 1 - Nitossolo Vermelho (NV) (b) e no sítio 2 - Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA). Legenda: SEM (semeadura direta); SAF (agroflorestal); CML (consórcio madeira serrada e lenha); DIV (alta diversidade); CON (controle)



Quadro 1.1 - Caracterização da fertilidade, da granulometria e classificação textural dos solos nos diferentes sítios experimentais, no ano de 1997/ 1998, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em Botucatu, São Paulo. Legenda: Sítio 1: Nitossolo Vermelho (NV); Sítio 2: Argissolo Vermelho Amarelo (AVA)

	pH	MO	P _{resina}	K	Ca	Mg	H	Al	V	Areia	Silte	Argila
	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----cmol _c .dm ⁻³ -----					%	-----g.kg ⁻¹ -----		
Sítio 1 Argiloso	-----0-5 cm-----											
	5,8	51	40	4,7	84	26	26	0,1	82			
	-----5-10 cm-----											
	5,7	44	22	4,8	59	22	28	0,4	76	300	170	530
	-----10-20 cm-----											
	5,7	37	16	3,6	77	18	32	0,5	77	210	120	670
-----20-40 cm-----												
	5,6	26	13	1,8	64	15	30	0,4	72	223	127	650
Sítio 2 Arenoso	-----0-5 cm-----											
	5,6	16	27	2,3	18	12	13	0,1	67			
	-----5-10 cm-----											
	5,1	14	19	1,7	14	8,4	16	0,6	56	920	0	80
	-----10-20 cm-----											
	4,6	11	12	1,3	12	5,8	18	1,6	47	899	0	101
-----20-40 cm-----												
	4,4	6,5	10	1,3	10	4,8	20	2,5	38	852	27	121

Fonte: Nogueira Júnior, 2000

1.2.2 Delineamento experimental

Os sistemas de restauração ecológica foram delineados com o intuito de reduzir custos de implantação e manutenção e possibilitar o retorno econômico ao produtor, ao menos para cobrir os custos de implantação e manutenção. Para o preparo de solo no sítio NV, devido à grande infestação de *Pennisetum purpureum* Schum. com aproximadamente de 2 m de altura, foi feito previamente o rebaixamento da vegetação com rolo-faca. Em seguida foi aplicada herbicida pós-emergente em toda a área. No sítio AVA, foi feita remoção mecanizada das árvores de *Citrus* sp. e aplicação de herbicida pós-emergente para gramínea invasora *Urochloa decumbens* Stapf. Cada sítio foi cercado para evitar a entrada de gado, bem como protegido contra o fogo por aceiros.

Foram feitos os sulcos de plantio para o sistema SEM com cerca de 40 cm de profundidade, marcados em nível e abertos com subsolador acoplado a um trator de pneu, adotando-se a prática do cultivo mínimo. No restante da área foi feita uma aração, uma gradagem leve (duas para o sítio NV) e outra gradagem niveladora, e a abertura das covas foi feita com coveador. A semeadura direta foi feita entre fevereiro e março de 1997, e o plantio das mudas dos demais sistemas, de janeiro a março de 1998. Não foi realizada adubação química nas áreas. O replantio das falhas foi feito após 2 meses do plantio inicial. A manutenção dos plantios foi feita nos 5 primeiros anos para controle de plantas invasoras por meio de coroamento, capinas semi-mecanizadas e/ ou aplicação de herbicida pós-emergente (com bomba costal), bem como o combate às pragas (formigas cortadeiras).

Em cada sítio experimental foi instalado originalmente um delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos (quatro sistemas de restauração e o controle, restauração passiva), com três repetições (blocos), com parcelas experimentais de 50 x 50 m (0,25 ha) e área útil de 900 m², área total de 3,75 ha por sítio (Figura 1.1). Posteriormente, em função de operações de manejo realizados em dois dos cinco tratamentos em 2011, pela eliminação de uma espécie exótica em metade das parcelas, foram introduzidos mais dois tratamentos.

Sendo os seguintes tratamentos testados (Figuras 1.2 e 1.3):

a) Sistema semeadura direta (SEM): as sementes passaram por um processo de quebra de dormência indicado para cada espécie. A semeadura foi feita à plena luz, em espaçamento 1,0 x 1,0 m e a 5 cm da superfície, com solo em

capacidade de campo. Foram usadas de 2 a 4 sementes por cova. Foram semeadas cinco espécies heliófilas e de rápido crescimento (Quadro 1.2). Este tratamento foi implantado entre fevereiro e março de 1997. Em avaliação realizada dois anos após a semeadura, foi constatada a sobrevivência predominante de apenas duas espécies: *Enterolobium contortisiliquum* e *Schizolobium parahyba* (ENGEL; PARROTTA, 2001). Ainda com a predominância de ambas, aos sete anos após plantio, a espécie fixadora de nitrogênio *E. contortisiliquum* tinha maior densidade comparada a *S. parahyba* (SIDDIQUE et al., 2008). Assim como no estudo de Nogueira Junior (2010), aos treze anos após plantio.

b) Sistema agroflorestal Taungya modificado - testemunha (SAFT): as mudas de 20 espécies foram plantadas em linhas triplas com espaçamento entre plantas de 1,5 m e de 2,0 m entre linhas, intercaladas com faixas de 5 m, onde foram plantadas culturas anuais até fechamento do dossel. As duas linhas externas das linhas triplas são formadas por 10 espécies leguminosas de uso múltiplo e/ ou espécies de rápido crescimento para lenha (espécies do Grupo B, conforme Quadro 1.2), com densidade de 1.332 ind. ha⁻¹. Na linha central foram plantadas 10 espécies de valor comercial para madeira, de crescimento mais lento (espécies do Grupo C, Quadro 1.2), com densidade de plantio de 660 ind. ha⁻¹. As culturas anuais (feijão, milho e mandioca) foram escolhidas de acordo com sua adaptabilidade aos diferentes solos e época de plantio; foi feito o preparo de solo e adubação convencional para cada cultura anual. Posteriormente, aproveitando-se os espaços antes destinados às culturas anuais foi realizado, nos anos de 2005/ 2006, o consórcio de espécies frutíferas e medicinais (Quadro 1.3), no sítio NV e sítio AVA, respectivamente.

c) Sistema agroflorestal Taungya modificado com corte raso de *M. caesalpiniiifolia* - manejado (SAFM): em 2011, as parcelas originais foram subdivididas em quatro parcelas de 25 x 25 m, sendo sorteadas duas para a eliminação de 100%, por corte raso, das árvores de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. Fabaceae) aos 14 anos após o plantio (PODADERA, 2013; PODADERA et al., 2015).

d) Sistema de consórcio para madeira serrada e lenha - testemunha (CMLT): foram plantadas mudas de 10 espécies de rápido crescimento, para lenha (Grupo B, Quadro 1.2), em linhas alternadas com 15 espécies de crescimento mais lento e ciclo de vida mais longo, destinadas à produção de madeira para serraria (Grupo C, Quadro 1.2), com densidade de plantio de 2.500 ind. ha⁻¹.

e) Sistema de consórcio para madeira serrada e lenha com corte raso de *M. caesapiniifolia* - manejado (CMLM): em 2011, as parcelas originais foram subdivididas em quatro parcelas de 25 x 25 m, sendo sorteadas duas delas para a eliminação de 100%, por corte raso das árvores de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniiifolia*) aos 14 anos após o plantio (PODADERA, 2013; PODADERA et al., 2015).

f) Sistema alta diversidade (DIV): consiste no plantio de mudas de 40 espécies de diferentes grupos ecológico-silviculturais (Grupos A, B, C, Quadro 1.2), incluindo-se neste caso as espécies características de sub-bosque e que são tolerantes à sombra (Grupo D, Quadro 1.2), características de remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual da região. A densidade de plantio foi de 2.500 árvores. ha⁻¹.

As espécies foram selecionadas em função de suas características ecológicas e silviculturais, dentre as de ocorrência mais frequentes na região, conforme estudos prévios e que não apresentassem dificuldade de produção de mudas. As espécies (Quadro 1.2) foram classificadas em quatro grupos ecológicos conforme observações pessoais e critérios dos autores do projeto (ENGEL; PARROTTA, 1997¹) e as classificações de Martínez-Ramos (1985) e Kageyama et al. (1994). Cada sistema constou de uma proporção variável de espécies destes grupos:

Grupo A: espécies pioneiras “sensu stricto”, definidas como aquelas de crescimento rápido, ciclo de vida curto (até 10-15 anos), frutificação abundante e precoce e sementes de alta longevidade.

Grupo B: espécies oportunistas de clareiras grandes ou de início de sucessão; crescimento rápido e madeira de boa qualidade para lenha; ciclo de vida de até 100 anos. Construtoras do dossel principal e sub-dossel. Propágulos anemocóricos, barocóricos ou zoocóricos.

Grupo C: espécies oportunistas de clareiras pequenas ou nômades; crescimento moderado a lento, ciclo de vida longo (acima de 100 anos). Construtora

¹ ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. (Faculdade de Ciências Agrônômicas). Relatório do Projeto de Restauração da Mata Atlântica em Sítios Degradados no Estado de São Paulo, 1997

Figura 1.3 - Aspectos gerais dos sistemas de restauração ecológica 19-20 anos após implantação, no sítio Nitossolo Vermelho, em Botucatu, São Paulo. Legenda: SEM: semeadura direta; DIV: alta diversidade; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; SAFM: agroflorestal 'manejado'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'



Quadro 1.2 - Lista das famílias, espécies, nomes populares e grupos ecológicos-silviculturais utilizados na composição dos sistemas de semeadura direta (SEM), agroflorestal (SAF), consórcio madeira serrada e lenha (CML) e alta diversidade (DIV), em Botucatu, São Paulo. Legenda: Grupo A (espécies pioneiras); Grupo B (espécies oportunistas de clareiras grandes ou de início de sucessão); Grupo C (espécies oportunistas de clareiras pequenas ou nômades); Grupo D (espécies tolerantes à sombra).

Família	Espécie	Nome popular	Grupo	SEM	SAF	CML	DIV
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira	A				X
Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	peroba-rosa	C		X	X	X
	<i>Aspidosperma ramiflorum</i> Müll.Arg.	guatambu-de-leite	C		X	X	X
	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	peroba-poca	C		X		
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	juçara	D		X	X	X
	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	jerivá	D				X
Bignoniaceae	<i>Handroanthus avellanedae</i> (Mart. ex DC.) Mattos	ipê roxo	C			X	
	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	ipê-felpudo	BC		X	X	X
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	urucum	D		X		
Boraginaceae	<i>Cordia superba</i> Cham.	baba-de-boi	D				X
Cecropiaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba	A				X
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixingui	A	X			X
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-branco	B		X	X	X
	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	araribá-amarelo	C				X
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba	C		X	X	X
	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	jacarandá-da-Bahia	C			X	
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	cumbarú	C				X
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	B	X	X	X	X
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	C		X	X	X
	<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	ingá	A		X		
	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	jacarandá-do-campo	A			X	
	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel	jacarandá bico de pato	B			X	X
	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	sansão-do-campo	A		X	X	
	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	bracatinga	A	X	X	X	
	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	cabreúva	C			X	

continua

Fabaceae	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	olho-de-cabra	C			X
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	angico-da-mata	C	X	X	X
	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula	B	X	X	
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau-jacaré	A	X	X	X
	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.	coração-de-negro	C			X
	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	B	X	X	X
	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	guapuruvu	B	X		X
	¹ <i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	B	X	X	X
Lamiaceae	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	tamanqueira	A	X		X
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	jequitibá-branco	C			X
	<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	jequitibá-vermelho	C		X	
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	paineira	B	X		X
	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc	açoita-cavalo	B			X
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	C	X	X	X
	¹ <i>Cedrela odorata</i> L.	cedro-rosa	C	X	X	X
Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	figueira-branca	B			X
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	uvaia	D			X
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga	D			X
Phytolacaceae	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	pau-d'alho	A			X
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	jenipapo	AB			X
Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	pau-marfim	C		X	X
	<i>Esenbeckia febrifuga</i> (A.St.-Hil.) A. Juss. ex Mart.	chupa-ferro	D			X
	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	guarantã	C	X	X	X
Sapindaceae	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	maria-preta	C			X
	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	grão-de-galo	D			X
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	mutamba	A	X	X	X
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola	AB			X

¹ Plantadas em 2000

Quadro 1.3 - Lista das famílias, espécies e nomes populares utilizados no enriquecimento do sistema agroflorestal (SAF) na faixa intercalar com consórcio de espécies frutíferas no sítio NV e de espécies medicinais no sítio AVA, após fechamento do dossel em 2005/ 2006.

Família	Espécie	Nome popular	Sítio NV	Sítio AVA
Anacardiaceae	<i>Spondias cytherea</i> Sonn.	cajá-manga	X	
Annonaceae	<i>Rollinia sylvatica</i> (A. St-Hil.) Mart.	araticum	X	
Asteraceae	<i>Mikania glomerata</i> Spreng.	guaco		X
Caricaceae	<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	jaracatiá	X	
Celastraceae	<i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek	espinheira-santa		X
Clusiaceae	<i>Rheedia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	bacupari	X	
Lecythidaceae	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	sapucaia	X	
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i> DC.	acerola	X	
Meliaceae	<i>Trichilia catigua</i> A. Juss	trichilia catiguá		X
Myrtaceae	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	grumixama	X	
	<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.	pêssego-do-mato	X	
	<i>Eugenia pyriformis</i> Camb.	uvaia	X	
	<i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand	guabijú	X	
	<i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel	jabuticaba	X	
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	araçá-roxo	X	
	<i>Psidium myrtoides</i> O.Berg	araçá-amarelo	X	
Punicaceae	<i>Punica granatum</i> L.	romã	X	
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	guaçatonga		X

1.2.3 Coleta dos dados

Em cada sítio experimental, cada parcela útil de 30 x 30 m do desenho original foi subdividida em quatro subparcelas de 15 x 15 m, sendo inventariadas duas subparcelas, totalizando 450 m², para cada um dos seis tratamentos por bloco, por sítio.

O critério de inclusão dos indivíduos arbóreos foi o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) \geq 5 cm, sendo o DAP foi medido com a fita diamétrica e a altura total, utilizando o hipsômetro Haglöf Vertex IV. Utilizamos os critérios de medição de DAP e altura de acordo com Batista, Couto e Filho (2014).

A identificação dos indivíduos foi realizada em campo ou, posteriormente, com coletas de material botânico e auxílio de literatura especializada ou, ainda, mediante consulta a especialistas. Os nomes das espécies foram conferidos na Lista de Espécies da Flora do Brasil (FORZZA et al., 2013).

1.2.4 Processamento e análise dos dados

O volume de madeira e a biomassa arbórea foram determinados pelo método indireto (não destrutivo), através de modelos e equações alométricas locais desenvolvidas por Ré (2011) e Nogueira Jr. et al. (2014) desenvolvidas para os mesmos plantios, respectivamente aos 11 e 10 anos.

Para estimativa do volume de madeira (Equação 1.1) foi utilizado o modelo de Spurr logaritimizado (RÉ, 2011):

$$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP_i^2 * H_i) + \ln \varepsilon_i \quad (1.1)$$

Em que: V_i é o volume individual, DAP_i é o diâmetro a 1,30 m de altura do solo, H_i é a altura total da árvore, β_0 (-9,88231) e β_1 (0,94569) são os parâmetros ajustados para os mesmos tratamentos locais e ε_i é o erro aleatório ($i = 1 \dots N$).

A estimativa da biomassa arbórea foi obtida da somatória da biomassa acima (B^{AS}) e abaixo do solo (B_{AS}), conforme Nogueira Junior et al. (2014), em que foram considerados três compartimentos para B^{AS}: 1) folhas: folhas e galhos com diâmetros de até 1 cm; 2) galhos: material lenhoso da copa da árvore até um diâmetro mínimo de 1 cm; 3) tronco: o principal eixo da árvore, localizado entre a base e a copa da árvore e; para B_{AS} inclui todas as raízes com diâmetros maiores que 1 cm.

Para estimativa de B^AS e B_{AS} , foram usadas as equações de Nogueira Junior et al. (2014) adaptadas para logaritmo neperiano (\ln), Equação 1.2 e 1.3, respectivamente:

$$\ln(B^AS) = -1,305 + 1,055 * \ln(DAP^2) + 0,34 * \ln(H) + 1,077 * \ln(D_s) \quad (1.2)$$

$$\ln(B_{AS}) = -2,086 + 1,086 * \ln(DAP^2 * D_s) \quad (1.3)$$

Em que: B^AS é a biomassa acima do solo, B_{AS} é a biomassa abaixo do solo, DAP é o diâmetro a 1,30 m de altura do solo, H é a altura total da árvore, D_s é a densidade básica da madeira.

A densidade básica da madeira foi obtida da média da densidade básica da madeira das espécies do trabalho de Nogueira Junior (2010) do mesmo experimento de restauração florestal, aos 10 anos foi encontrada uma média de 0,43 g. cm⁻³, variando de 0,27 (*Enterolobium contortisiliquum*) a 0,60 (*Aloysia virgata*).

Para os indivíduos que continham dois ou mais fustes, cada fuste teve seu diâmetro considerado como um indivíduo arbóreo, resultando em uma estimativa conservadora da área basal, volume de madeira e biomassa arbórea. Para efeito de densidade, não foi considerado o número total de fustes e sim, cada indivíduo arbóreo.

Foi feita a estatística descritiva para as espécies mais abundantes em ambos os sítios quanto ao diâmetro, altura, volume de madeira e densidade, para cada um dos sistemas de restauração. Em seguida foi feita a distribuição diamétrica das espécies mais abundantes em cada sistema de restauração, a fim de se avaliar a distribuição de volume de madeira por espécie e o sortimento da mesma.

A fim de caracterizar os sistemas de restauração ecológica, foram calculados os parâmetros de estrutura (área basal, densidade, riqueza, diversidade, altura média, diâmetro médio). Para a riqueza e índice de diversidade foi utilizado o software PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), sendo calculado o índice de diversidade Alfa de Fisher (FISHER et al., 1943), pois é um índice menos sensível às diferenças de tamanho das amostras e não dá peso as espécies raras (MARRUGAN, 1988). Foi feita também uma análise de rarefação com base em indivíduos pelo método de Bootstrap, para representar a riqueza nos tratamentos, e permitir a interpolação, que seria a comparação entre amostras com abundâncias muito discrepantes.

Os modelos lineares foram compostos inicialmente por todos os fatores em estudo (sítio e sistema) e suas interações, ou seja, por todas as variáveis explicativas das características da comunidade vegetal, e pelas variáveis respostas (densidade, área basal, diversidade, volume de madeira e biomassa arbórea).

Para cada modelo, foram testados, primeiramente, as premissas da análise de variância (normalidade e homogeneidade de variâncias dos resíduos). A variável resposta foi transformada quando o modelo não atendeu aos pressupostos da análise de variância. Comparações múltiplas de médias foram realizadas utilizando o teste de Tukey, considerando $p \leq 0,05$ como significativo.

Todos os procedimentos estatísticos, para cada questão em estudo, foram realizados utilizando o software R (R Development Core Team, 2017), conforme apresentado a seguir:

- 1) *Considerando as diferentes características de composição e arranjo dos sistemas e a qualidade de sítio, quais os efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração ecológica nos estoques de madeira e biomassa arbórea?*

Para as variáveis respostas, os fatores testados foram sítio, sistema e interações (pacote *car*, função *lm*). Na análise de variância, os fatores que não tiveram efeito significativo ($p \geq 0,05$) na variável resposta foram retirados do modelo, e, dessa forma, utilizamos o modelo mais parcimonioso. As comparações múltiplas de médias foram feitas utilizando o teste de Tukey, considerando $p \leq 0,05$ como significativo.

- 2) *Como se encontram os estoques de madeira? É possível agrupar as espécies arbóreas em grupos similares quanto aos seus ritmos de crescimento e produção de madeira?*

Foi feita a classificação diamétrica para os sistemas de restauração para verificar o sortimento da madeira. A fim de visualizar o crescimento no período (19-20 anos), calculamos o incremento médio anual para volume de madeira ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e biomassa arbórea ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) nos diferentes sistemas de restauração ecológica.

A análise de agrupamento foi feita para as espécies arbóreas plantadas para os sistemas e sítios em conjunto, utilizando-se os dados de diâmetros mínimos, máximos e médios; alturas mínimas, máximas e médias; densidade de indivíduos e volume de madeira por espécie, com intuito de verificar possíveis similaridade de grupos de espécies arbóreas quanto aos seus ritmos de crescimento e produção de madeira, para proposta de planos de manejo dos sistemas de restauração. O algoritmo de agrupamento utilizado foi o agrupamento hierárquico e o método utilizado foi a distância euclidiana, segundo descrito em Legendre e Legendre (1998).

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração ecológica

Foram amostrados no total 1.302 indivíduos pertencentes a 25 famílias e 69 espécies, sendo que 32 espécies amostradas são regenerantes e 37 são plantadas (Quadro 1.4).

Quadro 1.4 - Lista da composição das famílias e espécies amostradas nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual, em Botucatu, São Paulo. Legenda: CMLM (consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado'); CMLT (consórcio de madeira serrada e lenha 'testemunha'); DIV (alta diversidade); SAFM (agroflorestal 'manejado'); SAFT (agroflorestal 'testemunha'); SEM (semeadura direta); P (Plantada); R (Regenerante).

Família	Nome Científico	P/R	CMLM	CMLT	DIV	SAFM	SAFT	SEM
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	P	X	X	X		X	X
Annonaceae	<i>Rollinia sylvatica</i> A.St.-Hil	R				X	X	
Apocynaceae	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	P	X	X		X	X	
	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	P		X	X	X		
	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	P				X		
	<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	R	X	X	X	X	X	X
Asteraceae	<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Sprengel) Vega & Dematteis	R	X			X		
Bignoniaceae	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	R	X	X				
	<i>Handroanthus avellanedae</i> (Lorentz ex Griseb.) Mattos	P	X	X		X		
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	R						X
	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	P	X	X		X	X	
Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp. L.	R			X	X		
Cannabaceae	<i>Celtis</i> sp. L	R				X		
Cecropiaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	P	X	X	X	X		
Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	R		X				X
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	R	X	X		X		
	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	R	X			X		
	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	P	X		X	X		X
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	P	X	X	X	X	X	
	<i>Bauhinia forficata</i> Link	R						X
	<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	R		X				
	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	P	X		X			
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	P	X	X	X	X		

continua

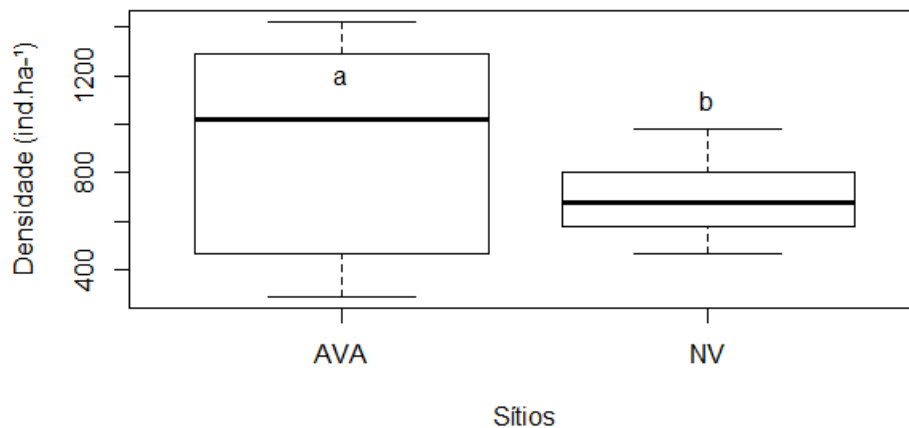
Fabaceae	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	P			X			
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	P	X	X	X	X	X	X
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	P	X	X	X	X	X	
	<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	P			X	X		
	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	R		X	X			X
	<i>Lonchocarpus guilleminianus</i> (Tul.) Malme	R				X		X
	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	P			X			
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	P	X	X	X	X	X	X
	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	P	X	X				
	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	P	X		X			
	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	P	X	X	X	X	X	X
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	P	X	X	X	X	X	X
	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.	P			X			
	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	P	X	X	X	X	X	X
	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	P			X			X
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	P	X	X	X	X	X	X	
Lamiaceae	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	P	X		X	X	X	
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	R	X		X		X	X
Malvaceae	<i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl.	R	X					
	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc	P			X			
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	R					X	
	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	P	X	X	X	X	X	X
	<i>Chorisia speciosa</i> A.St.-Hil.	P			X			
	<i>Guarea</i> sp. F. Allam. ex L.	R	X					
	<i>Trichilia claussoni</i> C.DC.	R		X				
	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	R		X				X
	<i>Trichilia</i> sp. 1	R						X

continua

Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	P			X			
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	R				X		
	<i>Eucalyptus</i> sp.	R				X		
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	P			X	X		
	<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.	P				X	X	
	<i>Psidium guajava</i> L.	R	X	X	X	X	X	X
Piperaceae	<i>Piper amalago</i> L.	R	X					X
Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	P	X	X				
	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	P					X	
	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	R		X		X		
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	P				X		X
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	P	X		X			
Solanaceae	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	R	X			X	X	
	<i>Solanum pseudoquina</i> A.St.-Hil.	R				X		
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	P	X		X			
Urticaceae	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	R	X	X		X	X	
Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	R	X	X	X	X	X	X
	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	P	X		X			
	<i>Lantana camara</i> L.	R						X

A densidade de indivíduos foi diferente estatisticamente entre os sítios ($F_{(1)} = 6,3225$; $p = 0,0182$), ao passo que os sistemas de restauração e a interação dos fatores não tiveram efeito estatisticamente significativo ($F_{(5)} = 1,9295$; $p = 0,130045$). No sítio AVA ocorreu maior densidade de indivíduos (906 ± 393 ind. ha^{-1}) e no sítio NV, menor densidade (702 ± 148 ind. ha^{-1}) (Figura 1.4).

Figura 1.4 - Densidade de indivíduos nos sítios de Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Legenda: NV (Nitossolo Vermelho) e AVA (Argissolo Vermelho Amarelo). Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão)



Não houve diferença estatisticamente significativa para a área basal entre os sítios ($F_{(1)} = 0,0104$ e $p = 0,9196295$), mas houve para os sistemas de restauração ($F_{(5)} = 6,8133$; $p = 0,003157$). A interação desses dois fatores não teve efeito significativo ($F_{(5)} = 1,3981$; $p = 0,2635993$).

A área basal entre os sistemas de restauração foi superior no sistema SEM ($36,23$ $m^2. ha^{-1}$), representada por indivíduos de *S. parahyba* (Figura 1.6) e foi inferior nos sistemas SAF e CML (tanto os manejados como as testemunhas). O sistema DIV apresentou área basal intermediária ($25,70$ $m^2. ha^{-1}$), não diferindo dos demais sistemas avaliados (Figura 1.5).

Figura 1.5 - Área basal nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, SP. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão); círculos são os outliers

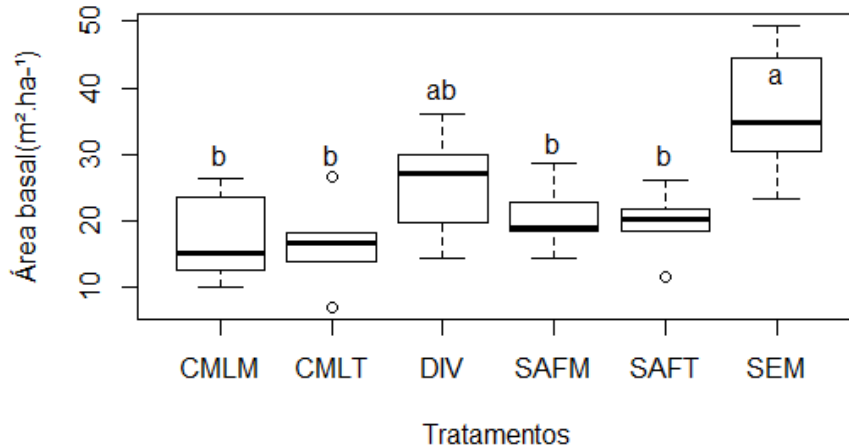
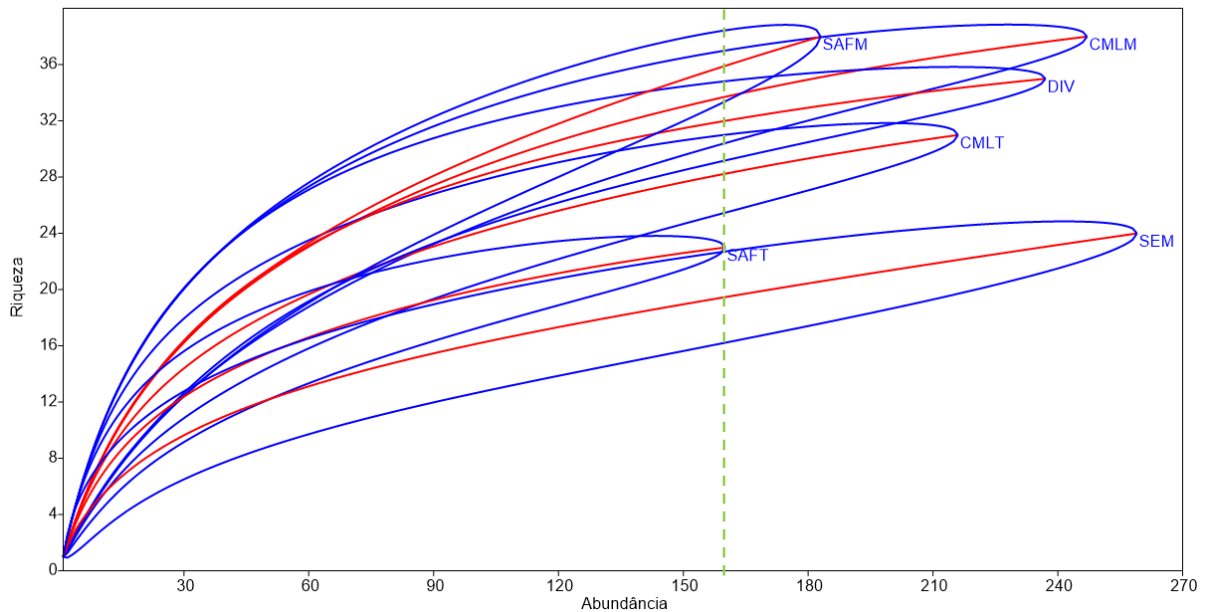


Figura 1.6 - Dossel dominado por indivíduos de *S. parahyba* no semeadura direta (SEM)



As curvas de rarefação indicaram uma comunidade com maior riqueza esperada de espécies nos sistemas SAFM e CMLM, em ambos onde houve a eliminação dos indivíduos de *M. caesalpinifolia*. Para um mesmo valor de abundância (interpolação das curvas com base na amostra com menor número de indivíduos), representado na Figura 1.7 pela linha pontilhada em verde, o sistema de restauração SAFM apresentou maior riqueza, ao passo que os sistemas CMLM e DIV não difeririam deste. Seguidos dos sistemas CMLT e SAFT, com riquezas intermediárias e do SEM com menor riqueza.

Figura 1.7 - Curva de rarefação para os diferentes sistemas de restauração ecológica, considerando as duas áreas experimentais em conjunto. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal ‘manejado’; SAFT: agroflorestal ‘testemunha’; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha ‘manejado’; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha ‘testemunha’; DIV: alta diversidade. Linhas azuis representam o erro padrão. Linha verde representa o valor de abundância usado como referência para parâmetro de comparação

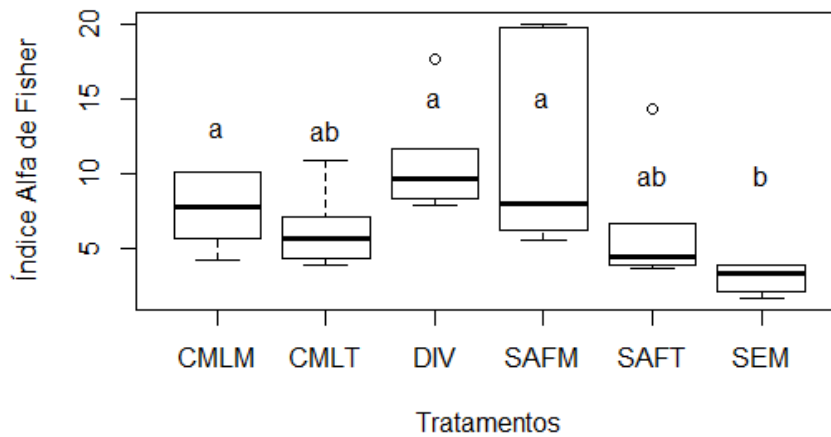


Os sítios não diferiram quanto à diversidade de espécies (Tabela 1.1) e os tratamentos se diferiram, $F_{(5)} = 8,1459$ e $p = 0,00009$ (Figura 1.8). Seguindo o mesmo padrão das curvas de rarefação (Figura 1.7), os valores médios do índice de diversidade Alfa de Fisher dos tratamentos SAFM, CMLM e DIV apresentam maior diversidade de espécies, seguidos dos sistemas com diversidade intermediária CMLT e SAFT e, do SEM o sistema de menor diversidade, mas não diferindo estatisticamente destes últimos.

Tabela 1.1 – Valores médios do índice de diversidade Alfa de Fisher nos sítios de Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Sítio NV (Nitossolo Vermelho) e Sítio AVA (Argissolo Vermelho Amarelo).

Sítio	Alfa de Fisher (α)
NV	8,67 \pm 4,93
AVA	6,86 \pm 4,10
p-valor	0,1074
F-valor	2,7723

Figura 1.8 – Índice de diversidade Alfa de Fisher nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal ‘manejado’; SAFT: agroflorestal ‘testemunha’; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha ‘manejado’; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha ‘testemunha’; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão); círculos são os outliers.



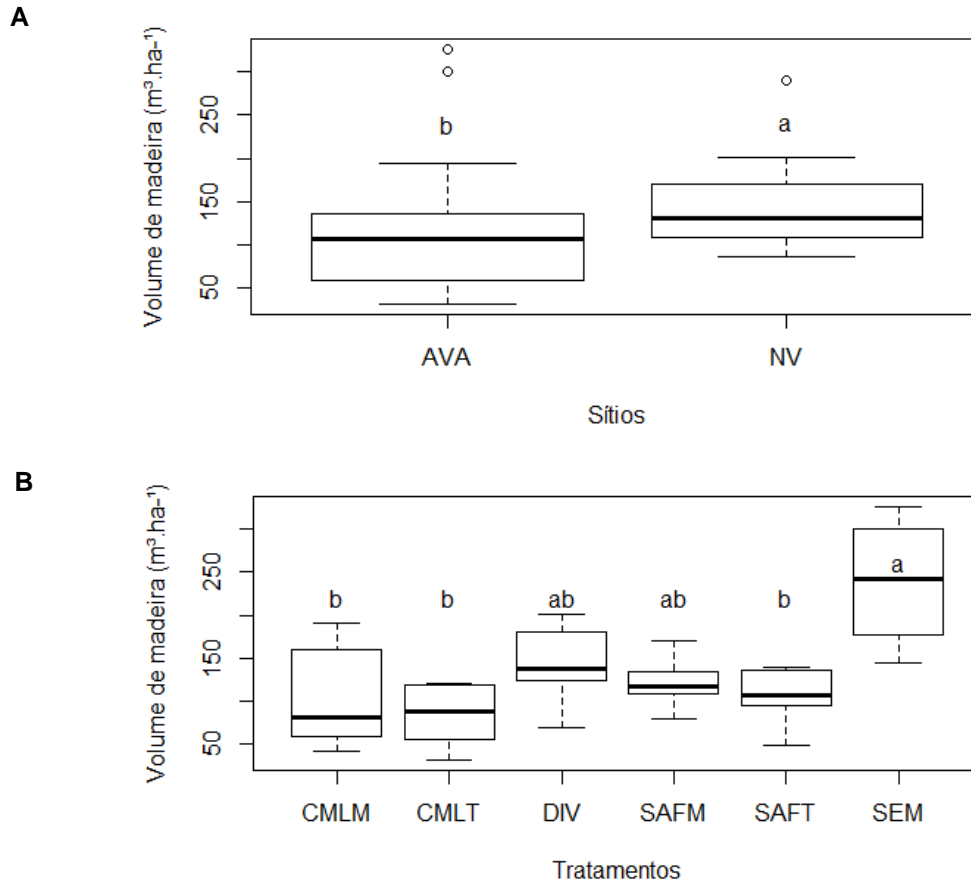
1.3.2 Efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração ecológica nos estoques de madeira e biomassa arbórea

O volume de madeira foi diferente estatisticamente entre os sítios ($F_{(1)} = 5,9531$; $p = 0,0215$) e entre os sistemas de restauração ($F_{(5)} = 6,3521$; $p = 0,005$), ao passo que a interação desses fatores não teve efeito significativo ($F_{(5)} = 1,9975$; $p = 0,1188$).

No sítio NV houve maior volume de madeira ($142,31 \pm 50,98 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) em relação ao sítio AVA, em que se observou volume médio de $121,61 \pm 83,62 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 1.9, A).

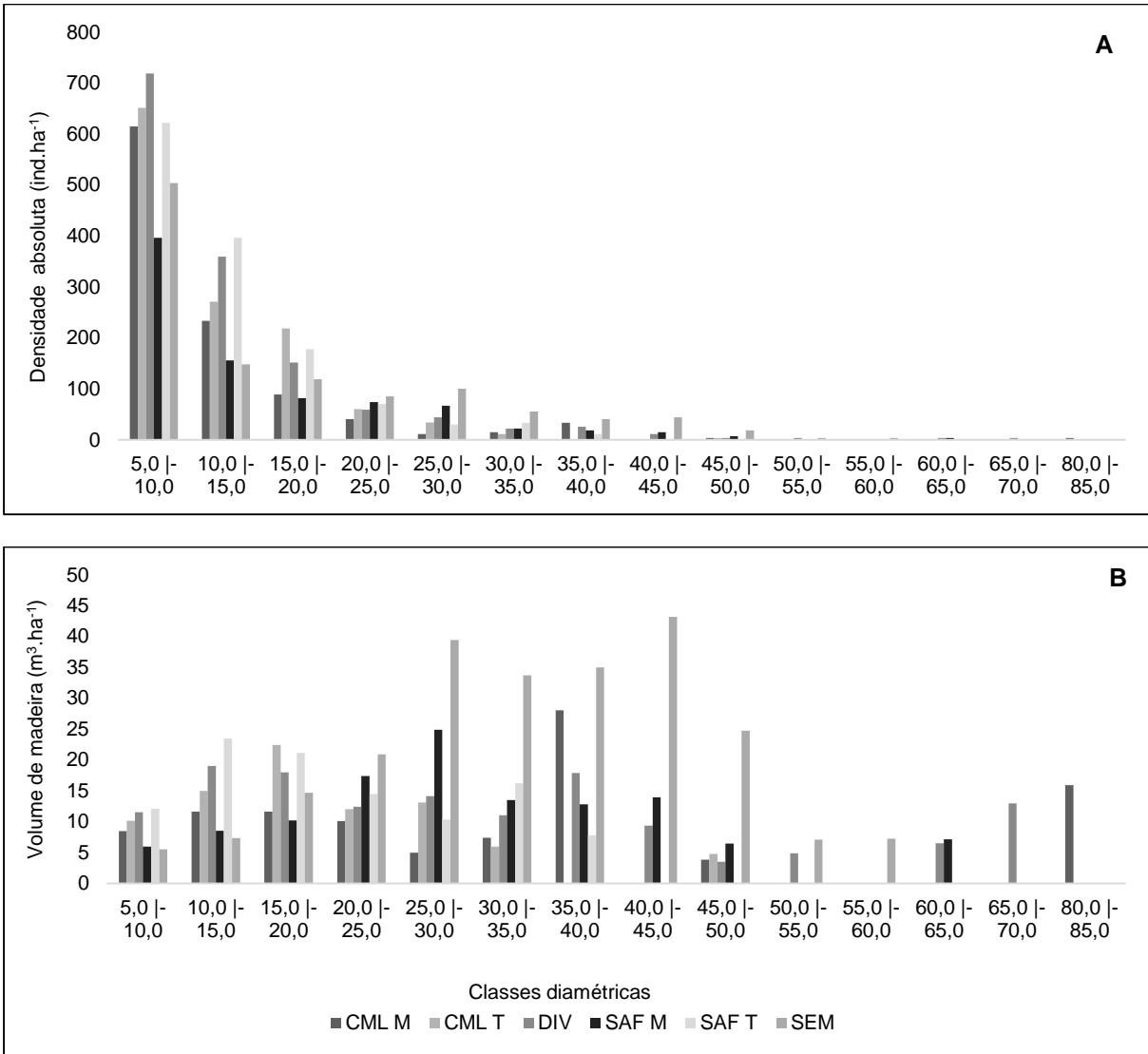
O maior volume de madeira ($238,81 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) ocorreu no sistema de semeadura (SEM) (Figura 1.9, B), representado principalmente pela espécie *S. parahyba*, que possuem maior densidade de indivíduos, maiores médias de DAP e altura (Tabela 1.4), dominando o dossel do sistema de restauração SEM (Figura 1.6). Nos sistemas DIV e SAFM observamos médias de volume de madeira intermediárias $141,25$ e $120,80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente. Enquanto nos demais sistemas de restauração CMLM, CMLT e SAFT, as médias foram menores (Figura 1.9, B).

Figura 1.9 – Estoque de madeira ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) nos sítios (A) e tratamentos (B) de restauração da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. Legenda: NV (Nitossolo Vermelho) e AVA (Argissolo Vermelho Amarelo); SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal ‘manejado’; SAFT: agroflorestal ‘testemunha’; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha ‘manejado’; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha ‘testemunha’; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão); círculos são os outliers



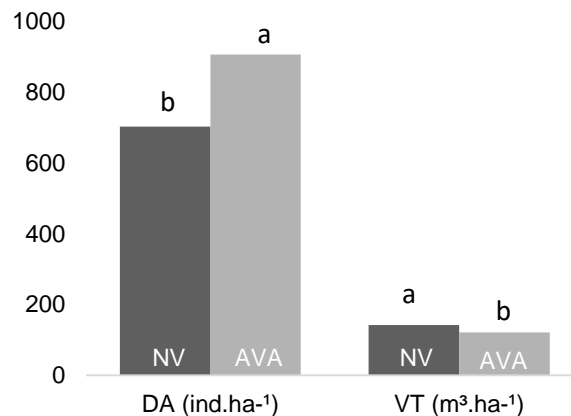
Na distribuição diamétrica para densidade de indivíduos arbóreos (Figura 1.10, A), a maior parte (90%) está incluída nas menores classes de DAP (5,0 a 25,0 cm), indicando predominância de estágio inicial de sucessão. Assim, a estrutura diamétrica dos sistemas de restauração ecológica independentemente do sítio, segue a tendência geral das curvas de distribuição diamétrica, com distribuição exponencial negativa (“J- invertido”). Para a distribuição dos diâmetros em função do volume de madeira (Figura 1.10, B) a curva apresentou padrão de distribuição normal para todos os sistemas de restauração, com maior concentração de volume nas classes de DAP de 25 a 45 cm.

Figura 1.10 - Distribuição diamétrica da densidade (A) e do volume de madeira (B) nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade



Houve um padrão inverso observado entre os sítios para as variáveis densidade absoluta e volume de madeira (Figura 1.11). Enquanto, no sítio NV foi menor a densidade de indivíduos, no sítio AVA foi maior e, para o volume de madeira este padrão foi inverso.

Figura 1.11 - Densidade absoluta e volume de madeira no sítio NV (Nitossolo Vermelho) e AVA (Argissolo Vermelho-Amarelo). Médias diferem estatisticamente para letras diferentes para cada variável do eixo “x”, em que DA (densidade absoluta, ind. ha⁻¹): F₍₁₎ = 6,3225 e p = 0,018184 e; VT (volume de madeira total, m³. ha⁻¹): F₍₁₎ = 5,9531 e p = 0,215.



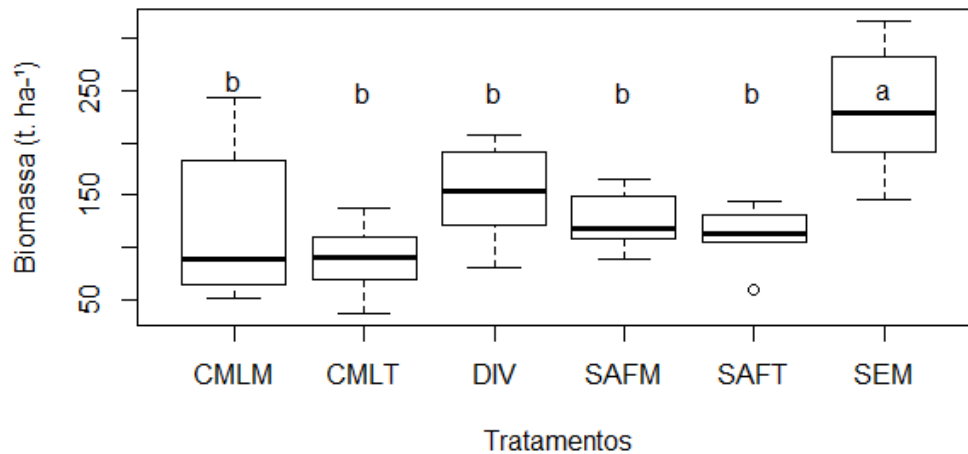
Não houve diferença estatisticamente significativa para o estoque de biomassa arbórea entre os sítios (Tabela 1.2). Para os sistemas de restauração houve diferença estatística ($F_{(5)} = 6,2147$; $p = 0,00059$), porém não houve interação desses fatores ($F_{(5)} = 2,2822$; $p = 0,0817$).

Tabela 1.2 – Valores médios e desvios padrões do estoque de biomassa arbórea nos sítios. Legenda: NV (Nitossolo Vermelho), AVA (Argissolo Vermelho Amarelo).

Sítio	Biomassa arbórea (t. ha ⁻¹)
NV	145,39 ± 51,55
AVA	130,42 ± 78,47
p-valor	0,3728
F-valor	0,8213

O maior estoque de biomassa arbórea (232,28 t. ha⁻¹) ocorreu no sistema de semeadura direta (SEM), que diferiu dos demais sistemas (Figura 1.12), independentemente do sítio.

Figura 1.12 - Estoque de biomassa arbórea (t. ha⁻¹) nos sistemas de restauração ecológica da Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, São Paulo. SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade. Caixas representam a mediana; primeiro e terceiro quartis, o erro padrão; e as barras tracejadas os valores mínimo e máximo (desvio padrão)



Com relação ao incremento médio anual de volume de madeira os sítios se diferiram estatisticamente ($F_{(1)} = 7,2247$ e $p\text{-valor} = 0,013439$), sendo o maior incremento no sítio NV ($7,40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) comparado ao sítio AVA ($6,28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Para os sistemas de restauração (Tabela 1.3), o sistema SEM apresentou maior incremento em volume, $11,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, aos 20 anos. Seguido do tratamento DIV e SAFM com $7,4$ e $6,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente, aos 19 anos.

Para o incremento médio anual de biomassa arbórea foi observado diferença estatística entre os sistemas de restauração (Tabela 1.3), praticamente no mesmo padrão em que se observou para volume. Porém não houve diferença entre os sítios ($F_{(1)} = 0,5344$ e $p = 0,4725$) no incremento de biomassa.

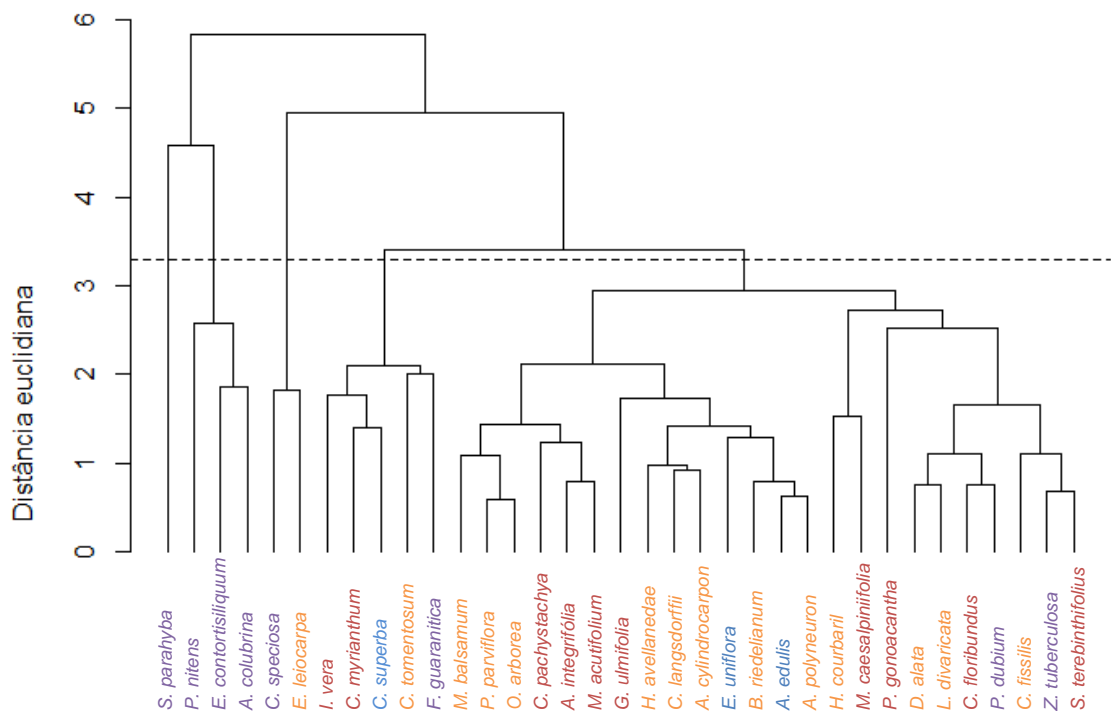
Tabela 1.3 – Valores do incremento médio anual (IMA) em volume de madeira e biomassa arbórea dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal 'manejado'; SAFT: agroflorestal 'testemunha'; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha 'testemunha'; DIV: alta diversidade.

IMA	Volume de madeira		Biomassa arbórea	
Tratamento	(m ³ . ha ⁻¹ .ano ⁻¹)		(t. ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	
CMLM	5,4	b	5,5	b
CMLT	4,4	b	4,7	b
DIV	7,4	ab	8,0	ab
SAFM	6,4	ab	6,5	b
SAFT	6,1	b	5,8	b
SEM	11,9	a	11,6	a
	p-valor = 0,0047		p-valor = 0,0002	
	F ₍₅₎ = 7,0198		F ₍₅₎ = 7,8310	

Na análise de agrupamento foi observado que as espécies plantadas nos diferentes sistemas se alocam em grupos similares quanto aos seus ritmos de crescimento e produção de madeira (Figura 1.13).

De um modo mais amplo, podemos observar um grupo formado *S. parahyba*, *P. nitens*, *E. contortisiliquum* e *A. colubrina* (espécies classificadas no grupo B, no projeto de implantação dos sistemas) e um outro grande grupo pelas demais espécies. Porém, com o corte arbitrário em 3,3 da distância euclidiana, mesmo corte utilizado por RÉ (2011) outros pequenos grupos são formados: um terceiro grupo é formado por *C. speciosa* e *E. leiocarpa*; um quarto *I. vera*, *C. myrianthum*, *Cordia* sp., *C. tomentosum*, *F. guaranitica*; e um quinto grupo pelas demais espécies plantadas, que estão à direita do agrupamento, em que se encontram as espécies de mais lento crescimento como *C. langsdorfii*, *H. courbaril*, *D. alata* e *C. fissilis*.

Figura 1.13 - Análise de agrupamento hierárquico das espécies plantadas, pelo método de distância euclidiana. A linha tracejada representa o corte arbitrário na distância euclidiana de 3,3 para definição dos grupos. Legenda: grupo A, grupo B, grupo C e grupo D



As espécies plantadas mais abundantes em cada tratamento levando em consideração os dois sítios estudados (Tabela 1.4), para ambas espécies os maiores valores de altura e DAP estão no sítio NV, independente do tratamento.

Tabela 1.4 – Estatística descritiva das espécies mais abundantes em cada tratamento para os dois sítios estudados. Legenda: NV: Nitossolo Vermelho; AVA: Argissolo Vermelho Amarelo; SEM: semeadura direta; SAFM: agroflorestal ‘manejado’; SAFT: agroflorestal ‘testemunha’; CMLM: consórcio madeira serrada e lenha ‘manejado’; CMLT: consórcio madeira serrada e lenha ‘testemunha’; DIV: alta diversidade; DAP é a média dos diâmetros a 1,30 m de altura do solo (cm) \pm desvio-padrão, H é a média das alturas (m) \pm desvio-padrão, VT é o volume de madeira de cada espécie (em m³. ha⁻¹); DA é a densidade absoluta (ind. ha⁻¹).

TRATAMENTO CML M								
Nome Científico	SÍTIO NV				SÍTIO AVA			
	DAP	H	VT	DA	DAP	H	VT	DA
<i>A. colubrina</i>	26,35 $\pm 17,50$	16,69 $\pm 6,84$	90,99	133	14,72 $\pm 13,02$	9,84 $\pm 4,51$	6,43	41
<i>E. contortisiliquum</i>	21,28 $\pm 14,18$	11,08 $\pm 6,43$	10,95	37	14,97 $\pm 9,49$	8,45 $\pm 4,57$	5,20	44
<i>H. courbaril</i>	10,66 $\pm 3,99$	10,15 $\pm 2,54$	5,48	111	8,98 $\pm 1,36$	7,44 $\pm 1,28$	0,66	30
<i>P. nitens</i>	16,65 $\pm 8,67$	12,92 $\pm 2,30$	17,86	111	10,58 $\pm 5,78$	9,48 $\pm 3,68$	1,94	30

TRATAMENTO CML T								
Nome Científico	SÍTIO NV				SÍTIO AVA			
	DAP	H	VT	DA	DAP	H	VT	DA
<i>A. colubrina</i>	22,98 $\pm 11,34$	14,48 $\pm 3,93$	9,18	30	12,56 $\pm 4,69$	10,24 $\pm 2,78$	2,78	41
<i>E. contortisiliquum</i>	20,22 $\pm 13,89$	11,56 $\pm 6,45$	16,93	52	14,13 $\pm 8,22$	6,88 $\pm 3,85$	3,43	41
<i>H. courbaril</i>	9,96 $\pm 3,16$	9,49 $\pm 2,21$	2,41	67	10,82 $\pm 6,83$	9,26 $\pm 3,34$	3,62	52
<i>M. caesalpinifolia</i>	13,05 $\pm 4,20$	11,59 $\pm 3,74$	30,88	74	11,92 $\pm 4,70$	8,63 $\pm 2,24$	12,94	82
<i>P. nitens</i>	14,04 $\pm 7,42$	12,02 $\pm 4,13$	12,90	82	15,38 $\pm 7,84$	11,23 $\pm 3,06$	2,71	22

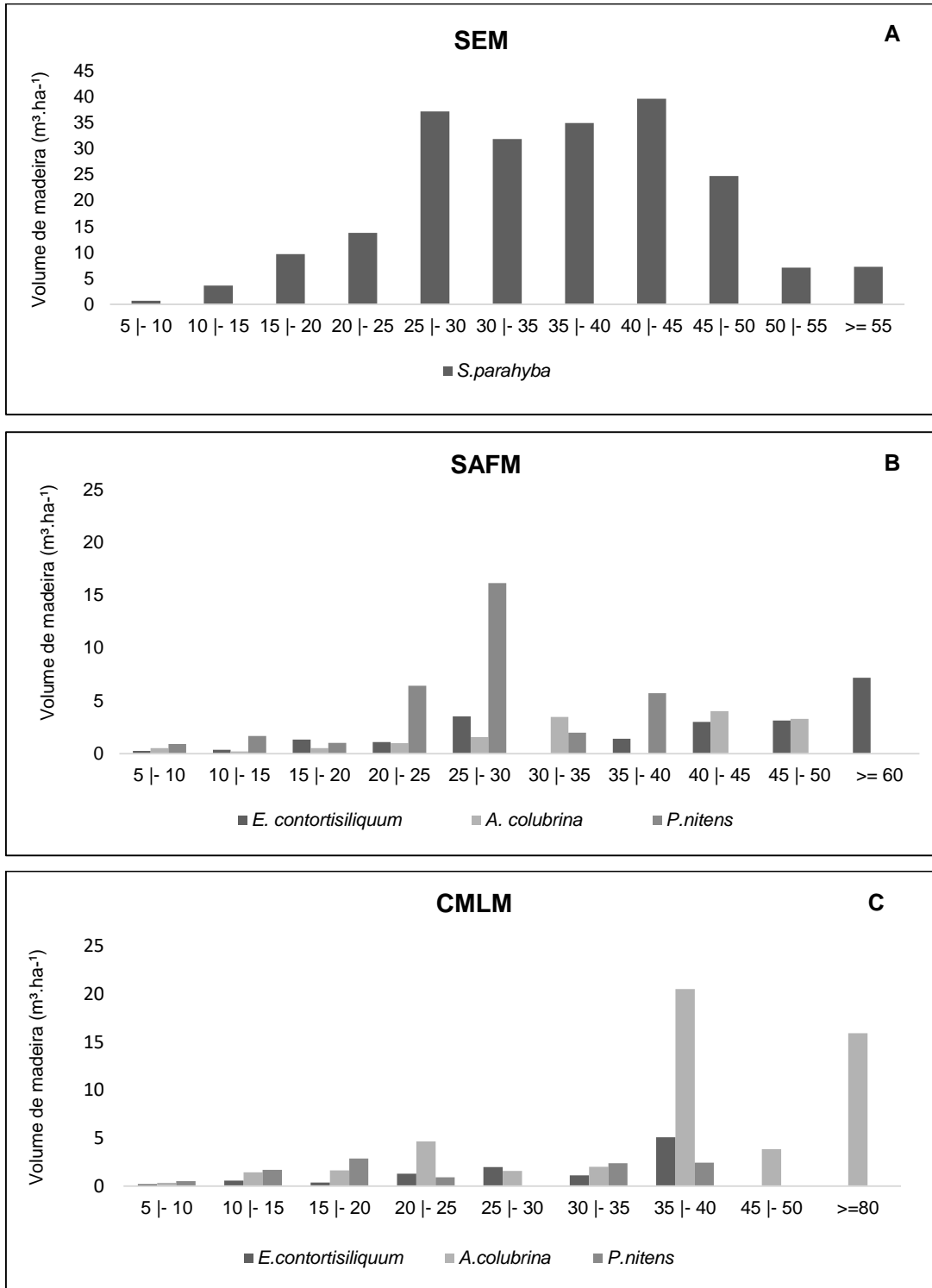
TRATAMENTO DIV								
Nome Científico	SÍTIO NV				SÍTIO AVA			
	DAP	H	VT	DA	DAP	H	VT	DA
<i>D. alata</i>	18,85 $\pm 11,50$	13,18 $\pm 3,13$	6,40	30	11,82 $\pm 4,44$	10,38 $\pm 2,82$	2,87	48
<i>P. nitens</i>	9,66 $\pm 4,52$	9,89 $\pm 1,97$	2,13	52	6,73 $\pm 1,28$	7,45 $\pm 2,28$	0,21	15
<i>S. terebinthifolius</i>	11,94 $\pm 4,03$	10,69 $\pm 3,05$	24,26	133	9,05 $\pm 2,90$	7,93 $\pm 1,64$	5,32	44

TRATAMENTO SAFM								
Nome Científico	SÍTIO NV				SÍTIO AVA			
	DAP	H	VT	DA	DAP	H	VT	DA
<i>A. colubrina</i>	16,33 $\pm 8,68$	14,05 $\pm 3,19$	7,10	44	32,40 $\pm 9,12$	14,10 $\pm 1,70$	7,25	15
<i>E. contortisiliquum</i>	20,09 $\pm 9,43$	17,80 $\pm 5,44$	15,30	30	24,92 $\pm 18,66$	9,78 $\pm 4,10$	6,48	19
<i>H. courbaril</i>	14,10 $\pm 7,90$	11,21 $\pm 3,49$	10,50	96	10,50 $\pm 2,86$	11,23 $\pm 2,48$	0,71	15

<i>P. nitens</i>	20,09 ±9,43	17,78 ±5,44	52,77	104	6,73 ±1,28	7,45 ±2,28	0,21	15
TRATAMENTO SAFT								
Nome Científico	SÍTIO NV				SÍTIO AVA			
	DAP	H	VT	DA	DAP	H	VT	DA
<i>A. colubrina</i>	18,04 ±8,84	13,95 ±4,22	11,99	59	11,81 ±9,66	9,14 ±4,94	2,56	26
<i>E. contortisiliquum</i>	21,93 ±13,64	12,00 ±4,22	8,31	30	16,04 ±4,88	11,57 ±2,48	3,76	30
<i>H. courbaril</i>	12,35 ±4,62	11,49 ±2,65	5,32	67	8,80 ±2,62	8,74 ±2,39	0,95	33
<i>M. caesalpinifolia</i>	11,03 ±4,08	12,79 ±1,65	36,67	133	11,31 ±5,00	10,49 ±2,51	27,83	85
<i>P. nitens</i>	19,15 ±10,09	15,95 ±2,43	37,71	74	19,60 ±9,85	11,93 ±1,79	6,96	26
TRATAMENTO SEM								
Nome Científico	SÍTIO NV				SÍTIO AVA			
	DAP	H	VT	DA	DAP	H	VT	DA
<i>E. contortisiliquum</i>	19,81 ±10,44	9,77 ±4,12	14,54	67	11,95 ±4,00	7,69 ±2,89	2,38	44
<i>S. parahyba</i>	29,56 ±12,58	17,21 ±4,75	161,76	274	25,20 ±10,66	16,53 ±4,17	129,59	293

Para o SEM (Figura 1.14 A), a maior parte do volume de indivíduos de *S. parahyba* está concentrada nos diâmetros acima de 25 cm. Assim como no SAFM (Figura 1.14 B) e CMLM (Figura 1.14 C) para os indivíduos de *E. contortisiliquum*, *A. colubrina* e *P. nitens*.

**Figura 1.14 - Distribuição diamétrica do volume de madeira dos indivíduos mais abundantes nos sistemas de restauração ecológica: SEM (A); SAFM (B) e; CMLM (C).
Legenda: (SEM) sementeira direta; (SAFM) agroflorestal 'manejado'; (CMLM) consórcio madeira serrada e lenha 'manejado'**



De acordo com a análise de agrupamento e distribuição diamétrica, foram determinados os valores de densidade absoluta e volume de madeira para as espécies mais abundantes e produtivas nos diferentes sistemas de restauração ecológica voltados ao corte seletivo (Tabela 1.5).

Tabela 1.5 – Valores de densidade absoluta (ind.ha⁻¹) e indivíduos por hectare com DAP ≥ 25 cm das espécies mais abundantes e produtivas em cada sistema de restauração ecológica. Legenda: consórcio de madeira serrada e lenha ‘manejado’ (CMLM); agroflorestal ‘manejado’ (SAFM) e semeadura direta (SEM).

	Densidade absoluta (ind. ha ⁻¹)	Indivíduos por hectare com DAP ≥ 25 cm
CMLM		
<i>A. colubrina</i>	107	37
<i>P. nitens</i>	89	7
<i>E.contortisiliquum</i>	63	15
SAFM		
<i>A. colubrina</i>	63	19
<i>P. nitens</i>	133	48
<i>E.contortisiliquum</i>	78	30
SEM		
<i>S.parahyba</i>	451	252

1.4 DISCUSSÃO

1.4.1 Características de estrutura e composição da vegetação dos sistemas de restauração ecológica

A densidade de indivíduos, bem como a área basal e diversidade foram avaliadas para caracterizar os sistemas de restauração quanto a sua estrutura e composição, e assim auxiliar na compreensão do comportamento dos estoques de madeira e biomassa arbórea entre as diferentes alternativas de plantio e sítios.

A densidade de indivíduos é menor no sítio NV, que possui maior fertilidade natural e maior capacidade de retenção hídrica que o sítio AVA (OLIVEIRA, 2015), pode ter favorecido inicialmente alguns indivíduos de espécies com alta capacidade competitiva que se estabeleceram primeiro, provocando um efeito supressor nos demais. Ao passo que no sítio AVA, os indivíduos cresceram mais uniformes, uma vez que as condições de solo não favoreceram os indivíduos de espécies mais competitivas. Resultando em menor densidade indivíduos no sítio NV e maior no sítio AVA. Já o estoque de madeira foi inversamente proporcional a densidade, de modo que o estoque de madeira foi maior no sítio NV e menor no sítio AVA.

Comparando a densidade de indivíduos, DAP e área basal é possível verificar que a condição de sítio foi importante na seleção de indivíduos. O sítio NV com menor densidade de indivíduos não diferiu, em termos de área basal, do sítio AVA, este que resultou em maior densidade de indivíduos. No sítio NV, os indivíduos possuem maiores DAP ($13,99 \pm 9,37$ cm) e, no sítio AVA, os indivíduos possuem menores DAP ($12,20 \pm 8,43$ cm).

Comparando a área basal e estoque de madeira, este que leva em consideração a altura dos indivíduos no cálculo, o sítio NV, com indivíduos mais altos ($11,57 \pm 4,61$ m), resultou em maior estoque que o sítio AVA, em que os indivíduos são mais baixos ($9,19 \pm 4,10$ m). A altura é um parâmetro que varia em função da qualidade do solo (BATISTA; COUTO, 2002; NOGUEIRA JUNIOR, 2010), promovendo maior volume quanto melhor a fertilidade do solo. Além da fertilidade natural do solo, o sítio NV possui maior capacidade de retenção hídrica (OLIVEIRA, 2015), propriedade do solo que afeta o crescimento das árvores por permitir a disponibilidade de água por um período maior de tempo.

A área basal foi maior no sistema SEM, com alta dominância de indivíduos de *S. parahyba* e menor riqueza e diversidade de espécies, mas não diferiu do sistema DIV, que possui maior riqueza e diversidade. Isto indica que a riqueza e diversidade de espécies não foram fatores preponderantes para área basal dos sistemas. Comparando os sistemas manejados e testemunhas no caso do SAF e CML, a diversidade de espécies foi superior para os sistemas manejados (SAFM e CMLM), indicando que a prática de manejo, no caso o corte raso das árvores de *M. caesalpinifolia*, espécie exótica altamente competitiva (PODADERA et al., 2015), contribuiu para o recrutamento de novas espécies, igualando estes sistemas ao sistema mais complexo (DIV). Desta forma, os sistemas testemunhas (SAFT e CMLT) tiveram sua diversidade mais próxima ao sistema menos complexo (SEM), indicando um possível efeito supressor da espécie exótica sobre o recrutamento de regenerantes.

A área basal do sistema SEM tem aumentado ao longo dos anos, de $28,20$ m². ha⁻¹ aos 10 anos (NOGUEIRA JUNIOR, 2010) para $36,23$ m².ha⁻¹, aos 20 anos, no presente estudo. Mas com um decréscimo dos 10 para os 12 anos, resultando em $24,94$ m². ha⁻¹ (RÉ, 2011). A diminuição em área basal pode ser explicada pela mortalidade de indivíduos uma vez que no estudo de Ré (2011), foi notória a dominância de *S. parahyba* em relação a *E. contortisiliquum*, tanto pelo número de

indivíduos como pelas dimensões (altura e diâmetro) alcançadas por essa espécie. Entretanto, os levantamentos realizados neste tratamento em 1999 (ENGEL; PARROTA, 2001), 2006 (ENGEL et al., 2007) e em 2009 (NOGUEIRA JÚNIOR, 2010) indicavam que a espécie dominante do plantio era a *E. contortisiliquum*. No estudo de Siddique et al. (2008) já havia sido demonstrada a tendência de decréscimo nas densidades relativas de *E. contortisiliquum* desde o início do plantio até o levantamento realizado em 2006, porém, com densidade absoluta ainda superior ao *S. parahyba*. A espécie *E. contortisiliquum*, fixadora de nitrogênio, favoreceu bastante o desenvolvimento de *S. parahyba*, não fixadora de nitrogênio. Esse favorecimento pode ter estabelecido um processo de dominância de *S. parahyba* sobre *E. contortisiliquum*, causando o decréscimo da densidade de indivíduos ao longo do tempo (SIDDIQUE et al., 2008). Outro fator é a alta mortalidade de *E. contortisiliquum* associada à explosão de patógenos, principalmente um fungo causador de podridão de floema, o que pode ser reflexo de maior estresse sofrido pelas plantas por competição (ENGEL, 2017)².

1.4.2 Efeitos dos fatores sítios e sistemas de restauração ecológica nos estoques de madeira e biomassa arbórea

O estoque de madeira foi superior no sítio NV (142,31 m³. ha⁻¹) em relação ao sítio AVA (121,61 m³. ha⁻¹) devido as propriedades físicas e químicas do solo que favoreceram o crescimento dos indivíduos no sítio NV, aos 19-20 anos após plantio, visto que o sítio NV, possui maior fertilidade natural (NOGUEIRA JUNIOR, 2000) e capacidade de retenção hídrica (OLIVEIRA, 2015). Estas propriedades do solo permitiram o melhor incremento volumétrico dos indivíduos no sítio NV. Em um estudo realizado em plantios de *Pinus taeda* os solos com dominância da fração argila, comparado ao solo com teores iguais de argila e areia, apresentam maior incremento médio anual das árvores (BOGNOLA et al., 2010).

Diferentemente do estoque aos 11 anos, quando não havia diferença entre os sítios (RÉ, 2011). A qualidade do local também afeta as espécies que podem ser usadas para restauração. Locais de boa qualidade tendem a apoiar o estabelecimento de espécies madeireiras de alto valor (DIHH LE et al., 2011). Foi observado o padrão

² ENGEL, V.L. (Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP). Comunicação pessoal, 2017.

inverso para estoque de madeira e densidade de indivíduos entre os sítios, de modo que no sítio NV houve maior estoque de madeira e menor a densidade absoluta (702 ind. ha⁻¹); enquanto no sítio AVA houve menor estoque de madeira e maior densidade (906 ind. ha⁻¹). Isto pode ser um indicativo de necessidade de desbastes, principalmente no sítio AVA, por indícios de excesso de competição e a proporção de fustes mais finos.

O padrão inverso de densidade e estoque de madeira entre os sítios não foi observado para a variável área basal, pois esta não leva em consideração a altura, que é modificado de acordo com as condições de solo (BATISTA; COUTO, 2002). Em que o sítio NV, por ter maior fertilidade natural apresentou maior altura quando comparado ao sítio AVA. Portanto, as condições de sítio são determinantes para escolha de área de restauração ecológica em que se deseja ter produção de madeira, pois se tem maior incremento em altura.

Para biomassa arbórea seca e estoque de carbono acima e abaixo do solo as diferenças não foram significativas para os sítios, assim como encontrado no estudo de Nogueira Junior (2010), em que foi negada a hipótese do estoque de carbono e biomassa arbórea seca estar diretamente relacionado à qualidade dos atributos edáficos, uma vez que o sítio NV apresenta um bom desempenho relacionado à presença de invasoras no estrato herbáceo/ arbustivo que competem por nutrientes com estrato arbóreo. Por sua vez, o sítio AVA apesar de apresentar fertilidade natural do solo inferior ao sítio NV, pôde proporcionar condições favoráveis de interação entre o solo e vegetação, levando a um melhor desenvolvimento florestal, que não diferiu do sítio NV, de melhor fertilidade natural do solo.

Ainda que a biomassa acima do solo seja o reservatório mais contemplado no escopo, o sequestro biológico terrestre de carbono vem também do armazenamento da biomassa abaixo do solo, do solo e serapilheira (POST et al., 2009). Enquanto na estimativa da biomassa arbórea, a biomassa abaixo do solo (raízes) representa 19,8% e as folhas 8,4% do total (NOGUEIRA JUNIOR, 2010), na estimativa de volume de madeira não são contabilizados estes compartimentos. Dessa forma, só houve diferença entre os sítios para o volume de madeira, e não para a biomassa arbórea, justamente pelo fato destes compartimentos (folhas e raízes) igualarem a biomassa arbórea nos dois sítios.

A maior parte das pesquisas relativas à estimativa de biomassa vegetal tem focado na componente árvore. Ao considerar apenas a componente árvore é notável

que o tronco quando comparado aos demais componentes (ramos, folhas e raízes) representa o maior reservatório, podendo armazenar grande quantidade de carbono (FORSTER; MELO, 2007). Porém no estudo de Nogueira Junior (2010), os ramos tiveram maior (38%) representatividade do que o tronco (33%), considerando todo o componente arbóreo. Este fato, pode ter decorrido da ausência de tratos culturais de podas de condução nos indivíduos, contribuindo para a bifurcação dos mesmos, e conseqüentemente, maior volume de ramos, principalmente no sítio AVA, onde se observa maior bifurcação dos indivíduos.

Aos 20 anos, o sistema menos complexo (SEM) apresentou maior volume de madeira ($238,81 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), porém não diferiu estatisticamente dos sistemas mais complexos (DIV e SAFM), ao passo que estes também não diferiram dos sistemas SAFT, CMLM e CMLT aos 19 anos, respectivamente. Porém, aos 12 anos do plantio (RÉ, 2011), o SEM apresentou maior volume de madeira em relação aos sistemas, indicando maior crescimento dos indivíduos neste arranjo e composição de espécies para esta idade. A produtividade foi maior no sistema que mais se assemelhou a uma monocultura, devido a predominância de apenas duas espécies. Dessa forma, o sistema menos complexo aumentou o volume de madeira de $104,41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para $238,81 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, enquanto o sistema mais complexo aumentou de $61,79$ para $141,25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Ambos sistemas aumentaram seus estoques de madeira em 230%, de 2009 para 2017.

O estoque de biomassa arbórea foi superior para o SEM ($232,28 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) comparado aos demais. Este estoque foi atribuído a dominância dos indivíduos de *S. parahyba*, que possuem maiores diâmetros, alturas e densidade absoluta no sistema, e também possuiu maior incremento médio anual volumétrico que as demais espécies. Apesar dos sistemas de CML e SAF “testemunhas e manejados” não diferirem entre si, os manejados (CMLM e SAFM) tiveram maiores médias de biomassa arbórea em relação aos (CMLT e SAFT), indicando o efeito benéfico do manejo adaptativo utilizado, no incremento do estoque de biomassa arbórea, bem como aumento da riqueza e diversidade de espécies.

O incremento médio anual (IMA) para volume de madeira foi superior para o SEM ($11,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), maior valor quando comparado ao sistema aos 12 anos, $7,46 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (RÉ, 2011). Enquanto o sistema DIV, aos 12 anos tinha menor IMA ($4,75$), aos 19 anos é o segundo sistema de maior IMA ($7,4$). Já os sistemas

CMLT e SAFT aos 19 anos tiveram seus IMA inferiores (4,4 e 6,4), em relação aos 12 anos, em que se encontrou 8,76 e 8,01 respectivamente (RÉ, 2011).

Em Floresta Ombrófila Densa primária foram encontrados maiores valores de volume de madeira e biomassa arbórea, $518 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e $398 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, do que na floresta secundária, com $93 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e $55 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente (IMANÃ-ENCINAS; PAULA; CONCEIÇÃO, 2012). Em Floresta Estacional Semidecidual secundária, o volume de madeira e biomassa foi de $115 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e $73 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (SOUZA et al., 2011) e de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e $39 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (RIBEIRO et al., 2010). Nos plantios de espécies nativas com 16 anos de idade os estoques de carbono foram superiores a $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (MONTAGNINI; FINNEY, 2011).

No estudo de Melo e Durigan (2006) avaliando matas ciliares nativas, em solos de cerrado, o estoque de carbono foi de $50 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ e em solos florestais $79,7 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ao passo que em plantios heterogêneos com espécies nativas em solos florestais a taxa média de fixação de carbono foi de $5,2 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para uma média de 23 plantios de diferentes idades e a de biomassa foi de $9,8 \pm 4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, valor próximo ao encontrado para os diferentes sistemas de restauração avaliados aos 19-20 anos ($7,02 \pm 2,51 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

A biomassa e, portanto, o estoque estimado de carbono nas matas ciliares naturais foi cerca de 60% superior em solos florestais, se comparado ao estoque em solos de cerrado (MELO; DURIGAN, 2006). Há uma considerável diferença no estoque de biomassa, que é mais elevado em região florestal, sobre solos argilosos e de alta fertilidade, em comparação com o observado em região de cerrado, com solos arenosos e de baixa fertilidade. Diferentemente, do encontrado no presente estudo para o estoque de biomassa, que não diferiu entre os solos NV e AVA.

Estes valores não distam dos sistemas em restauração ecológica de estágio secundário da Floresta Estacional Semidecidual aos 12 anos de idade, em que o volume médio de madeira foi de $96,07 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (RÉ, 2011). Equanto que para biomassa arbórea seca acima do solo, aos 10 anos, variou de 80 a $85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ em Nitossolo Vermelho e no, 70 a $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ no Argissolo, nos sistemas DIV e SEM, respectivamente (NOGUEIRA JUNIOR, 2010). Aos 19-20 anos, no presente estudo, foram observados os valores máximos e mínimos para estoque de madeira $238,81$ a $83,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e de $232,28$ a $89,07 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ no estoque de biomassa arbórea, nos sistemas: SEM e CMLT, respectivamente.

Segundo Souza et al. (2011), as diferenças observadas nos estoques de madeira, biomassa e carbono e no sequestro de CO₂ no componente arbóreo podem ser atribuídas à composição florística, à estrutura diamétrica e ao estágio de sucessão. Além disso, as características próprias de cada formação podem contribuir para os diferentes estoques de biomassa em cada local assim como o uso anterior da área também pode afetar as taxas de biomassa (RIBEIRO et al., 2010). No estudo o arranjo e composição dos sistemas de restauração bem como, as condições de sítio, afetaram os estoques de madeira e; o arranjo e composição dos sistemas influenciaram a biomassa arbórea.

Comparando apenas os sistemas SEM e DIV, foi observado que o sistema menos complexo (SEM) apresentou maior biomassa arbórea, ao passo que o sistema mais complexo (DIV) apresentou menor biomassa arbórea, bem como no estudo de Nogueira Junior (2010). Os valores de biomassa arbórea destes sistemas aumentaram do estudo anterior (NOGUEIRA JUNIOR, 2010) para o presente estudo, em que os estoques aumentaram de 102,04 para 232,28 t. ha⁻¹ no SEM e de 78,48 para 151,26 t. ha⁻¹ no DIV, houve um bom crescimento da floresta, aumentando a biomassa arbórea, em aproximadamente 50% para estes sistemas. Os plantios com maior número de espécies apresentam maior estoque de carbono na biomassa seca comparados às monoculturas (MONTAGNINI; PORRAS, 1998). O maior número de espécies no sistema, engloba mais espécies de lento crescimento do que as monoculturas, que possuem as espécies de rápido crescimento, e que estocam um menor teor de carbono. No presente estudo, o sistema menos complexo, com menor riqueza de espécies (SEM) apresentou maior biomassa seca arbórea, conseqüentemente maior estoque de carbono a curto-prazo, uma vez que predominam as espécies de rápido crescimento, principalmente *S. parahyba*.

1.4.3 Agrupamento das espécies e distribuição diamétrica

De acordo com a análise de agrupamento, os primeiros grupos a esquerda são os que tem prioridade de manejo, prevalecendo as espécies classificadas inicialmente nos grupos A e B, introduzidas inicialmente para produção de lenha. Enquanto que a direita, a grande maioria são as espécies de crescimento mais lento (grupos C e D) e, que estariam presentes em um segundo ciclo de colheita, para produção de madeira de serraria.

As espécies mais abundantes se repetem ao longo dos tratamentos, indicando que o desenvolvimento das espécies pode depender mais das características intrínsecas da espécie do que do arranjo e composição do sistema de restauração, com potencial de desenvolvimento em ambos sítios.

Conforme a análise de agrupamento a espécie *S. parahyba* esteve em um grupo separado, mostrando a importância desproporcional que ela tem em relação às demais e sugerindo que deva existir para a espécie um manejo específico dentro do seu sistema (SEM), proporcionando melhores condições para aumento da biodiversidade no sistema e o aproveitamento da madeira pelo produtor. Porém, mesmo o sistema tendo apresentado sucesso da restauração de acordo com os indicadores da Resolução SMA 32/ 2014 (DUCATTI, 2017), o mesmo necessita de tratamentos silviculturais (controle de invasoras) para permitir novos recrutamentos e diminuir a competição. Além disso, o nível de desbaste escolhido pode vir a interferir negativamente no controle de invasoras através da abertura do dossel.

Como já mencionado no estudo de Ré (2011) a espécie poderia ser utilizada pela indústria de laminados para a produção de compensados, já aos 14 anos de idade (BORTOLETTO JÚNIOR; BELINI, 2002), quando já possuía quantidades significativas de volume de madeira nas classes de diâmetro acima de 30 cm. Porém nos cortes rasos e seletivos, é preciso ficar atento aos danos que esta atividade pode causar à regeneração natural, já que esta é muito importante para a manutenção da floresta e continuidade da sucessão (JOHNS, 1988, HALL et al., 2003, OKUDA et al., 2003). No corte raso dos indivíduos de *M. caesalpinifolia* houve aumento da diversidade de espécies nas parcelas manejadas em relação as parcelas não manejadas, na avaliação de um ano após o corte (PODADERA, 2015). Este corte, além de disponibilizar a madeira para o produtor rural, poderá favorecer o desenvolvimento de outros indivíduos que poderiam estar sendo suprimidos através do processo competitivo.

As espécies *A. colubrina*, *E. contortisiliquum* e *P. nitens* foram abundantes em todos os sistemas e pela análise de agrupamento se confirmou a afinidade de características dendrométricas, formando um grupo de espécies, uma vez que possuem comportamento semelhante e mesmo potencial de manejo. Estas espécies possuem grande plasticidade fenotípica e capacidade de fixação biológica de nitrogênio, pois pertencem à família Fabaceae (SIDDIQUE et al., 2008), além de proporcionarem qualidade de madeira para diversos usos.

A madeira de *E. contortisiliquum* tem boa estabilidade dimensional, resistência mecânica, e é uma madeira leve (MELO et al., 2013), pode ser usada para carpintaria, construção civil e naval, moldes de fundição, embalagens, caixotaria, pranchetas, canoas, entalhes e compensados. A *A. colubrina* tem madeira densa (0,84 a 1,10 g.cm⁻³) é usada em trabalhos de marcenaria (CARVALHO, 1998) e, foi a espécie com o maior incremento volumétrico entre as espécies nativas. Já o *P. nitens* pode ser usada em carvão vegetal (FIGUEIREDO et al., 2018), bem como em outros usos mais nobres como, móveis finos, tacos, tornearia, carroçaria, tabuados, tanoaria, cabos de ferramentas, escadas e utensílios diversos. Apesar destas madeiras de rápido crescimento (pertencentes aos grupos A e B) serem introduzidas para produção de lenha, podem ser destinadas a outros usos mais nobres, a depender do DAP de corte para o sortimento de uso.

As outras espécies que ficaram agrupadas em outros grupos ou separadas tem crescimento mais lento e melhor valor de madeira, como é o caso, do *H. courbaril*, *C. langsdorffii* e *C. fissilis* apresentando outros usos não-madeireiros até que se alcance o diâmetro mínimo para o uso mais nobre.

A análise do comportamento de uma espécie em cada classe a ser utilizada subsidia a escolha do sistema e a intensidade de exploração, assim como os métodos silviculturais a serem adotados, de maneira que a floresta seja manejada sem sofrer grandes distúrbios ecológicos (LIMA; LEÃO, 2013). Pela análise descritiva dos sítios e gráficos de distribuição volumétrica por diâmetro observamos que seria recomendado o corte seletivo para estes indivíduos para as classes acima de 25 cm, levando em consideração um desbaste de apenas 25% do volume total de cada espécie para os sistemas CMLM e SAFM, indica uma prática de manejo adaptativo sustentável, afim de não comprometer os atributos e indicadores de sucesso da restauração ecológica.

Existem projetos de restauração ecológica para RL com proposta de manejo florestal para dois desbastes antecedentes ao corte final para madeira de serraria (DAP ≥ 35 cm) para as espécies carro-chefe (IPEF, 2012; 2013), que são espécies cujo conhecimento sobre sua silvicultura já esteja consolidado, o mercado já apresente retorno financeiro e que sejam usadas em combinação com nativas menos exploradas, alavancando a produção.

Nossos resultados indicaram que os sistemas de restauração estudados possuem a maior parte dos indivíduos da distribuição diamétrica classificados para o

primeiro e segundo desbaste, ou seja, indivíduos com 14 cm de DAP e, 18 a 25 cm DAP, respectivamente. Se o destino da madeira for para uso em energia, essas espécies já podem ser manejadas, pois apresentam diâmetros médios de primeiro e segundo desbaste (14 a 25 cm). No entanto, existem indivíduos com maiores dimensões (DAP \geq 25 cm) possibilitando o uso da madeira para fins mais nobres, como, por exemplo, para serraria.

É importante ressaltar que o desenvolvimento das espécies de crescimento lento pode estar condicionado ao manejo das espécies de rápido crescimento que, através do desbaste, poderão disponibilizar recursos fundamentais, como a luz, para o desenvolvimento posterior dessas espécies de madeira mais valiosa (PIOTTO et al., 2003). No estudo de Silva (2017), foi avaliado o impacto ecológico e silvicultural do uso e colheita do eucalipto consorciado com espécies arbóreas nativas para restauração na Mata Atlântica. O eucalipto implantado para gerar renda no primeiro ciclo de corte (em torno dos 4 a 5 anos), compondo 50% do plantio e representando 90% da área basal, causou danos nas árvores nativas e abertura de dossel, porém os danos foram minimizados aos quatorze meses após a colheita e não comprometeu a regeneração natural. Entretanto, estudos a médio e longo prazo devem ser realizados a fim de atestar a viabilidade econômica e ambiental do sistema.

A restauração de florestas tropicais tem o potencial de sequestrar o carbono na biomassa acima e abaixo do solo por longos períodos (SILVER; OSTERTAG; LUGO, 2000), de modo que as espécies de rápido crescimento são aptas a sequestrar rapidamente o carbono e as espécies de lento crescimento mantêm o carbono fixado no sistema por um longo período (REDONDO-BRENES; MONTAGNINI, 2006). Neste sentido, para os sistemas avaliados, o sistema menos diverso e complexo (SEM) produziu maior biomassa arbórea aos 20 anos e, diferiu dos demais sistemas, que a longo prazo, tendem a aumentar o estoque de biomassa e manter o carbono fixado por mais tempo, agregando valor ao mercado de crédito de carbono.

Outros mercados (madeireiro e não-madeireiros) estão mais consolidados, mais ainda necessitam de mais estudos acerca das técnicas silviculturais e manejo adequados para se ter um retorno econômico e garantir a biodiversidade, quando se trata de plantios de restauração ecológica. Uma vez que implantar sistemas para restauração ecológica que conciliem a produção de bens diretos e serviços ecológicos concomitantemente, é ainda um desafio (LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005).

1.4.4 Implicações para a restauração ecológica

Na restauração ecológica é de suma importância levar em consideração as condições do sítio, o arranjo e a composição de espécies em função do objetivo que se tem com a restauração, uma vez que estas podem afetar o estoque de madeira e de biomassa arbórea.

O sítio com melhor fertilidade natural e capacidade de retenção hídrica teve maior estoque de madeira. Mas estes não foram fatores preponderantes para o estoque de biomassa arbórea e carbono. Dessa forma, quando se deseja restaurar a RL com intuito de produzir a madeira, é necessário a escolha de áreas com melhores propriedades físicas e químicas de solo, a fim de aumentar a produtividade. Ou mesmo, investir em tratamentos silviculturais (adubação química ou verde e, preparo de solo: cultivo mínimo, plantio direto) que proporcionem estes ganhos por meio da melhora das condições edáficas.

O sistema menos complexo e diverso (SEM) contribuiu para o maior estoque de madeira, mas não diferiu de sistemas mais complexos e diversos (DIV e SAFM). Indicando que o maior estoque de madeira foi alcançado quando se teve menor competição interespecífica. Porém a diversidade não foi um fator limitante à produção de madeira, indicando a possibilidade em conciliar a diversidade e produtividade em um sistema de restauração, que se torna mais adequado ao sistema SAFM, do que ao DIV, em que o arranjo do sistema contribuiu para a colheita desta madeira.

Houve diferença no estoque de biomassa arbórea entre o sistema SEM e os demais, indicando que os sistemas menos complexos com espécies de rápido crescimento proporcionam o estoque de biomassa arbórea a curto prazo, considerando que estas espécies de rápido crescimento tendem a deixar o sistema gradativamente. Entretanto, a longo prazo, os sistemas mais complexos são capazes de manter o estoque de carbono por mais tempo, pois possuem maior densidade da madeira e maior longevidade das espécies de lento crescimento.

O SAFM apresentou maior média de volume de madeira em relação ao SAFT indicando que o manejo florestal por meio de corte raso pode proporcionar melhores condições para o desenvolvimento dos indivíduos remanescentes e ainda permitiu o recrutamento de regenerantes, tornando o sistema sustentável pois alavancou a sucessão florestal.

Foi possível agrupar as espécies em grupos quanto aos seus ritmos de crescimento e produção de madeira, para fins de manejo. Dessa forma, os grupos dependem mais das características funcionais intrínsecas das espécies do que dos sistemas de plantio em si, contribuindo para facilitar a elaboração de planos de manejo sustentáveis.

1.5 CONCLUSÕES

Os estoques de madeira e biomassa arbórea em florestas plantadas de restauração ecológica dependem das características dos sistemas de restauração ecológica. De modo geral, os sistemas menos complexos possuem maiores estoques de madeira, biomassa arbórea e carbono quando comparado aos sistemas mais complexos. As condições de sítio interferem positivamente no estoque de madeira, em que as melhores condições edáficas promoveram maior volume de madeira, mas não interferiram na biomassa arbórea.

Existiram grupos similares de espécies arbóreas quanto aos seus ritmos de crescimento e produção de madeira, que permitiram adotar plano de manejo sustentável. O primeiro grupo de manejo formado é das espécies (*S. parahyba*, *P. nitens*, *A. colubrina*, *E. contortisiliquum*) que ocorreram em maior densidade, tem maiores produtividades em ambos tratamentos e pertencem ao mesmo grupo da classificação de implantação dos sistemas (grupo B).

Para as variáveis explicativas (sítio e sistemas) não houve interação, portanto, independentemente dos sítios, os sistemas foram observados de modo geral, e se diferiram para todas as variáveis respostas (volume de madeira, biomassa arbórea, área basal, diversidade), exceto para densidade em que os sistemas não apresentaram diferença. Apenas para as variáveis respostas, densidade e volume de madeira houve diferença estatística entre os sítios.

1.6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

BATISTA, J.L.F.; COUTO, H. T.Z.; SILVA FILHO, D.F. Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas. Editora: Oficina de Textos, p. 384. 2014.

BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z. O estéreo. **METRVM**, n. 2, outubro/ 2002.

BOGNOLA, I. A. et al. Influência das propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n. 61, p. 37-49, jan/ abr, 2010.

BORTOLETTO JÚNIOR G, BELINI UL. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 1-16, 2002.

BRANCALION et al. Finding the money for tropical forest restoration. **Unasyuva** **239**, v. 63, p.25-34, 2012.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 21 agosto 2016

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest área of southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, v. 4, p. 131-136, 2008.

CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; MENDES, J.C.T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1808-1814, 2010.

CAR. Cadastro Ambiental Rural. Consulta pública. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em 23 de abril de 2018.

CARDINALE, B. J. et al. Separating the influence of resource availability from resource imbalance on productivity–diversity relationships. **Ecology Letters**, v.12: p. 475–487, 2009.

CARVALHO, P.E.R. Espécies nativas para fins comerciais. Seminário sobre espécies não tradicionais, realizado em Curitiba - PR, de 06 a 08 out 1998.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de *taper* para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 799 - 809. 2003.

CUNHA, G.M. et al. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da Mata Atlântica na região norte do estado de Rio de Janeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1175 - 1185. 2009.

DIHH LE, H et al. More than just trees: Assessing reforestation success in tropical developing countries, **Journal of Rural Studies**, v 28, n.1, p. 5-19, 2011.

DUCATTI, M. et al. Assessing restoration projects success: Contributions for São Paulo state legal framework Resolution SMA 32/2014. **Book of abstracts**: VII World of conference on Ecological Restoration, Foz do Iguassu-PR, 2017.

ENGEL, V. L. et al. Direct seeding of fast growing trees promotes native species regeneration. In: Simpósio Internacional sobre Restauración Ecológica, 2, 2007, Santa Clara. **Libro Resúmen...** Santa Clara: Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna, p 282, 2007.

ENGEL, V. L. Princípios silviculturais aplicados à restauração ecológica. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, v. 45, p. 7-9, 2011.

ENGEL, V.L. Manejo sustentável e restauração florestal. In: Seminário temático sobre recuperação de áreas degradadas: a Resolução SMA 21 de 21/11/2001 como recurso gerencial para a recuperação de áreas degradadas: avanços obtidos e perspectivas futuras, 2003, São Paulo. *Anais...*Instituto de Botânica: São Paulo, p. 21-31, 2003.

ENGEL, V.L. Restaurando florestas tropicais. **Revista Opiniões**, ano 13, n.44, divisão F, jun-ago, 2016.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.152, p. 169–181, 2001.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Restauração de ecossistemas florestais, Parte I. **Agroecologia Hoje**, v.1, n.4, p.22-23, ago-set, 2000a.

ENGEL, V.L; PARROTTA, J.A. Sistemas alternativos de plantio para a restauração de ecossistemas florestais da Mata Atlântica em Botucatu, Parte II. **Agroecologia Hoje**, v.1, n.5, p. 10-11, out-nov, 2000b.

FAO. Terms and definitions, 2015. 36 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-ap862e.pdf>. Acesso em 25 de abril 2017.

FAO. States of the World's Forests. Roma, 2012. 47 p. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

FIGUEIREDO, M. E. O. et al. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 420-431, jan- mar, 2018.

FISHER, R. A., CORBET, A. S., AND WILLIAMS, C. B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. **Journal of Animal Ecology**, v.12, p.42-58, 1943.

FORSTER, H. W.; MELO, A.C.G. Biomassa aérea e de raízes em árvores de reflorestamentos heterogêneos no Vale do Paranapanema, SP. **IF: Série Registros**, São Paulo, n.31, p. 153-157, jul. 2007.

FORZZA et al. Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 25 abril 2017.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2ª aproximação. Belo Horizonte: Centro de Pesquisas Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66p. (PRODEPEF.Série Técnica, 11). In: CARVALHO, P.E.R. Espécies nativas para fins comerciais. Seminário sobre espécies não tradicionais, realizado em Curitiba - PR, de 06 a 08 out 1998.

HALL, J. S. et al. The effects of selective logging on forest structure and tree species composition in a central African forest: implications for management of conservation areas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 183, p. 249-264, 2003.

HAMMER, O., HARPER, D.A.T., RYAN, P. D. **PAST: PA**leontological **ST**atistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, v.4, n.1, Version 3.20, 2001.

HOOVER D.U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, v.75, p.3–35, 2005.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2017, 80 p, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2012

IMAÑA-ENCINAS, J.; PAULA, J. E. DE; CONCEIÇÃO, C. DE A. Florística, volume e biomassa lenhosa de um fragmento de Mata Atlântica no município de Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 565 - 576, 2012.

IPEF. Florestas Nativas com finalidade econômica. Modelos de Florestas nativas ou mistas. Indicadores de avaliação de funções ecológicas em florestas plantadas. Produtos técnicos v. 1, n.1, 2013. Disponível em: http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/476/Documentos/estudos/Produto_tecnico_v1_n1_modelos_indicadores.pdf . Acesso em 11 de outubro de 2017.

IPEF. Relatório síntese: propostas para subsidiar um plano de implantação de florestas nativas com viabilidade econômica e ecológica. Workshop sobre florestas nativas, 4 e 5 de maio 2012 – publicação preliminar. Disponível em: http://www.ipef.br/pcsn/documentos/relatorio_sintese_workshop-preliminar.pdf Acesso em 11 de outubro de 2017.

JOHNS, A. Effects of “selective” timber extraction on rain forest structure and composition and some consequences for frugivores and folivores. **Biotropica**, Washington, v. 20, n. 1, p. 31-37, 1988.

JORGE, L. A. B.; SARTORI, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu, SP. **Revista Árvore**, v.26, p.585-592, 2002.

KAGEYAMA, P.; SANTARELLI, E. et al. Revegetação de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1 e

SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, Foz do Iguaçu, 1994. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p. 569-576

LAMB, D. Large-scale ecological restoration of degraded tropical forest lands: the potencial role of timber plantations. **Restoration Ecology**, Malden v.6, n.3, p.271-279, 1998.

LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, Washington, v.310, p.1628-1632, 2005.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 1998. 853 p.

LIMA, J.P.C.; LEÃO, J.R.A. Dinâmica de Crescimento e Distribuição Diamétrica de Fragmentos de Florestas Nativa e Plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.20, n.1, p.70- 79, 2013

MAGURRAN, A. E. Ecological Diversity and Its Measurement. Springer Netherlands. 179 p., 1988.

MARTINEZ-RAMOS, M. Claros, ciclos vitales de los arboles tropicales y regeneración natural de selvas altas perenifolias. In: GÓMEZ-POMPA, A.; DEL AMO, S.R. (ed). Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, Mexico. Mexico: INIRB/Alhambra Mexicana, 1985. v. 2. p.191-240.

MELO, R.R. et al. Uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais Sinop**, v. 01, n. 01, p. 01-07, out-dez. 2013.

MELO, A.C.M.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 149-154, agosto 2006.

MONTAGNINI, F.; PORRAS, C. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. **Environmental Management**, Amsterdam, v. 22, p. 459-470, 1998.

MONTAGNINI, F.; FINNEY, C. Payments for environmental services in Latin America as a tool for restoration and rural development. **Ambio**, v. 40, n. 3, p. 285-97, mai-2011.

NGUYEN, H. et al. Biodiversity-productivity relationships in small-scale mixed-species plantations using native species in Leyte province, Philippines. **Forest Ecology and Management**, v.274, p. 81-90, 2012.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamento com diferentes associações de 29 espécies de Mata Atlântica. 50p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2000.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica. 94 p. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2010.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. et al. Equações alométricas para estimativa da biomassa arbórea em plantios mistos com espécies nativas na restauração da Mata Atlântica. **Biota Neotropica**, vol.14, n.2, 2014.

OKUDA, T. et al. Effect of selective logging on canopy and stand structure and tree species composition in a lowland dipterocarp forest in peninsular Malaysia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, p. 297-320, 2003.

OLIVEIRA, R.M. Desempenho ecofisiológico de mudas de *euterpe edulis* Martius de diferentes estádios de desenvolvimento e implicações para a restauração ecológica. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015. 85 p.

ORTEGA, V. R.; ENGEL, V. L. Conservação da biodiversidade de remanescentes de Mata Atlântica na região de Botucatu, SP. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2. *Anais...* São Paulo: Revista do Instituto Florestal v. 4, p. 839-852, 1992.

PAQUETTE, A.; MESSIER, C. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.8, n. 1, p. 27-34, 2009.

PARROTTA, J.A.; TURNBULL, J.W.; JONES, N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n1-2, p.1-7,1997.

PIOTTO, D. et al. Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 427–439, 2003.

PIOTTO, D. et al. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. **New Forests**, v. 39, p. 369–385, 2010.

PLANAVEG. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação – Brasília, DF: MMA, 2017. 73p.

PODADERA, D. ELIMINAÇÃO DA ESPÉCIE *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. (sansão-do-campo) em florestas em processo de restauração. 61p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

PODADERA et al. Influence of removal of a non-native tree species *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. on the regenerating plant communities in a tropical

semideciduous forest under restoration in Brazil, **Environmental Management**, v. 56, p.1148–1158, 2015.

POST, W. M. et al. Terrestrial carbon sequestration – Science for enhancement and implementation. In: MCPHERSON, B.J.; SUNDQUIST, E.T. (Ed). Carbon sequestration and its role in the global carbon cycle. AGU Monograph Series, n. 183 p. 73-88, 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Versão 3.1.4 Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

RÉ, D.S. Equações volumétricas e produção de madeira em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. 57 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

RÉ, D.S. et al. Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da Floresta Estacional Semidecidual. **Cerne**, vol.21, n.1, p.133-140, 2015.

REDONDO-BRENES, A.; MONTAGNINI, F. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.232, p.168–178, 2006.

RIBEIRO, S.C. ET AL. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.495-504, 2010.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z. DO; JESUS, R. M. De. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 107 - 114. 2006.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. Inventário florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 341p. 1997.

SIDDIQUE, I. et al. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration planting within seven years. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 88, p. 89-101, 2008.

SILVA, C. C. Impacto ecológico e silvicultural do uso e colheita do eucalipto consorciado com espécies arbóreas nativas para a restauração da Mata Atlântica. 130p. **Tese** (doutorado) – USP/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185 - 206. 2008.

SILVER, W.L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A.E. The potencial for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical pastoral and agricultural lands. **Restoration Ecology**, Oxford v. 8, p. 394-407, 2000.

SOUZA, A. L. et al. Estoque e crescimento em volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 6, p. 1277-1285, 2011.

SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Equações de volume e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares - ES. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 15, n. 3, p. 257 - 273. 1991.

THOMAS, E. et al. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 333, p. 66–75, 2014

VIEIRA, S.A. et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v.8, n.2, p.21-29, 2008.

CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL PARA RESERVA LEGAL

RESUMO

Os modelos de restauração ecológica devem prever além das metas ecológicas e serviços ambientais indiretos, o aspecto econômico, o qual está previsto na legislação florestal, nas áreas à restauração da Reserva Legal. O manejo florestal sustentável aliado ao arranjo e composição do sistema devem incluir técnicas silviculturais que permitam o retorno econômico ao produtor rural. Os projetos de investimentos florestais são caracterizados por incertezas, e dependem de um oneroso investimento inicial, por longo período de tempo imobilizado, mas que, quantificadas, determinarão a probabilidade de ocorrência e a condição de risco. Para análise econômica de diferentes sistemas de restauração ecológica, foi montado o fluxo de caixa descontado e realizada a simulação de risco pela simulação do método de Monte Carlo para identificar as variáveis mais críticas que influenciam no valor presente líquido (VPL) a fim de averiguar a viabilidade dos sistemas de restauração. Os sistemas avaliados foram: semeadura direta (SEM), composto por 5 espécies de rápido crescimento; agroflorestal (SAFM), com 20 espécies de rápido e lento crescimento; consórcio para madeira serrada e lenha (CMLM), com 25 espécies de rápido e lento crescimento. Pela análise de agrupamento, foi constatado o grupo de manejo para cada sistema e, estimada a receita para venda da madeira em pé e pelo estoque de carbono. As incertezas associadas aos projetos financeiros indicaram que estes sistemas de restauração ecológica não são viáveis economicamente aos 19-20 anos, com base na proposta de manejo florestal sustentável adotado. Porém, o menor risco é obtido com o SEM que é o sistema com baixo custo de implantação e menor complexidade no arranjo e composição de espécies.

Palavras-chave: Ativos Florestais, Monte Carlo, Fluxo de Caixa, Mata Atlântica, Lei Florestal

CHAPTER 2: ECONOMIC EVALUATION OF THE ECOLOGICAL RESTORATION SYSTEMS OF SEMIDECIDUOS SEASONAL FOREST FOR LEGAL RESERVE

ABSTRACT

Ecological restoration models must foresee the economic aspects, in addition to the ecological goals and environmental services, which is emphasized in the current Brazilian forestry legislation, for the restoration areas for the Legal Reserve. Sustainable forest management combined with the system's species arrangement and composition, should include silvicultural techniques that allow the economic income for landholder. Forestry investment projects are characterized by uncertainties, since they have a high initial investment, with a long immobilization time period which will determine the probability of risk occurrence and the risk condition. For the economic analysis of different ecological restoration systems, the discounted cash flow was built and the risk estimation was performed by the Monte Carlo simulation to identify the most critical variables influencing the net present value (NPV) in order to ascertain the viability restoration systems. The systems evaluated were: direct seeding (SEM), composed of 5 fast growing species; agroforestry (SAFM), with 20 species of fast and slow growth; timber and firewood commercial species plantation (CMLM), with 25 species of fast and slow growth. We selected the most promising species group by cluster analysis, and the revenue for sale of standing trees and carbon stocks were estimated. The uncertainties associated with the financial projects indicated that these ecological restoration systems are not economically viable at 19-20 years, based on the proposal for sustainable forest management adopted. However, the lowest risk is obtained with SEM, which is the system with low implementation cost and less complexity in the arrangement and composition of species.

Key words: Forests Assets, Monte Carlo, Cash Flow, Atlantic Forest, Forest Law

2.1 INTRODUÇÃO

Em razão do contexto socioeconômico das áreas de domínio do bioma Mata Atlântica será promissor o manejo sustentável das áreas de Reserva Legal (RL), que em cumprimento a Lei Federal 12.651/ 2012 (BRASIL, 2012) correspondem a 20% da área total de cada propriedade privada com mais de quatro módulos fiscais. Esta prática já é realidade no bioma Amazônia, cuja área de RL é de 80% da área total de cada propriedade privada e as áreas de RL se concentram em vegetação primária, e não em áreas de vegetação secundária ou principalmente em ecossistemas em processos de restauração ecológica, como é o caso da Mata Atlântica.

Apesar da Mata Atlântica possuir 24 milhões de hectares de vegetação excedente para possível compensação, toda esta área está protegida de desmatamento em função da Lei 11.428/ 2006 (BRASIL, 2006), que protege o bioma. Dado o grande excedente de vegetação nativa para a maior parte dos biomas brasileiros, é razoável supor que o cumprimento das exigências de RL ocorrerá majoritariamente via instrumentos de compensação e que a restauração em escala somente deva ocorrer na Mata Atlântica (GUIDOTTI et al., 2017).

De todo modo, ainda há 19 milhões de hectares de déficit de vegetação nativa para o cumprimento da Lei 12.651/ 2012 (BRASIL, 2012), sendo 11,2 milhões de RL e no mínimo 8,1 milhões de Área de Preservação Permanente (APP) (GUIDOTTI et al., 2017). Em outros levantamentos feitos anteriormente ao Cadastro Ambiental Rural (CAR, 2018), o déficit de RL foi estimado como sendo de 4 a 6 vezes superior ao déficit de APP (SPAROVEK et al., 2011, SOARES-FILHO et al., 2014). Soares-Filho et al. (2014) indicaram um déficit de cerca de 21 milhões de hectares em todas as regiões biogeográficas brasileiras. Desse total, cerca de 16,4 milhões de hectares estão em RL e o restante em APP.

O Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), principal instrumento de implementação da Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg, 2017) propõe a restauração de 12 milhões de ha de vegetação nativa até 2030, visando cumprir parte da Lei Federal 12.651/ 2012 (BRASIL, 2012). Segundo o Planaveg (2017), a maior parte da meta de recuperação da vegetação nativa está concentrada na Amazônia (38%) e Mata Atlântica (38%).

O estudo de Gusson et al. (2016) calculou que a meta dos 12 milhões de hectares requer um investimento entre R\$ 31 e 52 bilhões em 14 anos. Porém, estes montantes podem variar quando consideradas as diferentes fitofisionomias, regiões e técnicas de restauração (BENINI; ADEODATO, 2017). Para tanto, a avaliação econômica é feita a fim de verificar a viabilidade dos projetos de investimento, por meio de parâmetros indicativos (SIMIONI; HOEFLICH, 2006).

Dentre os métodos de avaliação, os mais utilizados são baseados nos valores projetados de fluxos de caixa descontados por uma taxa que reflita o risco inerente (CABRAL et al., 2014). A análise do fluxo de caixa descontado é uma extensão da análise simples do fluxo de caixa e leva em conta o valor do dinheiro no tempo (HERBOHN; HARRISON, 2002). Os projetos de investimento apresentam muitos desafios, como a identificação dos itens relevantes para o fluxo de caixa e como eles devem ser estimados, a determinação da taxa de desconto e outros pontos do modelo financeiro (HARRISON; HERBOHN, 2016).

As condições de incertezas em relação ao ambiente econômico dificultam o processo de tomada de decisão. No caso dos plantios florestais, a complexidade é ainda maior, devido às características de investimentos de médio a longo prazo e que envolvem um alto capital imobilizado na implantação do projeto. Uma das alternativas que podem ser utilizadas pelos investidores é a transformação das incertezas em risco (SILVA et al., 2014).

O conhecimento dos riscos é importante, pois ajuda a descobrir como as variáveis mais relevantes afetam o investimento em termos econômicos e financeiros. Para isso, a análise de risco permite quantificar os riscos, por conseguinte, a adoção de medidas mitigadoras para minimizar impacto negativo (PLATON; CONSTANTINESCU, 2014). Dessa forma, a análise quantitativa do risco, usando a simulação pelo método de Monte Carlo, oferece ao usuário um método poderoso e preciso para abordar as várias incertezas associadas às atividades de um empreendimento (SILVA et al., 2014), pela geração de números pseudoaleatórios para simular os valores das variáveis sujeitas a incerteza, as quais serão quantificadas para a tomada de decisão (HERRADOR; GONZÁLEZ, 2004)

A proposta de sistemas, técnicas e manejo que reduzam os custos e promovam a renda através da restauração torna-se imprescindível para o sucesso dos programas de restauração em larga escala (ENGEL; PARROTTA, 2000; RODRIGUES et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011), uma vez que estudos demonstram que as

plantações florestais mistas para a produção de madeira são um dos poucos meios pelos quais grandes áreas abertas ou paisagens degradadas podem ser reflorestadas em grandes extensões (LAMB, 1998; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; CHADZON et al., 2008).

Para a restauração ser atraente para as comunidades locais, ela precisa fornecer benefícios socioeconômicos. Os benefícios socioeconômicos do reflorestamento não precisam necessariamente ser diretos e podem incluir "impactos negativos evitados" (DIHLE et al., 2011), como a emissão evitada de gases de efeito estufa (GEE), falta de água futura, erosões de solo. Desta maneira, a restauração da vegetação nativa em larga escala carrega a produção dos diversos serviços ecossistêmicos (ENGEL, 2016). Dessa forma, o Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) pode ser uma ferramenta futura para incentivar o reflorestamento, restauração, conservação e mudanças no uso da terra, melhorando o desenvolvimento rural (MONTAGNINI; FINNEY, 2011).

Neste sentido, torna-se indispensável a adoção de métodos quantitativos de análise de investimentos em ativo florestal, para a tomada de decisões direcionadas aos projetos de restauração ou como alternativa de manejo a serem adotados. Contudo, estes projetos possuem incertezas associadas, as quais podem ser analisadas por meio de técnicas que permitam a quantificação dos riscos intrínsecos.

Preconiza-se que os sistemas de restauração aos 19-20 anos de restauração ecológica permitam o retorno econômico do capital investido ou ao menos, cubram os custos. Neste sentido, o objetivo foi analisar a viabilidade econômica de três projetos de investimentos destinados à restauração ecológica da RL, sob condições de incerteza, executando o Método de Monte Carlo para mensuração dos riscos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 *Dados silviculturais*

Avaliamos os sistemas de restauração ecológica (tratamentos) descritos no Capítulo 1 e que proporcionaram os maiores volumes de madeira, bem como maior densidade de indivíduos para as espécies a serem manejadas, de acordo com a análise de agrupamento (descrita no Capítulo 1). São eles: consórcio de madeira

serrada e lenha (CMLM), agroflorestal (SAFM) e semeadura direta (SEM), já descritos no item 1.2.1 do Capítulo 1.

Os indivíduos foram selecionados de acordo com a abundância em seus respectivos sistemas de restauração, conforme o processamento e análise de dados descrito no item 1.2.4 do Capítulo 1. Foram selecionados a partir da distribuição diamétrica de volume de madeira ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), 25% dos indivíduos com DAP ≥ 25 cm (Figura 1.14 A, B, C do Capítulo 1), uma vez que a seleção preconizou o manejo florestal mais conservacionista e o destino da madeira para serraria.

Foi contabilizado o estoque de carbono aos 19-20 anos nos diferentes sistemas de restauração ecológica por meio teor de carbono sugerido por Brown (1997) de 50% de C na matéria seca, também recomendada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2003) e que correspondeu também ao encontrado por Nogueira Junior (2010). O estoque de carbono (C) foi convertido em sequestro de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), assim uma tonelada de Carbono (C) estocada na floresta equivale, aproximadamente, 3,7 toneladas de CO_2e removidos da atmosfera, devido a relação do peso molecular do CO_2 (44/12) para o carbono ($\text{t CO}_2 \cdot \text{t C}^{-1}$), resultando assim no valor de créditos comercializáveis no mercado em $\text{t CO}_2\text{e}$ (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Valores de indivíduos por hectare com DAP ≥ 25 cm, volume de madeira ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) para as espécies mais abundantes e produtivas, e do estoque de carbono ($\text{t C} \cdot \text{ha}^{-1}$) e sequestro de dióxido de carbono ($\text{t CO}_2\text{e} \cdot \text{ha}^{-1}$) em cada sistema de restauração ecológica. Legenda: consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM); agroflorestal 'manejado' (SAFM) e semeadura direta (SEM).

Tratamentos/ Espécies	25% dos indivíduos por hectare com DAP ≥ 25 cm	Volume de madeira ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Estoque de carbono ($\text{t C} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Sequestro de dióxido de carbono equivalente ($\text{t CO}_2\text{e} \cdot \text{ha}^{-1}$)
CMLM			59,90	221,63
<i>A. colubrina</i>	10	10,97		
<i>P. nitens</i>	2	1,21		
<i>E. contortisiliquum</i>	4	2,05		
SAFM			62,16	229,99
<i>A. colubrina</i>	5	6,16		
<i>P. nitens</i>		5,96		
<i>E. contortisiliquum</i>	8	4,56		
SEM			116,14	429,72
<i>S. parahyba</i>	63	45,69		

Para as operações florestais de implantação e os tratos silviculturais foram ponderados os dispêndios com mão de obra (relativo a hora-homem dos auxiliares de

campo e tratoristas), insumos (tais como mudas, sementes, formicidas, herbicidas, combustível e fertilizantes), aluguel de máquinas e equipamentos.

A implantação do sistema de um modo geral, englobou as operações de combate às formigas, preparo do solo (aração e gradagem), controle de plantas invasoras, plantio, replantio e insumos (mudas ou sementes). Os tratamentos silviculturais incluíram as operações de controle de formigas e plantas invasoras de acordo com cada ano e sistema.

Foram contabilizados os dispêndios com os cultivos anuais e enriquecimento com frutíferas e medicinais no SAFM, e o corte raso da espécie *M. caesalpiniiifolia* nos sistemas SAFM e CMLM.

2.2.2 Avaliação econômica

A avaliação econômica foi constituída a partir dos gastos e custos, isto é, desembolsos ocorridos para a implantação dos reflorestamentos e os tratamentos silviculturais, além das receitas geradas ao longo da vida útil dos projetos de investimentos.

Os gastos foram as despesas que causaram êxito, ou seja, propiciam uma compensação produtiva, os quais foram calculados com base em todas as ocorrências de pagamentos. Os custos foram todos os dispêndios relacionados ao processo de produção. Logo, ambos estão associados à implantação dos reflorestamentos e aos tratamentos silviculturais. A correção destes valores foi pautada no Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), portanto, utilizou-se o índice de correção para Dezembro/ 2017, conforme dados disponibilizados pelo Banco Central do Brasil (2018a).

A quantificação das receitas foi pautada no aproveitamento da madeira, sequestro de carbono e do aproveitamento agrícola, sendo este último, específico para o SAFM. Destarte, os valores de mercado da madeira em pé para serraria (R\$. m⁻³) foram obtidos a partir do estudo de Gusson et al. (2016) para cada classe de diâmetro e grupo de espécie. O preço médio do crédito de carbono para a categoria silvicultura e uso da terra foi de 5.1 US\$. t CO₂e⁻¹, de acordo com Forest Trend (2017).

Assim, os projetos de investimentos foram avaliados a partir dos fluxos de caixa descontados (FCD), projetados para um horizonte de 19-20 anos. Por conseguinte, estes fluxos foram descontados a uma taxa de desconto livre de risco, sopesando que

não houve a participação de capital de terceiros. Deste modo, adotou-se o modelo de apreçamento de ativos de capital (CAPM) descrito na Equação 2.1, conforme Assaf Neto et al. (2008), por ser considerada uma taxa livre de risco.

$$K = R_F + \beta(R_M - R_F) + \alpha_{BR} \quad (2.1)$$

Em que: K é a taxa de desconto ajustada ao risco; R_F é a taxa de juros livre de risco (10 anos *T-Bills rates*); β é o risco sistemático da indústria de base florestal; R_M é o retorno esperado da carteira de mercado; $(R_M - R_F)$ é o prêmio pelo risco; α_{BR} é o risco-país.

Segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), a restauração florestal está classificada como atividade econômica 02.20-9 (Produção Florestal - Florestas nativas). Diante disso, estabeleceu-se que a política tributária do produtor rural era o Simples Nacional com receita bruta em 12 meses de até R\$ 180.000,00, deste modo, a alíquota do imposto único foi de 4,0%.

2.2.3 Análise de investimentos em ativos florestais

De acordo com Assaf Neto (1992) o valor presente líquido (VPL) é obtido pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, previstos para cada período do horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento inicial, portanto, este método determina o valor atual de um fluxo de caixa futuro (Equação 2.2).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad (2.2)$$

Em que: VPL é o valor presente líquido (R\$ ha⁻¹); n é a duração do projeto de investimentos; i é a taxa de desconto; I_0 é o investimento processado no momento zero (implantação).

2.2.4 Análise de risco

A modelagem do risco econômico foi fundamentada na distribuição de probabilidades dos valores possíveis para cada variável de entrada (*input*) dos modelos matemáticos. Devido à falta de dados históricos, foi empregada a distribuição

triangular (JOHNSON, 1997), portanto foi delimitado $\pm 15,0\%$ dos valores determinísticos, com base na opinião de especialistas em silvicultura.

Devido à representação inicial das variáveis de interesse (Quadro 2.1), foram ponderadas somente aquelas que apresentaram coeficientes de correlação de *Spearman* inferior a 0,12, calculados previamente.

Quadro 2.1 - Variáveis de interesse de cada sistema de restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM).

SEM	
Inputs	Valor mais provável (R\$)
Implantação sistema ano 0 (R\$. ha ⁻¹)	4.496,94
Tratos silviculturais ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	1.120,24
Tratos silviculturais ano 2 (R\$. ha ⁻¹)	1.035,01
Tratos silviculturais ano 3 (R\$. ha ⁻¹)	674,59
Tratos silviculturais ano 4 (R\$. ha ⁻¹)	221,18
Tratos silviculturais ano 5 (R\$. ha ⁻¹)	221,18
Tratos silviculturais ano 8 (R\$. ha ⁻¹)	110,59
Tratos silviculturais ano 11 (R\$. ha ⁻¹)	110,59
Tratos silviculturais ano 14 (R\$. ha ⁻¹)	110,59
Volume madeira <i>S.parahyba</i> ano 20 (m ³ . ha ⁻¹)	45,69
Preço madeira (em pé) <i>S.parahyba</i> ano 20 (R\$. m ⁻³)	192,91
Sequestro de CO _{2e} ano 20 (t CO _{2e} . ha ⁻¹)	429,72
Preço do CO _{2e} ano 20 (R\$. t CO _{2e} ⁻¹)	16,87
SAFM	
Implantação sistema ano 0 (R\$. ha ⁻¹)	7.647,49
Tratos silviculturais ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	822,70
Plantio milho ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	934,21
Produção de milho ano 1 (Kg. ha ⁻¹)	830,00
Preço milho (R\$. kg ⁻¹)	1,40
Plantio feijão ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	973,86
Produção de feijão ano 1 (Kg. ha ⁻¹)	65,30
Preço feijão (R\$. kg ⁻¹)	4,50
Plantio mandioca ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	517,38
Preço mandioca (R\$. Kg ⁻¹)	1,17
Produção de mandioca (Kg. ha ⁻¹)	21,60
Tratos silviculturais ano 2 (R\$. ha ⁻¹)	465,54
Plantio feijão ano 2 (R\$. ha ⁻¹)	413,56
Plantio mandioca ano 2 (R\$. ha ⁻¹)	328,08
Tratos silviculturais ano 3 (R\$. ha ⁻¹)	465,54
Tratos silviculturais ano 4 (R\$. ha ⁻¹)	116,11
Tratos silviculturais ano 5 (R\$. ha ⁻¹)	116,11
Enriquecimento ano 8 (R\$. ha ⁻¹)	6.223,92
Tratos silviculturais ano 11 (R\$. ha ⁻¹)	116,11

Tratos silviculturais ano 14 (R\$. ha ⁻¹)	116,11
Colheita <i>M.caesalpinifolia</i> (lenha) ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	642,67
Preço madeira (lenha) <i>M.caesalpinifolia</i> ano 15 (R\$. st ⁻¹)	38,33
Volume madeira <i>M.caesalpinifolia</i> ano 15 (st. ha ⁻¹)	84,00
Volume madeira <i>E.contortisiliquum</i> ano 20 (m ³ . ha ⁻¹)	4,56
Preço madeira (em pé) <i>E.contortisiliquum</i> ano 20 (R\$. m ⁻³)	192,91
Volume madeira <i>A.colubrina</i> ano 20 (m ³ . ha ⁻¹)	6,16
Preço madeira (em pé) <i>A.colubrina</i> ano 20 (R\$. m ⁻³)	192,91
Volume madeira <i>P.nitens</i> ano 20 (m ³ . ha ⁻¹)	5,96
Preço madeira (em pé) <i>P.nitens</i> ano 20 (R\$ m ⁻³)	155,40
Sequestro de CO _{2e} ano 20 (t CO _{2e} . ha ⁻¹)	229,99
Preço do CO _{2e} ano 20 (R\$. t CO _{2e} ⁻¹)	16,87
CMLM	
Implantação sistema ano 0 (R\$. ha ⁻¹)	7.065,42
Tratos silviculturais ano 1 (R\$. ha ⁻¹)	698,46
Tratos silviculturais ano 2 (R\$. ha ⁻¹)	1.035,01
Tratos silviculturais ano 3 (R\$. ha ⁻¹)	377,85
Tratos silviculturais ano 4 (R\$. ha ⁻¹)	377,85
Tratos silviculturais ano 5 (R\$. ha ⁻¹)	377,85
Tratos silviculturais ano 8 (R\$. ha ⁻¹)	73,73
Tratos silviculturais ano 11 (R\$. ha ⁻¹)	73,73
Tratos silviculturais ano 14 (R\$. ha ⁻¹)	73,73
Colheita <i>M.caesalpinifolia</i> (lenha) ano 15 (R\$. ha ⁻¹)	628,00
Volume madeira <i>M.caesalpinifolia</i> ano 15 (st. ha ⁻¹)	84,00
Preço madeira (lenha) <i>M.caesalpinifolia</i> ano 15 (R\$. st ⁻¹)	38,33
Volume madeira <i>A.colubrina</i> ano 20 (m ³ . ha ⁻¹)	10,97
Preço madeira (em pé) <i>A.colubrina</i> ano 20 (R\$. m ⁻³)	230,41
Volume madeira <i>P.nitens</i> ano 20 (m ³ . ha ⁻¹)	1,21
Preço madeira (em pé) <i>P.nitens</i> ano 20 (R\$. m ⁻³)	192,91
Volume madeira <i>E.contortisiliquum</i> ano 20 (m ³ ha ⁻¹)	2,05
Preço madeira (em pé) <i>E.contortisiliquum</i> ano 20 (R\$ m ⁻³)	155,40
Sequestro de CO _{2e} ano 20 (t CO _{2e} . ha ⁻¹)	221,63
Preço do CO _{2e} ano 20 (R\$. t CO _{2e} ⁻¹)	16,87

Destas, as variáveis de interesse (*inputs*) mais influentes para cada sistema de restauração foram: a implantação do sistema (R\$. ha⁻¹) no ano 0, volume (m³. ha⁻¹) e preço (R\$.m⁻³) da madeira (em pé) de *S. parahyba* no ano 20; tratos silviculturais (R\$.ha⁻¹) no ano 1, 2, 3, 4 e 5; sequestro de CO_{2e} (t. ha⁻¹) e o preço (R\$. t⁻¹) no ano 20, no caso do SEM.

No SAFM, os *inputs* foram: a implantação do sistema (R\$. ha⁻¹) no ano 0; o enriquecimento com medicinais e frutíferas (R\$. ha⁻¹) no ano 8; o preço (R\$. st⁻¹) e volume (st. ha⁻¹) de madeira (lenha) de *M. caesalpinifolia* no ano 15; os tratos silviculturais (R\$. ha⁻¹) no ano 1; preço (R\$. kg⁻¹) do milho; produção de milho (kg. ha⁻¹)

¹) no ano 1; o plantio de milho (R\$. ha⁻¹) no ano 1; o plantio de feijão (R\$. ha⁻¹) no ano 1; produção de feijão (R\$.kg⁻¹) no ano 1.

Para o CMLM, a implantação do sistema (R\$. ha⁻¹) no ano 0; preço (R\$. m⁻³) e volume (st. ha⁻¹) de madeira (lenha) de *M. caesalpinifolia* no ano 15; o preço da madeira (em pé) de *A. colubrina* (R\$. m⁻³) e volume (m³.ha⁻¹) da madeira *A. colubrina* no ano 20; tratos silviculturais (R\$. ha⁻¹) no ano 1, 2 e 5; o sequestro de CO_{2e} (t. ha⁻¹) e preço do CO_{2e} (R\$. t⁻¹) no ano 20 foram os *inputs* do modelo.

O método quantitativo de análise de investimentos em ativos reais, VPL, foi considerado variável de saída (*output*). A simulação estocástica além de permitir a obtenção da distribuição de probabilidade de ocorrência também consente a correlação de Spearman (ρ_s) entre as variáveis estocásticas. Destarte, a análise de sensibilidade foi baseada nos coeficientes de correlação entre o VPL e as variáveis estocásticas (SIMÕES et al., 2016).

As simulações, a estatística descritiva dos dados e o coeficiente de correlação de *Spearman* empregado para verificar o inter-relacionamento das variáveis de entrada foram obtidos por meio do software @Risk Copyright© 2017 Palisade Corporation (2017), com 100.000 iterações simuladas pelo método de Monte Carlo. O gerador de números randômicos utilizado no processo de simulação foi o *Mersenne Twister* conforme Matsumoto e Nishimura (1998), assegurando o mesmo dado inicial.

2.3 RESULTADOS

No fluxo de caixa livre (FCL) gerado para os sistemas de restauração ecológica, temos a maior receita nos anos 19 e 20, com a venda da madeira em pé e do sequestro de carbono para cada sistema de restauração ecológica, ao passo que o maior dispêndio foi no ano 0 com o investimento inicial que corresponde a implantação dos sistemas (Quadro 2.2).

Ainda que se tenha um saldo positivo para o SEM aos 20 anos, é necessário considerar a taxa de desconto ao longo do tempo.

Quadro 2.2 - Fluxo de caixa livre (FCL), em R\$ por hectare por ano, dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM).

ANO	SEM	SAFM	CMLM
0	-4.496,94	-7.647,49	-7.065,42
1	-1.120,24	-2.131,60	-698,461
2	-1.035,01	-900,82	-1.035,01
3	-674,59	-465,53	-377,85
4	-221,17	-116,10	-377,85
5	-221,17	-116,10	-377,85
6	0	0	0
7	0	0	0
8	-110,59	-6.223,92	-73,73
9	0	0	0
10	0	0	0
11	-110,59	0	-73,73
12	0	0	0
13	0	0	0
14	-110,59	0	-73,73
15	0	2.448,65	2.463,32
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	6.463,92	6.681,32
20	15.421,06	---	---
SALDO	7.320,15	-8.689,02	-1.008,99

A taxa de desconto ajustada ao risco (K) foi 8,63%, com base na taxa de juros livre de risco (R_F) de 0,69% emitida pelo Departamento do Tesouro dos EUA para um título de 10 anos, no fator de risco médio (β) 1,20 para produtos florestais, assumindo a carteira de mercado o *S&P Global Timber & Forestry Index* para o mesmo período, que proporciona um retorno esperado (R_M) de 5,19%, e o risco-Brasil (α_{BR}) de 2,54% calculado a partir da média aritmética simples da série diária do índice *Emerging Markets Bond Index Plus* (EMBI+Br) entre janeiro de 2008 e março de 2018.

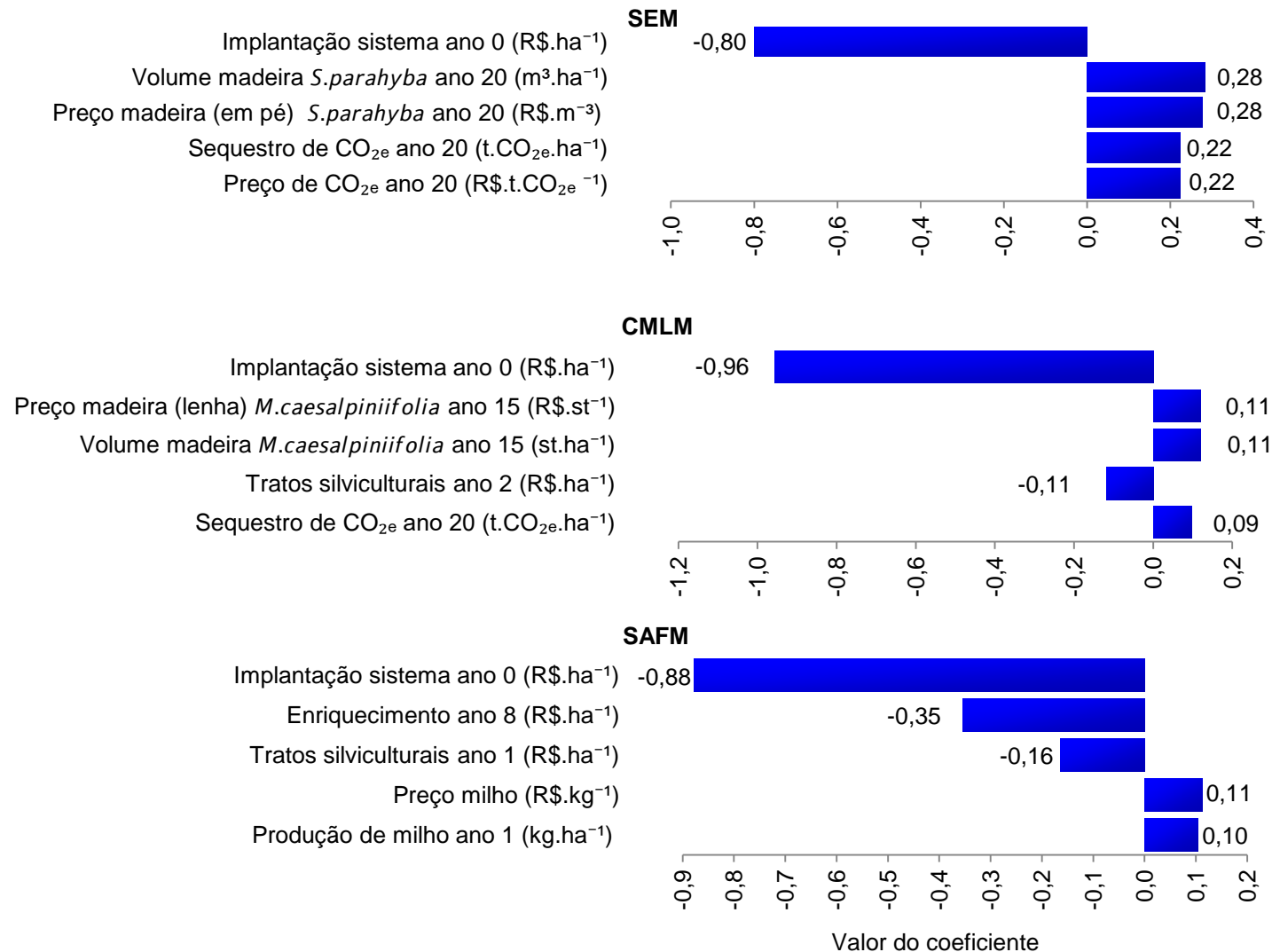
Na Figura 2.1 observa-se as cinco variáveis mais críticas do modelo estocástico, ou seja, que exerceram maior influência no VPL em cada sistema de restauração ecológica. Ao analisar isoladamente a implantação do sistema (SEM), o custo de implantação por ser a variável mais crítica, com correlação negativa forte ($\rho_s = 0,80$) deste sistema, o VPL poderá variar de -R\$4.869,38 a -R\$3.982,02. O preço volume da madeira em pé de *S. parahyba* exerceu correlação positiva moderada ($\rho_s = 0,28$). Em relação ao preço e sequestro de CO₂ e a ser comercializado no ano 20,

constatou-se correlações positivas fracas, por apresentarem coeficiente de correlação ($\rho_s = 0,22$).

Ao sopesar o CMLM, constatou-se que o custo de implantação também foi a variável mais crítica em relação ao VPL, sendo que este pode variar de $-\text{R}\$8.118,78$ a $-\text{R}\$6.889,46$; ademais, apresentou correlação negativa forte ($\rho_s = 0,96$). O preço da madeira em pé e volume de *M. caesalpiniiifolia* no ano 15 resultaram em um valor de associação $\rho_s = 0,11$, ademais, esta correlação foi positiva. Em relação aos tratamentos silviculturais demandados para o ano 2 resultou em um coeficiente de correlação negativo ($\rho_s < 0,11$). O sequestro de CO_2e no ano 20 apresentou correlação negativa ($\rho_s < 0,10$). Ressalta-se que coeficientes de correlação menor que 0,4 podem ser considerados fracos e inferiores a 0,2 podem ser caracterizados como negligenciáveis.

Para o tratamento SAFM, o custo de implantação apresentou uma correlação negativa forte ($\rho_s = 0,88$), sendo, a variável mais crítica em relação ao VPL. Destarte, esta variável indica o VPL poderá variar entre $-\text{R}\$14.062,41$ a $-\text{R}\$12.732,68$ em relação ao valor médio do VPL. O enriquecimento exercido no ano 8 apresentou uma correlação negativa fraca ($\rho_s < 0,35$). Os gastos com tratamentos silviculturais no ano 1 resultaram em coeficiente de correlação negativo fraco ($\rho_s < 0,16$). Em relação às demais variáveis estocásticas, isto é, o preço e a produção do milho, resultaram em coeficientes de correlação positivos negligenciáveis ($\rho_s < 0,11$).

Figura 2.1 - Coeficiente de correlação posto-ordem de Spearman das variáveis de entrada do modelo de simulação estocástico em relação ao valor presente líquido (VPL) probabilístico dos projetos de investimento para a restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM), sistema agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM)



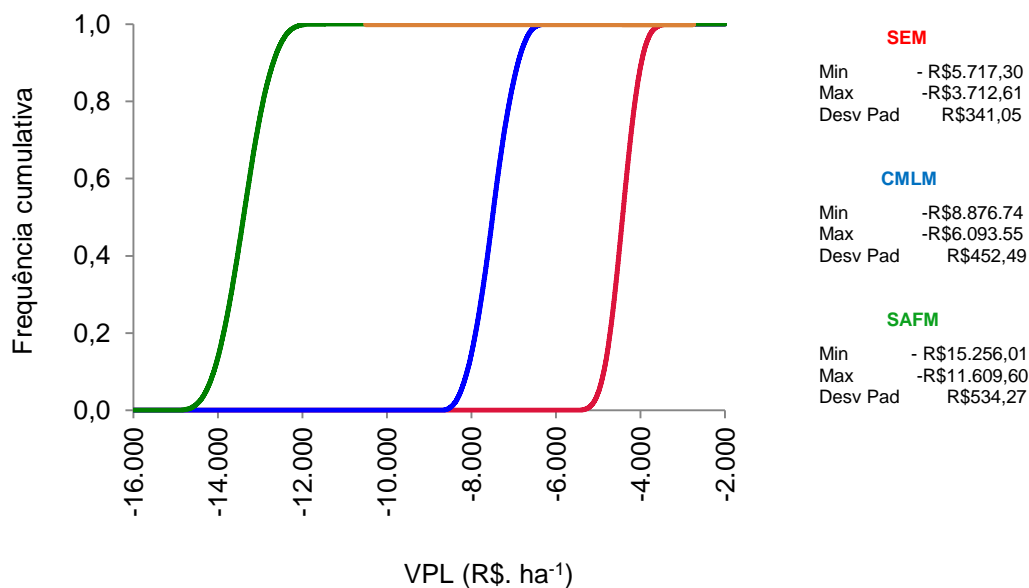
Na Tabela 2.2, ao analisar a distribuição do VPL, constatou-se que os dados simulados para o VPL de cada sistema apresentaram distribuição Normal, em decorrência da assimetria e curtose resultarem em valores próximos a 0 e 3, respectivamente. Os sistemas SEM e CMLM resultaram em uma menor perda econômica devido ao valor médio do VPL ser maior que o valor médio do VPL do SAFM.

Tabela 2.2 - Resumo estatístico em relação ao VPL dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: SEM (semeadura direta); SAFM (agroflorestal) e; CMLM (consórcio madeira serrada e lenha).

Estatística descritiva	SEM	SAFM	CMLM
Valor médio VPL	-R\$4.426,59	-R\$13.397,80	-R\$7.504,87
Assimetria	0,0146	0,0045	0,0051
Curtose	2,74	2,63	2,50

Pela análise da frequência cumulativa do VPL (Figura 2.2) foi possível constatar que para as condições avaliadas, as probabilidades dos VPLs serem maior que zero, isto é, de agregarem valor aos projetos de investimentos, foi nula. O SEM foi o projeto de investimento que propiciou menor perda econômica ao produtor florestal, seguido do SAFM e do CMLM.

Figure 2.2 - Frequência cumulativa do VPL probabilístico dos projetos de investimento para restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (**SEM**), consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (**CMLM**) e sistema agroflorestal 'manejado' (**SAFM**)



2.4 DISCUSSÃO

A estimativa do custo de capital é o elo essencial que nos permite converter um fluxo de receita esperada em uma estimativa de valor presente. Isso nos permite tomar decisões de preços informadas para compras e vendas e comparar uma oportunidade de investimento com outra (PRATT, 2002), a taxa de desconto ajustada ao risco foi 8,63 %. Uma menor taxa de desconto, maximiza o valor presente (TOMAN; ASHTON 1996).

Por meio da correlação de Spearman, foi possível identificar a correlação das variáveis mais críticas que influenciam o VPL dos projetos de investimentos de restauração ecológica, sendo essa uma etapa que permite dispor as variáveis de interesse (*inputs*), por ordem de acuidade e mensurar o grau de correlação, que varia de -1 a 1 (SPEARMAN, 1904; ZHANG et al., 2016).

Em todos os sistemas, o custo de implantação do sistema foi a variável que mais influenciou no VPL, portanto, quanto maior forem os dispêndios com a implantação dos sistemas, menor será o valor monetário agregado ao projeto de investimento. Devido ao aporte demandando para a implantação exercer maior efeito individual, este deverá ser observado com acurácia, para que o produtor florestal não incorra em tomada de decisão equivocada. É importante ressaltar que o cultivo mínimo do solo e o plantio direto são práticas que já vem sendo adotadas e podem reduzir bastante os custos de implantação dos sistemas de restauração (ENGEL, 2000).

No SEM, como o preço da madeira e volume da *S. parahyba* no ano 20 tiveram correlação positiva moderada com o VPL, permitindo determinar diferentes intensidades de manejo ou, até mesmo, inserir um corte seletivo no ano 15, conforme sugerido por Ré (2011), podemos obter uma maior receita para o sistema, e assim, elevar o VPL do mesmo.

Diante do impacto sobre o VPL no SAFM, o enriquecimento com frutíferas e medicinais poderia ser dispensado com vistas à diminuição do custo de produção, o que possibilitaria a economicidade deste projeto de investimentos, visto que é a segunda variável mais importante do modelo estocástico. Porém, deve ser considerada a inesperada entrada de gado nas áreas de restauração após o plantio

(ENGEL, 2017³) interferiu na quantidade de mudas de replantio, e conseqüentemente no custo o que pode ter onerado o custo desta técnica.

Para as variáveis preço e volume de madeira para lenha de *M. caesalpinifolia* as correlações foram positivas, contudo, desprezíveis conforme descrito por Rowntree (1981) por apresentarem valores de associação com o VPL inferiores a $p_s = 0,2$.

Indicando que o corte raso da *M. caesalpinifolia*, proporciona melhores condições ao sistema, pelo recrutamento de indivíduos e incremento na área basal (PODADERA, 2015). Porém a receita advinda desta colheita, ainda é insuficiente para tornar positivo o VPL do projeto de investimento. Possíveis aumentos no valor de venda da madeira encurtariam a rotação, enquanto os aumentos nos custos de replantio podem aumentar o período de investimento (TOMAN; ASHTON 1996).

No CMLM, a produção e venda da madeira para lenha de *M. caesalpinifolia* neste sistema, pode interferir positivamente, no VPL do SAFM, porém uma correlação fraca, necessitando de grandes alterações na produção e preço para que se obtenha uma receita que torne positivo o VPL, sendo o intuito principal desta prática eliminar a espécie exótica, que inicialmente propiciou condições favoráveis ao desenvolvimento das demais e, que através do corte raso, pode aumentar a diversidade e densidade de indivíduos, bem como a área basal (PODADERA, 2015). Já para o preço da madeira de *A. colubrina* foi observada correlação positiva, porém que pode ser considerada desprezível ($p_s < 0,2$) (ROWNTREE, 1981).

A distribuição Normal do VPL pode ser atribuída em decorrência da assimetria e curtose resultarem em valores próximos a 0 e 3, conforme os valores encontrados por Simões et al. (2015) e Simões et al. (2016). O valor médio de VPL não foi positivo sob as condições analisadas nestes sistemas de restauração, sendo necessário implementar estratégias para maximizar o seu valor e tornar os projetos viáveis economicamente, permitindo a aceitação dos mesmos pelos produtores rurais (GIOVANNI; CARLOS; CINDY, 2017).

A intensidade de manejo florestal sustentável proposta dos sistemas de restauração ecológica não permitiu um retorno econômico dos projetos aos 19-20 anos. É sugerido para o manejo de baixo impacto a intensidade de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, que é muito baixa se comparada à possibilidade entre 20 e $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ da exploração individual ou empresarial mecanizada na região amazônica para as

³ ENGEL, V.L. (Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP). Comunicação pessoal, 2017.

florestas primárias (EMBRAPA, 2002), que já possuem estabilidade e estrutura florestal suficientes. De acordo com o Art 23º da Lei Federal nº 12.651/ 2012, na área de Reserva Legal é permitido o manejo sustentável limitado a exploração anual de 20 m³ para a exploração florestal eventual sem propósito comercial. Ao passo que se exceder este valor, caracteriza o manejo florestal sustentável da vegetação da Reserva Legal com propósito comercial (Art 22º), não devendo descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área; bem como assegurar a manutenção da diversidade das espécies. Realçando que apesar de almejado, existe a dificuldade em conciliar os aspectos econômicos e ecológicos das espécies nativas em restauração, mas que podem resultar em fluxos de caixa positivos por meio da combinação de espécies potenciais (NUNES et al., 2015).

As propostas de manejo florestal sustentável para os sistemas de restauração foram estimadas na intensidade de 45,69 m³. ha⁻¹ para SEM, 14,23 m³. ha⁻¹ para SAFM e 16,68 m³. ha⁻¹ para o CMLM, dessa forma, os sistemas de restauração poderiam ser manejados em maior intensidade do que os 25% do volume total por hectare, porém não se sabe se haveria a conservação e manutenção da diversidade, sem descaracterização da vegetação. Ainda que a receita pudesse ser mais alta para se ter o retorno aos 19-20 anos de restauração, sugere-se que se aguarde pelo potencial de retorno das espécies de lento crescimento, com previsão de corte para 30-40 anos.

Para maximizar o rendimento (o rendimento médio ao longo do tempo) ou ter uma renda sustentada é necessário pensarmos em um período de rotação mais longo e uma maior média de idade do estoque em pé, uma vez que aumento no valor da madeira, ocorre através do incremento no diâmetro dos indivíduos (TOMAN; ASHTON 1996; BATISTA et al., 2017), principalmente para os indivíduos de lento crescimento.

A proposta do corte seletivo aos 19-20 anos para estes sistemas de restauração pode ser uma alternativa de manejo adaptativo que visa incrementar o volume dos indivíduos remanescentes, permitindo um período de rotação mais longo aos mesmos, que são espécies de ciclo de crescimento mais lento e, que podem atenuar o valor presente futuro. Além desta prática, outras práticas intensivas de manejo silviculturais (CAMPOE; STAPE; MENDES, 2010) podem ser incorporadas aos modelos afim de otimizar os ganhos em estoque, como a poda, controle de invasoras, fertilização química ou adubação orgânica, entre outras, mas que certamente, contribuiriam também por onerar os custos dos sistemas.

De acordo com Engel (2000; 2016) quando as espécies plantadas forem gradualmente removidas sem prejuízos à regeneração do sub-bosque, uma floresta secundária pode se desenvolver mais rápido e fornecer os benefícios diretos. Assim é possível manejar as florestas plantadas para que forneçam os serviços ecossistêmicos e, que possam acelerar o processo de sucessão secundária induzindo à regeneração da vegetação nativa na área manejada, e permitam o incremento dos remanescentes.

O manejo florestal sustentável pode aumentar o valor econômico das florestas aliado à conservação da biodiversidade e à manutenção do estoque de carbono. Porém, a sustentabilidade não é sempre assegurada quando o manejo não está intimamente ligado com os processos de regulação da floresta. Aos 20 anos de monitoramento de colheita, os resultados suportam que as taxas reposição de biomassa e volume de madeira são mais rápidos na exploração de impacto reduzido quando corretamente aplicadas do que na colheita de madeira convencional na Floresta Amazônica (VIDAL; WEST; PUTZ, 2016).

Outros custos não foram mencionados em virtude da especificidade para cada projeto de restauração ecológica, como os custos de cerca, quando necessário para evitar a entrada de animais. Também não foram contabilizados a certificação da madeira, bem como assessoria necessária ao desenvolvimento dos planos de manejo sustentável.

Os projetos de restauração melhoram a produtividade da terra, através da melhora da qualidade do solo e da água, aumentando o valor da terra e as oportunidades para o ganho de capital. Se considerarmos apenas os rendimentos mensuráveis de projetos de restauração florestal através da venda da madeira ou créditos de carbono, arriscamos menosprezar os retornos de capital de outros serviços ecossistêmicos suporte, provisão, regulação e culturais que não foram contabilizados, como a provisão de produtos florestais não-madeireiros.

A medida que a restauração desponta como uma oportunidade promissora de investimentos, é importante considerar ambos tipos de retornos para entender o verdadeiro potencial das áreas restauradas.

2.5 CONCLUSÕES

Os sistemas de restauração aos 19-20 anos não apresentaram viabilidade econômica e, logo, o retorno econômico propiciado não é suficiente para gerar excedentes sobre o investimento, porém ao menos permitiu amortizar estes dispêndios.

O custo de implantação é a variável que exerce maior influência em projetos de investimento para restauração da Reserva Legal.

O método de simulação de Monte Carlo permite identificar as variáveis mais relevantes dos projetos de investimentos em restauração ecológica, por conseguinte, propicia ao produtor florestal a adoção de medidas mitigadoras.

Diante do exposto, é possível observar a dificuldade em conciliar o manejo florestal sustentável em projetos de restauração ecológica, para alcançar a biodiversidade e o retorno econômico direto.

2.6 REFERÊNCIAS

ASSAF NETO, A. Os Métodos Quantitativos de Análise de Investimentos. **Caderno de Estudos**, n.6, São Paulo, FIECAFI – Outubro/1992.

ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 72-83, 2008.

Banco Central do Brasil. Calculadora do cidadão. 2018. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/pefi300/telaCtjSelecao.paint>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2018a.

Banco Central do Brasil. Estatísticas econômico-financeiras. 2018. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/pefi300/telaCtjSelecao.paint>>. Acesso em: 08 de abril de 2018b.

BATISTA, A. et al. Verena investment tool: valuing reforestation with native tree species and agroforestry systems. WRI Brasil, **Technical note**, 2017, 48 p.

BENINI, R.M.; ADEODATO, S. O desafio econômico de recobrir o Brasil. In: Economia da Restauração Florestal. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017, 136 p.

BRASIL, Lei 11.428/ 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2006/lei-11428-22-dezembro-2006-548704-norma-pl.html>>. Acesso em: 27 de maio de 2016.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 21 agosto 2016

BRASIL. Proveg. Decreto nº 8972/ 2017. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d8972.htm >. Acesso em 14 março de 2017

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Rome: FAO, 55 p, 1997.

CABRAL, L. L.; CUNHA, M. F.; RECH, I.J.; MACHADO, C. A. Custo do capital próprio como taxa de desconto na avaliação de empresas no Brasil: evidências entre a teoria e a prática de mercado. **Revista Contabilidade**. UFBA, Salvador-BA, v. 7, n. 3, p. 05 - 22, dezembro-março 2014.

CAR. Cadastro Ambiental Rural. Consulta pública. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em 23 de abril de 2018.

CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; MENDES, J.C.T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1808-1814, 2010.

CHADZON, R.L. et al. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*, v.320, p.1458-1460, 2008.

DIHH LE, H. More than just trees: Assessing reforestation success in tropical developing countries, **Journal of Rural Studies**, v 28, n.1, p. 5-19, 2011.

EMBRAPA. Solução tecnológica recomendada: Sistema de manejo florestal de baixo impacto em pequenas propriedades, 2002. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1347/sistema-de-manejo-florestal-de-baixo-impacto-em-pequenas-propriedades>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2017.

ENGEL, V.L. Restaurando florestas tropicais. **Revista Opiniões**, ano 13, n.44, divisão F, jun-ago, 2016.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Restauração de ecossistemas florestais, Parte I. **Agroecologia Hoje**, v.1, n.4, p.22-23, ago-set, 2000.

FOREST TREND. Unlocking potencial - State of the Voluntary Carbon Markets 2017, 52 p, maio/ 2017. Disponível em: < http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_5591.pdf>. Acesso em: 17 de dezembro de 2017.

GIOVANNI, F.S.; CARLOS, C.; CINDY, P. NPV risk simulation of an open pit gold mine project under the O'Hara cost model by using GAs. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 27 p. 557–565, 2017.

GUIDOTTI, V. et al. Números detalhados do novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs. **Sustentabilidade em debate**, Imaflora, 2017.

GUSSON, E. et al. Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de floresta? **Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura**. Instituto Escolhas: São Paulo- SP, p.125, 2016.

HARRISON, S.; HERBOHN, J. Financial Evaluation of Forestry Investments: Common Pitfalls and Guidelines for Better Analyses. **Small-scale Forestry**, v.15 p. 463 -479, 2016.

HERBOHN, J; HARRISON, S. Introduction to Discounted Cash Flow Analysis and Financial Functions in Excel. **Socio-economic Research Methods in Forestry**, cap. 11, p.109-118, 2002.

HERRADOR M· A., GONZÁLEZ AG. Evaluation of measurement uncertainty in analytical assays by means of Monte-Carlo simulation. **Talanta**, v. 8, n. 64(2) p. 415-22, 2004.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, 2003.

JOHNSON, D. The triangular distribution as a proxy for the beta distribution in risk analysis. **The statistician**, v.46, n.3, p.387-398, 1997.

LAMB, D. Large-scale ecological restoration of degraded tropical forest lands: the potential role of timber plantations. **Restoration Ecology**, v.6, n.3, p.271-279, 1998.

LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, Washington, v.310, p.1628-1632, 2005.

MATSUMOTO, M.; NISHIMURA, T. Mersenne Twister: a 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, New York, vol. 8, n. 1, p. 3-30, mar. 1998.

MONTAGNINI, F.; FINNEY, C. Payments for environmental services in Latin America as a tool for restoration and rural development, **Ambio**, v. 40, n. 3, p. 285-97, mai-2011.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica. 94 p. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2010.

NUNES, M.H. et al. Forest management for economical and ecological development in Legal Reserve areas in Brazil. In: XIV WORLD FORESTRY CONGRESS, Durban, South Africa, 7-11 September 2015.

PALISADE CORPORATION. @Risk. Newfield: Palisade Corporation. Versão 7.5.2, 2017.

PLANAVEG. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação – Brasília, DF: MMA, 2017. 73p.

PLATON, V.; CONSTANTINESCU, A. Monte Carlo Method in risk analysis for investment projects. **Procedia Economics and Finance**, v.15, p. 393 – 400, 2014.

PODADERA et al. Influence of removal of a non-native tree species *Mimosa caesalpinifolia* Benth. on the regenerating plant communities in a tropical semideciduous forest under restoration in Brazil, **Environmental Management**, v. 56, p.1148–1158, 2015.

PRATT, S. P. Cost of capital: estimation and applications. 2ª ed: United States, 354p, 2002.

RÉ, D.S. Equações volumétricas e produção de madeira em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. 57 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

RODRIGUES, R.R., et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.261, p. 1605–1613, 2011.

RODRIGUES, R.R., et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experiences in the Brazilian Atlantic Forest. **Biol. Conserv.** 142, 1242–1251, 2009.

ROWNTREE, D. Statistics without tears. A primer for non-mathematicians. 199 p.1981

SILVA, C. S. J. et al. Viabilidade econômica e rotação florestal de plantios de candeia (*Eremanthus erythropappus*), em condições de risco. **Cerne**. 20(1):113-122, 2014.

SIMIONI, F.J. E HOEFLICH, V.A. Avaliação de risco em investimentos florestais. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n 52, p. 79-92, 2006.

SIMIONI, F.J. E; HOEFLICH, V.A. Avaliação de risco em investimentos florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo n 52, p. 79-92, 2006.

SIMÕES D., DANILUK G.A.M., BATISTELA G.C., PASSOS J.R., FENNER P.T. Quantitative analysis of uncertainty in financial risk assessment of road transportation of wood in Uruguay. **Forests Basel**, v. 7 p. 130-141, 2016.

SIMÕES et al. Análise econômico-financeira de aviários para a integração de frangos de corte sob condições de risco. **Ciências Agrotecnológicas**, Lavras, v.39, n.3, p.240-247, maio/jun., 2015.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v.344, 363-364, 2014.

SPAROVEK, G. et al. The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? **Environmental Science & Policy**, v.16, p.65-72, 2012.

SPEARMAN, C. General intelligence, objectively determined and measured. **American Journal of psychology**, v. 15, p. 201-293, 1904.

TOMAN, M.A.; ASHTON, M.S. Sustainable forest ecosystems and management: A Review Article. **Forest Science**, v. 42, n. 3, p. 366-377, August 1996.

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

ZHANG, WEN-YAO; WEI, ZONG-WEN; WANG, BING-HONG; HAN, XIAO-PU. Measuring mixing patterns in complex networks by Spearman rank correlation coefficient. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 451, p.440-450, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados são dependentes do contexto da paisagem, em termos de qualidade do sítio, podemos afirmar que o volume de madeira é influenciado pelas propriedades edáficas, ao passo, que o mesmo não ocorre para a biomassa arbórea, uma vez que seu estoque engloba o aporte de raízes, folhas e galhos. Para tanto, quando se espera produzir madeira em áreas de RL, se atentar a condicionar o solo para aumentar a produção e manter os cuidados silviculturais de condução de fuste.

O sistema menos complexo e de menor custo foi mais produtivo que os sistemas mais complexos, e ainda tem um maior VPL, comparado aos demais sistemas voltados ao manejo florestal sustentável.

As florestas de restauração ecológica com objetivo primário da restauração não foram viáveis do ponto de vista econômico, aos 19-20 anos de idade, para a proposta de manejo florestal sustentável estudada. Porém, espera-se que aos 30-40 anos este quadro possa se reverter, quando as espécies de lento crescimento atingirem os diâmetros mínimos para fins mais nobres e o corte das mesmas venha amortizar os custos de implantação destes sistemas através de suas receitas potenciais.

Como as áreas destinadas à restauração são muitas vezes áreas de baixa aptidão agrícola, nas quais a possibilidade de geração de renda ou ao menos a possibilidade de empatar o investimento e cobrir o dispêndio, nestas áreas que devem ser restauradas para o cumprimento da legislação brasileira, já passa a ser um grande incentivo.

A metodologia utilizada para avaliação econômica é a mais utilizada convencionalmente para análises de investimentos. Além da restauração das RL ser um investimento, é uma obrigação do produtor rural com mais de quatro módulos fiscais. Esta análise permitiu verificar a importância destas áreas para a geração de renda por meio do uso sustentável, com retorno a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- BENINI, R.M.; ADEODATO, S. O desafio econômico de recobrir o Brasil. In: Economia da Restauração Florestal. São Paulo: The Nature Conservancy (TNC), 2017, 136 p.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 21 agosto 2016.
- BRACALION et al. Finding the money for tropical forest restoration. **Unasyuva** 239, v. 63, p.25-34, 2012.
- CARVALHÃES, M. et al. A legal compliance as a forest inductor? The possible role of non-timber forest products in ecological and economic forests in Brazil. In: XIV WORLD FORESTRY CONGRESS, 2015, Durban, South Africa. *Anais...* p.7-11, set-2015.
- DIXON, R.K., et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, Washington, v.263, p. 185-190,1994.
- ENGEL, V. L. Princípios silviculturais aplicados à restauração ecológica. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, v. 45, p. 7-9, 2011.
- ENGEL, V. L. Restauração ecológica de florestas tropicais: aliando benefícios ecológicos, econômicos e sociais. **Revista Opiniões sobre o Setor de Celulose, Papel e Floresta**, Ribeirão Preto, SP, mar-mai, p. 11 - 11, maio 2007.
- ENGEL, V.L. Manejo sustentável e restauração florestal. In: Seminário temático sobre recuperação de áreas degradadas: a Resolução SMA 21 de 21/11/2001 como recurso gerencial para a recuperação de áreas degradadas: avanços obtidos e perspectivas futuras, São Paulo. *Anais...*Instituto de Botânica: São Paulo, p. 21-31, 2003.
- ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYANAM P.Y. et al. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Florestais, p. 3-26, 2008.
- ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. Restauração de ecossistemas florestais, Parte I. **Agroecologia Hoje**, v.1, n.4, p.22-23, ago-set, 2000a.
- ENGEL, V.L; PARROTTA, J.A. Sistemas alternativos de plantio para a restauração de ecossistemas florestais da Mata Atlântica em Botucatu, Parte II. **Agroecologia Hoje**, v.1, n.5, p. 10-11, out-nov, 2000b.
- FAO. States of the World's Forests. Roma, 2012. 47 p. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, London, v. 92, p. 189-202, 2004.

LAMB, D. Large-scale ecological restoration of degraded tropical forest lands: the potencial role of timber plantations. **Restoration Ecology**, v.6, n.3, p.271-279, 1998.

LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, Washington, v.310, p.1628-1632, 2005.

MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 149-154, ago-2006.

MONTAGNINI F, FINNEY C. Payments for environmental services in Latin America as a tool for restoration and rural development, **Ambio**, v. 40, n. 3, p. 285-97, mai-2011.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. et al. Equações alométricas para estimativa da biomassa arbórea em plantios mistos com espécies nativas na restauração da Mata Atlântica. **Biota Neotropica**, vol.14, n.2, 2014.

ONOFRE, F. F.; ENGEL, V. L. Retirada de árvores de eucalipto para favorecer a regeneração natural da Floresta Ombrófila Densa. In: Giselda Durigan; Viviane Soares Ramos. (Org.). **Manejo Adaptativo: primeiras experiências na restauração de ecossistemas**. 1ed. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, p. 31-34, 2013.

PIOTTO, D. et al. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. **New Forests**, v. 39, p. 369–385, 2010.

PLANAVEG. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação – Brasília, DF: MMA, 73 p, 2017.

PODADERA et al. Influence of removal of a non-native tree species *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. on the regenerating plant communities in a tropical semideciduous forest under restoration in Brazil, **Environmental Management**, v. 56, p.1148 –1158, 2015.

RÉ, D.S. et al. Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da Floresta Estacional Semidecidual. **Cerne**, vol.21, n.1, p.133-140, 2015.

SCOLFORO, J.R.S. Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não linear: parte II: modelos de relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/ FAEPE, 352 p, 2005.

APÊNDICE A - Parâmetros por espécie do sistema de restauração consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM), Botucatu-SP.

Legenda: DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); AB = área basal (m².ha⁻¹); VT = volume total estimado (m³.ha⁻¹); HT= altura média total (m) ± desvio-padrão; DAP = diâmetro médio a altura de 1,30 do solo (cm) ± desvio-padrão; IMA = incremento médio anual (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

Nome Científico	Nome Comum	DA	AB	VT	HT	DAP	IMA
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-bravo	107	6,918	51,9285	14,3 ±6,9	22,2 ±16,8	2,733079
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	74	1,886	10,8721	11,6 ±3,3	14,4 ±8,2	0,572216
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	63	1,962	10,6822	9,2 ±5,1	16,8 ±11,0	0,562221
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula	19	0,950	5,0506	12,6 ±1,5	19,4 ±10,2	0,265821
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	56	0,783	3,4040	9,3 ±2,6	12,3 ±4,2	0,179158
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	85	0,752	3,4031	9,2 ±2,5	10,1 ±3,4	0,179111
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	cabreúva-vermelha	15	0,373	2,5385	14,5 ±5,1	16,8 ±7,2	0,133605
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	22	0,451	2,4616	11,5 ±3,4	13,8 ±6,0	0,129558
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	100	0,547	1,8810	7,1 ±1,2	7,6 ±1,8	0,099000
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	lixeira	26	0,260	1,2320	10,0 ±2,6	9,3 ±3,8	0,064842
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth	sansão-do-campo	30	0,290	1,2293	9,0 ±1,3	7,6 ±2,1	0,064700
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	ipê-felpudo	37	0,300	1,1553	8,1 ±1,7	9,0 ±2,5	0,060805
<i>Handroanthus avellanadae</i> (Lorentz ex Griseb.) Mattos	ipê-roxo	22	0,198	0,8329	8,7 ±2,9	10,3 ±3,1	0,043837
<i>Psidium guajava</i> L.	goiaba	56	0,328	0,8298	4,7 ±1,8	7,4 ±2,4	0,043674
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau- jacaré	15	0,114	0,6301	8,5 ±4,9	8,6 ±5,6	0,033163
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira	4	0,132	0,5678	9,5 ±0,0	8,5 ±1,9	0,029884
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	peroba-poca	19	0,150	0,5324	7,6 ±1,2	10,0 ±1,7	0,028021
<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	cabreúva	11	0,104	0,4666	10,1 ±1,1	10,8 ±1,8	0,024558
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba	30	0,116	0,3538	6,4 ±1,3	7,0 ±1,3	0,018621
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	araribá	7	0,104	0,3140	6,8 ±0,0	13,4 ±0,0	0,016526
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	fumo-bravo	11	0,059	0,1958	7,1 ±0,6	8,1 ±1,8	0,010305
<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	ipê-branco	4	0,036	0,1896	12,1 ±12,1	11,1 ±11,1	0,009979
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	mutamba	7	0,059	0,1877	7,0 ±0,9	10,1 ±0,6	0,009879
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixingui	11	0,044	0,1449	6,9 ±0,6	7,0 ±1,1	0,007626
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	pau-marfim	11	0,036	0,1368	7,8 ±0,9	6,2 ±1,9	0,007200

<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba	4	0,026	0,1157	9,8	±9,8	9,5	±9,5	0,006089
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	tamanqueiro	7	0,035	0,1085	6,1	±1,6	7,5	±3,0	0,005711
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	chal-chal	7	0,024	0,0855	7,5	±1,2	6,4	±0,4	0,004500
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canelinha	11	0,025	0,0848	6,9	±0,7	5,4	±0,5	0,004463
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Sprengel) Vega & Dematteis	assa-peixe	7	0,027	0,0704	5,6	±1,0	6,8	±0,9	0,003705
<i>Guarea</i> sp. F. Allam. ex L.	marinheiro	7	0,020	0,0600	6,2	±0,6	5,8	±0,7	0,003158
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	urtiga	4	0,018	0,0525	6,3	±6,3	7,8	±7,8	0,002763
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	tamanqueira	4	0,014	0,0434	6,4	±6,4	7,0	±7,0	0,002284
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	olho-de-cabra	4	0,008	0,0375	9,2	±9,2	5,4	±5,4	0,001974
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola	4	0,012	0,0356	6,2	±6,2	6,4	±6,4	0,001874
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	tapiá, tapiá-guaçu	7	0,016	0,0355	4,5	±0,0	5,2	±0,0	0,001868
<i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl.	jangada-brava	4	0,008	0,0280	7,3	±7,3	5,2	±5,2	0,001474
<i>Piper amalago</i> L.	piper	4	0,007	0,0223	6,2	±6,2	5,0	±5,0	0,001174
TOTAL		915	17,192	102,0000					5,368421

APÊNDICE B - Parâmetros por espécie do sistema de restauração consórcio de madeira serrada e lenha 'testemunha' (CMLT), Botucatu-SP.

Legenda: DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); AB = área basal (m².ha⁻¹); VT = volume total estimado (m³.ha⁻¹); HT= altura média total (m) ± desvio-padrão; DAP = diâmetro médio a altura de 1,30 do solo (cm) ± desvio-padrão; IMA = incremento médio anual (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

Nome Científico	Nome Comum	DA	AB	VT	HT	DAP	IMA
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth	sansão-do-campo	119	6,390	28,3857	9,9 ±3,3	12,4 ±4,5	1,493984
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	67	2,179	11,8929	8,9 ±5,5	16,7 ±11,1	0,625942
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	63	1,661	9,1562	11,8 ±3,8	14,4 ±7,4	0,481905
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-bravo	56	1,296	7,3667	11,4 ±3,6	15,3 ±8,1	0,387721
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	85	0,984	4,8260	9,4 ±2,9	10,5 ±5,7	0,254000
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	22	0,547	3,7282	11,6 ±6,2	12,9 ±8,8	0,196221
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	lixeira	22	0,436	2,5701	11,2 ±5,7	10,8 ±6,0	0,135268
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	22	0,327	2,0208	9,4 ±5,7	11,5 ±8,2	0,106358
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	85	0,528	1,9414	7,6 ±1,7	7,7 ±2,4	0,102179
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	cabreúva vermelha	15	0,312	1,9061	13,9 ±2,6	15,7 ±5,2	0,100321
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau-jacaré	15	0,201	1,7439	12,1 ±9,4	10,8 ±8,6	0,091784
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula	26	0,263	1,0998	8,0 ±2,8	9,7 ±4,6	0,057884
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba	30	0,269	1,0491	7,9 ±2,1	9,7 ±3,0	0,055216
<i>Psidium guajava</i> L.	goiaba	67	0,270	0,6506	4,9 ±1,8	6,9 ±1,4	0,034242
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira	4	0,105	0,6444	14,8 ±0,0	11,7 ±9,4	0,033916
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	embira-de-sapo graúda	7	0,131	0,5919	10,0 ±1,6	13,4 ±9,5	0,031153
<i>Handroanthus avellanadae</i> (Lorentz ex Griseb.) Mattos	ipê-roxo	11	0,131	0,5620	9,5 ±1,2	11,9 ±3,7	0,029579
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	ipê-felpudo	19	0,124	0,4530	7,7 ±2,2	9,1 ±2,0	0,023842
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba	4	0,054	0,3175	13,9 ±13,9	13,6 ±13,6	0,016711
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	capitão-do-campo	4	0,056	0,2308	9,5 ±9,5	13,9 ±13,9	0,012147
<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	cabreúva	7	0,041	0,1894	10,0 ±0,7	8,4 ±1,0	0,009968
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	urtiga	7	0,046	0,1100	5,1 ±1,0	8,9 ±0,1	0,005789
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	peroba-rosa	7	0,034	0,1046	6,5 ±0,4	7,5 ±2,5	0,005505
<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	ipê-branco	4	0,031	0,1034	7,4 ±7,4	10,3 ±10,3	0,005442
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	pau-marfim	7	0,016	0,0628	8,1 ±1,1	5,3 ±0,1	0,003305

<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	chuva-de-ouro	7	0,022	0,0620	6,3	±2,3	6,1	±1,1	0,003263
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	peroba-poca	4	0,015	0,0590	8,6	±8,6	7,1	±7,1	0,003105
<i>Trichilia claussoni</i> C.DC.	trichilia	4	0,013	0,0465	7,3	±7,3	6,8	±6,8	0,002447
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	trichilia	4	0,010	0,0372	7,4	±7,4	6,0	±6,0	0,001958
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	tamanqueiro	4	0,010	0,0282	5,9	±5,9	5,8	±5,8	0,001484
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	mamica-de-porca	4	0,008	0,0279	7,0	±7,0	5,3	±5,3	0,001468
TOTAL		800	16,510	81,9680					4,314105

APÊNDICE C - Parâmetros por espécie do sistema de restauração alta diversidade (DIV), Botucatu-SP. Legenda: DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); AB = área basal (m².ha⁻¹); VT = volume total estimado (m³.ha⁻¹); HT= altura média total (m) ± desvio-padrão; DAP = diâmetro médio a altura de 1,30 do solo (cm) ± desvio-padrão; IMA = incremento médio anual (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

Nome Científico	Nome Comum	DA	AB	VT	HT	DAP	IMA
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	guapuruvu	37	4,188	31,7506	17,8 ±4,9	34,5 ±16,6	1,671084
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira	111	4,024	17,4461	9,3 ±2,8	10,5 ±3,8	0,918216
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixingui	56	2,940	15,1897	13,1 ±3,0	21,9 ±9,4	0,799458
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	26	2,094	11,9375	12,3 ±5,4	28,3 ±16,3	0,628289
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-bravo	22	1,522	8,1702	12,8 ±2,7	28,2 ±9,8	0,430011
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau- jacaré	7	1,210	7,3946	18,7 ±3,1	40,5 ±29,8	0,389189
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola	22	0,960	6,3548	14,9 ±5,8	22,7 ±6,5	0,334463
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	cumbaru	63	1,126	6,0750	11,0 ±3,0	13,5 ±7,0	0,319737
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc	açoita-cavalo	30	1,139	5,4057	10,3 ±3,7	14,0 ±7,2	0,284511
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	araribá	22	0,677	4,2128	15,7 ±3,0	17,6 ±5,1	0,221726
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	41	0,785	3,7665	10,3 ±2,2	12,9 ±5,3	0,198237
<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	ingá	4	0,629	3,3870	13,8 ±0,0	20,3 ±13,1	0,178263
<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	figueira-branca	19	0,531	3,1206	12,8 ±2,5	16,7 ±10,4	0,164242
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba	19	0,536	2,7498	11,7 ±2,0	13,6 ±7,3	0,144726
<i>Psidium guajava</i> L.	goiaba	133	0,656	2,2180	7,3 ±2,3	6,8 ±1,5	0,116737
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	48	0,507	2,0642	8,8 ±1,5	8,4 ±2,2	0,108642
<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.	coração-de-negro	22	0,351	1,6833	10,1 ±1,5	8,7 ±3,3	0,088595
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	41	0,280	1,2686	9,0 ±2,3	8,6 ±3,9	0,066768
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	19	0,209	1,1264	11,7 ±2,4	11,6 ±3,5	0,059284
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula	7	0,207	1,0021	11,6 ±0,6	18,5 ±5,6	0,052742
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	jacaranda-do-campo	11	0,147	0,7451	9,8 ±4,0	11,9 ±6,3	0,039216
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	chal-chal	22	0,197	0,7267	7,8 ±1,4	6,6 ±1,4	0,038247
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	sansão-do-campo	4	0,098	0,5317	13,1 ±13,1	18,4 ±18,4	0,027984
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	embira-de-sapo	7	0,101	0,4773	9,8 ±2,5	8,1 ±2,3	0,025121
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba	15	0,084	0,4331	10,9 ±3,0	8,3 ±2,2	0,022795

<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	7	0,120	0,4218	8,1	±0,4	14,3	±2,5	0,022200
<i>Chorisia speciosa</i> A.St.-Hil.	paineira rosa	4	0,086	0,3865	10,7	±10,7	17,2	±17,2	0,020342
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canelinha	11	0,080	0,3333	9,6	±4,7	9,5	±1,9	0,017542
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	olho-de-cabra	7	0,051	0,2293	9,9	±0,6	8,7	±5,0	0,012068
<i>Cordia</i> sp. L.	--	7	0,050	0,2178	9,0	±2,4	9,1	±2,7	0,011463
<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga	19	0,053	0,1614	6,0	±1,5	6,0	±1,0	0,008495
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	mutamba	4	0,023	0,1174	11,6	±11,6	8,8	±8,8	0,006179
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	lixeira	4	0,018	0,0730	8,7	±8,7	7,9	±7,9	0,003842
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	tamanqueira	4	0,016	0,0539	7,4	±7,4	7,3	±7,3	0,002837
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	peroba-rosa	4	0,007	0,0213	5,9	±5,9	5,0	±5,0	0,001121
TOTAL		878	25,702	141,2531					7,434374

APÊNDICE D- Parâmetros por espécie do sistema de restauração agroflorestal ‘manejado’ (SAFM), Botucatu-SP. Legenda: DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); AB = área basal (m².ha⁻¹); VT = volume total estimado (m³.ha⁻¹); HT= altura média total (m) ± desvio-padrão; DAP = diâmetro médio a altura de 1,30 do solo (cm) ± desvio-padrão; IMA = incremento médio anual (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

Nome Científico	Nome Comum	DA	AB	VT	HT	DAP	IMA
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	85	4,951	33,8089	15,9 ±5,8	19,7 ±9,4	1,779416
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	67	4,268	21,2603	9,8 ±3,6	22,3 ±14,5	1,118963
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-bravo	63	2,405	14,5507	11,6 ±5,0	17,5 ±13,9	0,765826
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	33	1,794	13,4917	14,2 ±6,6	18,4 ±12,2	0,710089
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	sansão-do-campo	26	1,242	7,4182	13,6 ±4,9	12,7 ±4,9	0,390432
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	81	1,324	6,7161	10,2 ±3,2	12,9 ±6,5	0,353479
<i>Cordia</i> sp. L.	--	7	0,665	4,8895	19,0 ±1,7	26,0 ±11,3	0,257342
<i>Eucalyptus</i> sp.	eucalipto	4	0,579	3,7514	17,6 ±17,6	44,6 ±44,3	0,197442
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau- jacaré	15	0,581	3,2879	8,8 ±4,6	15,3 ±18,8	0,173047
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	ipê-felpudo	22	0,471	2,6917	11,5 ±3,8	14,9 ±7,5	0,141668
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	22	0,384	1,5148	8,4 ±3,1	14,2 ±4,8	0,079726
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	fumo-bravo	15	0,298	1,3647	10,0 ±5,4	14,9 ±6,8	0,071826
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	tamanqueira	15	0,243	1,1398	10,2 ±1,5	12,0 ±5,3	0,059989
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafistula	4	0,173	1,1084	16,2 ±16,2	24,4 ±24,4	0,058337
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	44	0,185	0,5104	5,9 ±0,6	7,0 ±2,2	0,026863
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	tapiá, tapiá-guaçu	26	0,118	0,5015	8,7 ±2,0	7,0 ±1,5	0,026395
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	urtiga	22	0,157	0,4651	6,0 ±1,2	8,0 ±1,9	0,024479
<i>Lonchocarpus guillemianus</i> (Tul.) Malme	embira-de-sapo miúda	4	0,059	0,3775	15,1 ±15,1	14,3 ±14,3	0,019868
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	lixeira	15	0,069	0,2885	9,0 ±1,7	7,7 ±0,5	0,015184
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	peroba-rosa	11	0,081	0,2716	7,1 ±1,1	9,5 ±2,3	0,014295
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	tamanqueiro	4	0,047	0,2484	12,3 ±12,3	12,7 ±12,7	0,013074
<i>Psidium guajava</i> L.	goiaba	19	0,093	0,2098	4,6 ±0,9	7,1 ±1,8	0,011042
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	guatambu-de-leite	4	0,054	0,1945	7,9 ±0,0	9,7 ±0,2	0,010237
<i>Handroanthus avellanadae</i> (Lorentz ex Griseb.) Mattos	ipê-roxo	4	0,037	0,1279	7,7 ±7,7	11,3 ±11,3	0,006732
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixingui	7	0,018	0,0739	8,6 ±1,9	5,6 ±0,4	0,003889

<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	guaçatonga	7	0,026	0,0639	5,0	±0,9	5,4	±0,8	0,003363
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	embaúba	4	0,014	0,0589	9,1	±9,1	6,9	±6,9	0,003100
<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil	araticum	4	0,014	0,0546	8,4	±8,4	6,9	±6,9	0,002874
<i>Celtis</i> sp. L	--	7	0,016	0,0505	6,5	±0,6	5,3	±0,4	0,002658
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	mamica-de-porca	4	0,009	0,0483	11,2	±11,2	5,6	±5,6	0,002542
<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D.Penn.	ingá	4	0,018	0,0477	5,7	±5,7	7,8	±7,8	0,002511
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	peroba-poca	7	0,020	0,0422	4,3	±0,6	5,9	±0,2	0,002221
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	gabioba	4	0,012	0,0408	7,4	±7,4	6,3	±6,3	0,002147
<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.	pêssego-do-mato	4	0,011	0,0379	7,3	±7,3	6,1	±6,1	0,001995
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba	4	0,014	0,0303	4,5	±4,5	6,9	±6,9	0,001595
<i>Solanum pseudoquina</i> A.St.-Hil.	--	4	0,008	0,0244	6,3	±6,3	5,2	±5,2	0,001284
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Sprengel) Vega & Dematteis	assa-peixe	4	0,007	0,0233	6,5	±6,5	5,0	±5,0	0,001226
<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga	4	0,009	0,0176	4,0	±4,0	5,5	±5,5	0,000926
TOTAL		678	20,473	120,8039					6,358100

APÊNDICE E - Parâmetros por espécie do sistema de restauração agroflorestal 'testemunha' (SAFT), Botucatu-SP. Legenda: DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); AB = área basal (m².ha⁻¹); VT = volume total estimado (m³.ha⁻¹); HT= altura média total (m) ± desvio-padrão; DAP = diâmetro médio a altura de 1,30 do solo (cm) ± desvio-padrão; IMA = incremento médio anual (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

Nome Científico	Nome Comum	DA	AB	VT	HT	DAP	IMA
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	sansão-do-campo	152	9,417	46,1705	11,4 ±2,5	11,2 ±4,7	2,430026
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	63	4,203	25,8147	14,7 ±2,9	19,3 ±9,9	1,358668
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico-bravo	56	1,363	8,5638	11,7 ±5,1	15,1 ±9,5	0,450726
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	44	1,451	7,9160	11,7 ±2,9	17,9 ±8,4	0,416632
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula	15	0,813	4,9180	14,4 ±3,5	22,0 ±9,8	0,258842
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	67	0,718	3,6033	10,2 ±2,8	10,7 ±4,1	0,189647
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	7	0,323	2,0288	13,0 ±5,4	20,3 ±16,9	0,106779
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	ipê-felpudo	41	0,374	1,8324	8,7 ±3,6	9,5 ±4,2	0,096442
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	tamanqueira	11	0,277	1,1482	9,6 ±3,2	17,6 ±3,4	0,060432
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	15	0,215	0,9474	9,2 ±2,8	12,6 ±5,9	0,049863
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	26	0,190	0,7354	8,2 ±1,8	8,0 ±3,0	0,038705
<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	guarantã	4	0,057	0,3079	12,7 ±12,7	14,0 ±14,0	0,016205
<i>Psidium guajava</i> L.	goiaba	22	0,128	0,2876	4,2 ±2,6	6,8 ±1,6	0,015137
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	lixeira	22	0,081	0,2738	6,9 ±2,9	6,7 ±1,4	0,014411
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	fumo-bravo	7	0,056	0,1896	7,1 ±1,3	9,6 ±3,0	0,009979
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	urtiga	7	0,048	0,1434	5,8 ±2,0	8,6 ±4,0	0,007547
<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.	pêssego-do-mato	7	0,039	0,1357	7,1 ±1,3	8,0 ±2,9	0,007142
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canelinha	7	0,038	0,1122	6,6 ±0,9	8,0 ±1,9	0,005905
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	peroba-poca	4	0,021	0,0929	9,7 ±9,7	8,5 ±8,5	0,004889
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	canjerana	4	0,018	0,0828	10,2 ±10,2	7,8 ±7,8	0,004358
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira	4	0,022	0,0782	7,9 ±7,9	8,6 ±8,6	0,004116
<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil	araticum	4	0,010	0,0318	6,7 ±6,7	5,8 ±5,8	0,001674
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau- jacaré	4	0,007	0,0226	6,3 ±6,3	5,0 ±5,0	0,001189
TOTAL		593	19,867	105,4370			5,549316

APÊNDICE F - Parâmetros por espécie do sistema de restauração semeadura direta (SEM), Botucatu-SP. Legenda: DA = densidade absoluta (ind. ha⁻¹); AB = área basal (m².ha⁻¹); VT = volume total estimado (m³.ha⁻¹); HT= altura média total (m) ± desvio-padrão; DAP = diâmetro médio a altura de 1,30 do solo (cm) ± desvio-padrão; IMA = incremento médio anual (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)

Nome Científico	Nome Comum	DA	AB	VT	HT	DAP	IMA
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	guapuruvu	430	29,624	210,4996	16,7 ±4,4	26,6 ±11,4	10,524980
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril	78	2,115	9,6461	8,5 ±3,5	15,1 ±8,1	0,482305
<i>Lonchocarpus guilleminianus</i> (Tul.) Malme	embira-de-sapo miúda	48	1,169	6,4950	11,9 ±3,5	16,6 ±6,0	0,324750
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	pau-jacaré	26	0,574	3,4899	11,7 ±4,7	12,9 ±9,6	0,174495
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	leiteiro	107	0,803	2,2315	5,6 ±1,3	8,3 ±2,7	0,111575
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	lixeira	33	0,365	1,3305	7,7 ±1,5	8,0 ±2,5	0,066525
<i>Psidium guajava</i> L.	goiaba	96	0,542	1,0737	3,9 ±1,8	6,8 ±1,5	0,053685
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	4	0,138	0,8590	15,5 ±15,5	21,8 ±21,8	0,042950
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	embira-de-sapo graúda	33	0,243	0,8091	6,2 ±2,6	8,9 ±3,8	0,040455
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	ipê-de-jardim	19	0,223	0,6494	4,9 ±2,4	9,7 ±6,4	0,032470
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	capixingui	7	0,099	0,5650	9,6 ±7,1	11,4 ±9,0	0,028250
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	canafístula	4	0,073	0,4101	13,5 ±13,5	15,8 ±15,8	0,020505
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	guaçatonga	15	0,062	0,1769	5,6 ±1,2	6,3 ±1,8	0,008845
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	capitão-do-campo	19	0,052	0,1442	4,7 ±2,9	5,8 ±1,4	0,007210
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	4	0,026	0,0936	8,0 ±8,0	9,4 ±9,4	0,004680
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth	sansão-do-campo	4	0,018	0,0773	9,0 ±0,0	5,6 ±0,2	0,003865
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	trichilia	7	0,025	0,0583	4,5 ±2,1	6,4 ±1,6	0,002915
<i>Piper amalago</i> L.	piper	4	0,021	0,0444	4,2 ±0,0	6,1 ±0,7	0,002220
<i>Trichilia</i> sp. 1	trichilia	4	0,012	0,0313	5,6 ±5,6	6,3 ±6,3	0,001565
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	amendoim-bravo	4	0,013	0,0298	4,7 ±4,7	6,7 ±6,7	0,001490
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-pimenteira	4	0,010	0,0277	5,7 ±5,7	5,9 ±5,9	0,001385
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canelinha	4	0,008	0,0220	5,6 ±5,6	5,2 ±5,2	0,001100
<i>Lantana camara</i> L.	camará	4	0,009	0,0215	5,1 ±5,1	5,4 ±5,4	0,001075
<i>Bauhinia forficata</i> Link	unha-de-vaca	4	0,008	0,0198	5,1 ±5,1	5,2 ±5,2	0,000990
TOTAL		959	36,231	238,8059			11,940295

APÊNDICE G - Operações da implantação e tratos silviculturais dos sistemas de restauração ecológica. Legenda: semeadura direta (SEM); agroflorestal 'manejado' (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha 'manejado' (CMLM)

SEM	SAFM	CMLM
Implantação		
Aração	Aração	Aração
Subsolagem	Roçada mecânica	Roçada mecânica
Herbicida (insumo)	Gradagem pesada	Gradagem pesada
Aplicação de herbicida	Gradagem niveladora	Gradagem niveladora
Formicida (insumo)	Herbicida (insumo)	Herbicida (insumo)
Aplicação de formicida	Aplicação de herbicida	Aplicação de herbicida
Irrigação	Formicida (insumo)	Formicida (insumo)
Sementes (insumo)	Aplicação de formicida	Aplicação de formicida
Semeio	Mudas (insumo)	Mudas (insumo)
	Plantio das mudas	Plantio das mudas
	Mudas replantio (insumo)	Mudas replantio (insumo)
	Replantio das mudas	Replantio das mudas
Tratos Silviculturais (até 3º ano)		Tratos silviculturais (até 2º ano)
Capina semi-mecanizada	Capina semi-mecanizada	Capina semi-mecanizada
Herbicida (insumo)	Herbicida (insumo)	Herbicida (insumo)
Aplicação de herbicida	Aplicação de herbicida	Aplicação de herbicida
Formicida (insumo)	Formicida (insumo)	Formicida (insumo)
Aplicação de formicida	Aplicação de formicida	Aplicação de formicida
Tratos Silviculturais (4º, 5º, 8º, 11º, 14º ano)		Tratos Silviculturais (3º, 4º e 5º)
Capina semi-mecanizada	Capina semi-mecanizada	Capina semi-mecanizada
		Herbicida (insumo)
		Aplicação de herbicida
		Tratos Silviculturais (8º, 11º, 14º)
		Capina semi-mecanizada

**APÊNDICE H – Cultivos anuais e manejo florestal dos sistemas de restauração ecológica.
Legenda: sistema agroflorestal ‘manejado’ (SAFM) e consórcio de madeira serrada e lenha
‘manejado’ (CMLM)**

SAFM	
Cultura anual milho (1º ano)	Enriquecimento (8º ano)
Aração Enxada rotativa Semeio (mão de obra) Sementes de milho Fertilizante químico	Herbicida (insumo) Aplicação de herbicida Coveamento - trator com broca Formicida (insumo) Aplicação de formicida
Cultura anual feijão (1 e 2º ano)	Mudas frutíferas Fertilizante químico Aplicação de fertilizante Aplicação de formicida (manutenção) Formicida (manutenção) Capina semi-mecanizada (manutenção) Reparo dos aparadores guaco
Aplicação de calcário Calcário (insumo) Enxada rotativa Semeio (mão de obra) Sementes feijão Fertilizante químico	Substrato para guaco
Cultura anual mandioca (1 e 2º ano)	Hormônio de crescimento Fertilizante químico Mudas medicinais Amarração do guaco Replântio - coveamento Esterco Fertilizante químico Aplicação adubo Formicida (insumo) Aplicação de formicida Mudas de replântio
Roçada mecanizada Aração Enxada rotativa Calagem Manivas Adubação Plantio (mão de obra)	
SAFM e CMLM	
Colheita madeira lenha (14º ano)	
Corte motosserra Combustível Motosserra	