

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS - CEPAN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

SYLVAN MARTINS DOS REIS

**OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS À BASE DE CACAU E MOGNO COMO
ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE COBERTURA VEGETAL PARA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELO DESMATAMENTO NA
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Porto Alegre, RS

2015

SYLVAN MARTINS DOS REIS

**OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS À BASE DE CACAU E MOGNO COMO
ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE COBERTURA VEGETAL PARA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELO DESMATAMENTO NA
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronegócios.

Orientador: Prof. Dr. Homero Dewes

Porto Alegre, RS

2015

SYLVAN MARTINS DOS REIS

**OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS À BASE DE CACAU COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL DE COBERTURA VEGETAL PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronegócios.

Data da Defesa e Aprovação: 11/12/2015

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Homero Dewes
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios
(Orientador)

Dr. Jair Carvalho dos Santos
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
EMBRAPA Amazônia Oriental

Prof. Dr. Christian Bredemeier
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia

Prof. Dr. Edson Talamini
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios

Martins dos Reis, Sylvan

OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS À BASE DE CACAU COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE COBERTURA VEGETAL PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA / Sylvan Martins dos Reis. -- 2015.

117 f.

Orientador: Homero Dewes.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Sistemas Agroflorestais. 2. Revisão Sistemática. 3. Análise Financeira. 4. Dendrometria. 5. Agronegócio. I. Dewes, Homero, orient. II. Título.

Em memória meus pais: Oracílio dos Reis de
Jesus e Ecila Martins dos Reis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa, Soraya Galvão Martins, que junto comigo enfrentou a distância e os momentos mais difíceis não medindo esforços em me apoiar para concluir mais essa etapa importante da vida. Aos meus familiares, que também ofereceram o maior apoio quando necessário.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Professor Homero Dewes, que com sua experiência, conhecimento e sabedoria, contribuiu de forma significativa para minha preparação acadêmica e científica o que culminou na conclusão deste trabalho. E ao Professor Edson Talamini pelo apoio e incentivo.

A Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), pela liberação e apoio para minha participação no Curso de Doutorado em Agronegócios, acreditando em nossa proposta de trabalho como contribuição para o desenvolvimento do Agronegócio brasileiro.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Centro de Pesquisas e Estudos em Agronegócios (CEPAN), pela oportunidade a mim oferecida em fazer parte da excelente equipe que compõe os integrantes do curso de Agronegócios.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Homero Dewes, Dr. Jair Carvalho dos Santos, Prof. Dr. Christian Bredemeier e Prof. Dr. Edson Talamini, pela contribuição nas sugestões e correções apresentadas para melhoria do trabalho.

Finalmente, agradeço aos professores, funcionários e colegas que compõe a equipe do CEPAN, pela excelente convivência e pela troca de conhecimentos, assim como, aos amigos que fiz em Porto Alegre, pela participação na agradável convivência que tive nesta cidade.

“Se você tem metas para um ano. Plante arroz. Se você tem metas para 10 anos. Plante uma árvore. Se você tem metas para 100 anos, então eduque uma criança. Se você tem metas para 1000 anos, então preserve o meio Ambiente.”

Confúcio

OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS À BASE DE CACAU COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE COBERTURA VEGETAL PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

O desmatamento da floresta amazônica tem causado preocupação na sociedade civil e científica mundial demandando pesquisas que busquem mitigar os impactos ambientais provocados por esse fenômeno. Esta tese tem como objetivo central analisar o uso dos sistemas agroflorestais à base de cacau como alternativa para recuperação de áreas degradadas pelo desmatamento da floresta Amazônica brasileira. Portanto, são aprestados três trabalhos que abordam essa temática. O primeiro estudo realiza uma pesquisa documental da produção científica na Amazônia brasileira sobre os sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* L.) buscando identificar os principais escopos nos quais essas pesquisas estão inseridas, assim como, subsidiar a prospecção de escopos complementares para futuras pesquisas. O segundo estudo analisa a utilização de sistemas agroflorestais à base de cacau como alternativa de cobertura vegetal sustentável para recuperação das áreas degradadas na Amazônia brasileira, assim como, compara os rendimentos de dois sistemas agroflorestais, um indicado pela pesquisa agropecuária e outro alternativo, implantado em área de produtor rural. Finalmente, o terceiro estudo analisa o crescimento e rendimento de madeira das plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) utilizadas como sombreamento definitivo em sistemas agroflorestais à base de cacau implantadas em uma propriedade rural localizada no Estado do Pará, na Amazônia brasileira, em solos do tipo Terra Rocha Estruturada e Podzólico Vermelho Amarelo. Os resultados mostram que mais de 47 espécies vegetais de valor comercial nativas da região ou exóticas são contempladas nos diferentes sistemas agroflorestais à base de cacau cultivados na região. Os indicadores de rentabilidade obtidos dos dois sistemas analisados indicam que esses sistemas são viáveis financeiramente e podem ser financiados pelo programa oficial de crédito rural destinado a implantação de sistemas agroflorestais na Amazônia, o FNO-Biodiversidade, assim como, que as quantidades de carbono atmosférico sequestrada por esses sistemas se aproximam as das florestas nativas. E finalmente, que as plantas de mogno utilizadas como sombreamento nesses sistemas tiveram bom desenvolvimento em altura e diâmetro e o rendimento de madeira foi superior ao encontrado em condições naturais nas florestas da região. Esses resultados sugerem que os sistemas agroflorestais à base de cacau são uma alternativa econômica e ecologicamente sustentáveis para recompor a cobertura vegetal das áreas degradadas pelo desmatamento na Amazônia brasileira, além de proporcionar a mitigação dos danos ambientais provocados pelo desmatamento.

Palavras-chave: Sustentabilidade, uso da terra, sequestro de carbono, biodiversidade, agricultura sustentável, produção de madeira.

ABSTRACT

The deforestation of the Amazon rainforest has caused concern in civil society and global scientific research in fact demanding mitigate environmental impacts caused by this phenomenon. This thesis aims to analyze use of central agroforestry to cocoa as an alternative for recovery of degraded areas by deforestation of the Amazon rainforest in Brazil. So are three works that discuss this dressed. The first study performs a documentary research of the scientific production in the Brazilian Amazon on agroforestry systems with Cacao (*Theobroma cacao* L.) seeking to identify the main scopes in which these searches are included, as well as subsidizing the prospect for additional scopes for further research. The second study examines the use of agroforestry systems based on cocoa as an alternative sustainable vegetation cover for recovery of degraded areas in the Brazilian Amazon, as well as, compares the income of two agroforestry systems, an agricultural research and indicated another alternative, deployed in the area of rural producer. Finally, the third study examines the growth and yield of wood plants of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) used as final shading in agroforestry cocoa base deployed in a country estate in the Pará State, in the Brazilian Amazon, in soils of the Earth type Structured Rock and Red Yellow Podzolic. The results show that over 47 species of plants native to the region or business value are considered exotic in different agroforestry systems based on cacao grown in the region. The profitability indicators obtained from two systems analyzed indicate that these systems are financially viable and can be financed by the program officer rural credit aimed at implementation of agroforestry systems in the Amazon, the FNO-biodiversity, as well as the amounts of atmospheric carbon sequestered by these systems approach the native forests. And finally, the plants of mahogany used as shading on these systems have had good development in height and diameter, and yield of wood was superior to that found in natural conditions in the forests of the region. These results suggest that the cocoa-based agroforestry systems are an economically and ecologically sustainable alternative to recompose the vegetal covering of areas degraded by deforestation in the Brazilian Amazon, in addition to providing the mitigation of environmental damage caused by deforestation.

Keywords: Sustainability, land use, carbon sequestration, biodiversity, sustainable agriculture, timber production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de desmatamento anual da Floresta Amazônica brasileira ($\text{km}^2 \text{ ano}^{-1}$) monitorada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais entre 1988 e 2014.....	22
CAPÍTULO 1: Uso dos sistemas agroflorestais com cacau (<i>Theobroma cacao</i> L.) na Amazônia brasileira como alternativa de agricultura sustentável para a região: uma revisão da produção científica	
Figura 1 - Distribuição da frequência da publicação de artigos científicos sobre sistemas agroflorestais com cacau na Amazônia brasileira em periódicos nacionais entre 2002 e 2013.....	39
Figura 2 - Distribuição das publicações por Qualis/CAPES.....	43
Figura 3 - Frequência dos artigos por tipo de desenho de pesquisa.....	44
Figura 4 - Tipo de pesquisa por local de instalação.....	45
Figura 5 - Palavras-chave utilizadas nos artigos analisados.....	47
CAPÍTULO 3: Growth and yield of mahogany wood in cocoa-based agroforestry systems of two soil types in the Brazilian Amazon	
Figure 1 - Commercial wood volume of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) with tree age, planted in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow acrisols, in the Brazilian Amazon.....	103
Figure 2 - Thirty-three-year-old mahogany trees implanted in two cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.....	105

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: Uso dos sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia brasileira como alternativa de agricultura sustentável para a região: uma revisão da produção científica

Tabela 1 - Frequências dos artigos por periódico conforme classificação pela CAPES.....	42
Tabela 2 - Espécies mais frequentes nos sistemas agroflorestais com cacau nos artigos analisados.....	46

CHAPTER 2: Mitigating deforestation in the Brazilian Amazon through the implementation of cocoa-based agroforestry systems

Table 1 - Technical coefficients used for deployment of a hectare of AFS-1.....	70
Table 2 - Technical coefficients used for deployment of a hectare of AFS-2.....	71
Table 3 - Indicators used in the economic feasibility analysis.....	73
Table 4 - Costs of implementing and maintaining a cocoa-based agroforestry system in the Brazilian Amazon, as of March 2015 (USD per hectare).....	74
Table 5 - Actual production from the cocoa-based agroforestry systems analyzed, as of March 2015 (per hectare).....	75
Table 6 - Cash flows of the cocoa-based agroforestry systems analyzed, as of March 2015 (USD).....	77
Table 7 - Profitability indicators for the cocoa-based agroforestry systems analyzed, as of March 2015.....	78

CHAPTER 3: Growth and yield of mahogany wood in cocoa-based agroforestry systems of two soil types in the Brazilian Amazon

Table 1 - Analysis of variance (ANOVA) of the average diameter at breast height (DBH) of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) from two soil types (nitisol and red-yellow Acrisol) and for six tree ages (16, 19, 22, 31, 32, and 33 years), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.....	99
--	----

Table 2 - Average diameter at breast height (DBH; cm) of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) from two soil types (nitisols and red-yellow acrisols), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon ($n = 9$).....	99
Table 3 - Average diameter at breast height (DBH) of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) at different tree ages, planted in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow acrisols, in the Brazilian Amazon ($n = 9$).....	100
Table 4 - Analysis of variance (ANOVA) of the stem height (m) of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) from two soil types (nitisol and red-yellow acrisol) and for six tree ages (16, 19, 22, 31, 32, and 33 years), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.....	101
Table 5 - Average stem height (m) of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) from two soil types (nitisol and red-yellow acrisol) and for six tree ages (16, 19, 22, 31, 32, and 33 years), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon ($n = 9$).....	101
Table 6 - Average yields of the commercial wood volume of mahogany trees (<i>Swietenia macrophylla</i> King) at different tree ages, planted in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow acrisols, in the Brazilian Amazon ($n = 9$). Volumes are calculated with DBH and stem height data according to Francez <i>et al</i> (2010).....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de sistemas agroflorestais em seis categorias estruturais..... 25

CAPÍTULO 1: Uso dos sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia brasileira como alternativa de agricultura sustentável para a região: uma revisão da produção científica

Quadro 1 - Aspectos relevantes identificados nos artigos publicados em revistas brasileiras sobre sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia brasileira no período de 2002 a 2013, em ordem cronológica..... 40

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 GERAL.....	19
2.2 ESPECÍFICOS.....	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1 O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA E A COBERTURA DO SOLO NAS ÁREAS DESMATADAS.....	20
3.2 OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS).....	23
3.2.1 Classificação dos sistemas agroflorestais.....	24
3.2.2 A Sustentabilidade dos sistemas agroflorestais.....	26
3.2.3 Os sistemas agroflorestais à base de cacau (<i>Theobroma cacao</i> L.) na Amazônia Brasileira.....	28

CAPÍTULO 1: Uso dos sistemas agroflorestais com cacau (<i>Theobroma cacao</i> L.) na Amazônia brasileira como alternativa de agricultura sustentável para a região: uma revisão da produção científica.....	32
Resumo.....	33
Introdução.....	34
Material e Métodos.....	37
Resultados.....	38
Discussão.....	48
Conclusão.....	53
Agradecimentos.....	54
Referências.....	54

CHAPTER 2: Mitigating deforestation in the Brazilian Amazon through the implementation of cocoa-based agroforestry systems.....	62
Abstract.....	63
1. Introduction.....	65
2. Data and Methods.....	68
2.1 Determination of the types of analyse.....	68
2.2 Study location and data collection.....	68
2.3 The agroforestry systems analyzed.....	69
2.4 Data analysis methods.....	72
3. Results.....	73
3.1 The composition of operational costs.....	73

3.2 Actual revenues.....	75
3.3 Profitability indicators for the analyzed models.....	77
3.4 The carbon sequestration attributed to cocoa-based agroforestry systems.....	79
4. Discussion.....	80
5. Conclusions.....	85
Acknowledgements.....	86
References.....	86

CHAPTER 3: Growth and yield of mahogany wood in cocoa-based agroforestry

systems of two soil types in the Brazilian Amazon.....	93
Abstract.....	94
1. Introduction.....	95
2. Material and Methods.....	97
2.1 Study area.....	97
2.2 Experiment installation, determination of variables and data collection.....	97
2.3 Statistical analysis.....	98
3. Results.....	98
3.1 Effects of the factors soil and age in the diameter at breast height (DBH) increment.....	98
3.2 Effects of the factors soil and age in the mahogany plants stem height increment.....	100
3.3 Yields of wood commercial volume.....	102
4. Discussion.....	103

5. Conclusions.....	107
Acknowledgements.....	107
References.....	107
4 CONCLUSÃO.....	111
REFERÊNCIAS.....	113

1 INTRODUÇÃO

A ocupação intensa da Amazônia a partir da década de 1970 impulsionou o aumento das taxas de desmatamento das florestas, o que pode estar associado ao aumento na perda da biodiversidade, degradação dos solos e aos impactos climáticos. Os projetos governamentais de desenvolvimento e incentivos fiscais foram um dos principais condutores para o desmatamento da floresta a partir dessa década (FEARNSIDE, 2005).

A maioria das áreas desmatadas na Amazônia brasileira tem como destino a formação de pastagens e a agricultura de subsistência, utilizando normalmente pelo método de “derruba e queima da floresta” induzindo a derrubada de novas áreas de floresta para novos plantios, tornando-se um ciclo “vicioso” de expansão das áreas desflorestadas na região (FEITOSA e SILVA, 2010; FRANCEZ e ROSA, 2011; RANGEL-VASCONCELOS, KATO e VASCONCELOS, 2012). O uso itinerante da terra conduz a degradação das áreas desmatadas, que levam mais tempo para se regenerarem, chegando muitas vezes ao esgotamento e abandono das mesmas.

A necessidade de cessar ou reduzir o desmatamento na Amazônia brasileira é urgente, haja vista que os prejuízos provocados por esses desmatamentos são inúmeros e imensuráveis para as florestas, tais como perda da biodiversidade, emissão de gás carbônico para a atmosfera, aumento do efeito estufa, redução da ciclagem de água, contribuição para o aquecimento global e redução no regime de chuvas (CINTRA *et al.*, 2006; CERRI *et al.*, 2009; MACHADO, 2009; ARRAES, MARIANO e SIMONASSI, 2012). De outro lado, o desenvolvimento da região encontra inúmeras barreiras, haja vista a grande pressão sobre os programas governamentais de desenvolvimento regional, exercida pela comunidade científica, governos e sociedade civil nacional e internacional ligadas à proteção do meio ambiente.

A produção de alimentos e a conservação da biodiversidade não são necessariamente excludentes, onde os sistemas agroflorestais tropicais têm sido propostos como uma forma de agricultura sustentável, mantendo parte da biodiversidade, os serviços ambientais associados e a produção de alimentos (MATTHIAS DE BEENHOUWER, 2013).

Melhorias tecnológicas e práticas de gestão para a intensificação da agricultura são claramente parte da resposta para o uso sustentável da terra. No entanto, para evitar os efeitos colaterais sobre a intensificação da degradação ambiental, deve-se adotar um conjunto de ferramentas de abordagens de gestão do solo que podem converter agroecossistemas habituais em mosaicos de uso da terra equilibrados e mais complexos, que lembram os ecossistemas

naturais em termos de serviços que podem proporcionar. Entre esses, encontram-se os sistemas agrofloretais (LAPOLA *et al.*, 2014).

Na América tropical, sistemas agrofloretais à base de cacau (*Theobroma cacao* L.) e árvores de sombra são normalmente associados com variedades de cacau tradicionais e níveis muito baixos de uso de insumos químicos, em padrões de complexidade estrutural e composicional altamente diversificada. Esses sistemas podem incluir de uma a mais de 30 espécies de árvores associadas, configuradas em uma grande variedade de padrões estruturais, sugerindo fortemente que a qualidade dos serviços oferecidos por estes ecossistemas devem variar nas mesmas proporções (DEHEUVELS *et al.*, 2012).

Sistemas agrofloretais com cacau combinam rendimento sustentável com algum grau de conservação da biodiversidade (MATTHIAS DE BEENHOUWER, 2013) e a esses sistemas têm sido atribuído à prestação de serviços ambientais, como o sequestro de carbono e a conservação da biodiversidade (DEHEUVELS *et al.*, 2012).

As características preservacionistas da produção de cacau em sistemas agrofloretais tornam essa atividade econômica uma das mais interessantes alternativas agrícolas para o desenvolvimento rural sustentável da região Amazônica, visto que, atualmente, está sendo discutida a sua inclusão como cobertura vegetal capaz de compor a reserva legal e as áreas de proteção ambiental (APP) das propriedades agrícolas na região (CEPLAC, 2014).

Desenvolver economicamente a região Amazônica, respeitando e preservando o meio ambiente, é uma das alternativas que o desenvolvimento sustentável oferece às regiões de florestas tropicais do planeta. A adoção de medidas de mitigação dos danos ambientais provocados pelo desmatamento, através da silvicultura, plantio de sistemas agrofloretais, manejo florestal, premiação pela prestação de serviços ambientais, execução de políticas de redução do desmatamento e das emissões de gases do efeito estufa, proibição de queimadas das florestas e monitoramento do desmatamento, podem ser a saída para cessar a devastação da floresta Amazônica (FEARNSIDE, 2009; FEARNSIDE, 2012; BRASIL, 2012).

Os resultados da pesquisa agropecuária que apontam os sistemas agrofloretais com cacau e outras espécies nativas da Amazônia ou exóticas como uma alternativa para reparação das áreas desmatadas levam a algumas questões importantes sobre o uso da terra de forma sustentável na Amazônia brasileira.

Os sistemas agrofloretais podem ser utilizados como alternativa para recuperação de áreas degradadas na Amazônia? Os sistemas agrofloretais com cacau podem ser indicados

para substituir monocultivos e ocupar as áreas com vegetação secundária? Investigar e identificar sustentabilidade econômica dos sistemas agroflorestais com cacau demandará esforços para indica-los como alternativa sustentável para o uso da terra na Amazônia. Portanto, uma análise mais detalhada da utilização desses sistemas agroflorestais justifica a realização deste estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar, sob os aspectos agronômicos, econômicos e ambientais, a utilização de sistemas agroflorestais à base de cacau (*Theobroma cacao* L.) e mogno (*Swietenia macrophylla* King) como alternativa para recuperação de áreas degradadas pelo desmatamento da floresta Amazônica brasileira.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Realizar pesquisa documental da produção científica na Amazônia brasileira sobre os sistemas agroflorestais com cacau buscando identificar as principais áreas em que essas pesquisas estão inseridas, assim como, subsidiar a prospecção de escopos complementares para futuras pesquisas.
- b) Avaliar a viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais à base de cacau e mogno no Estado do Pará, comparando o sistema recomendado pela pesquisa agropecuária oficial com um sistema implantado em área de um produtor rural;
- c) Analisar o crescimento e rendimento de madeira das plantas de mogno utilizadas como sombreamento definitivo em sistemas agroflorestais a base de cacau implantadas em uma propriedade rural localizada no Estado do Pará, na Amazônia brasileira, em solos do tipo Nitrossolo e Argissolo Vermelho Amarelo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA E A COBERTURA DO SOLO NAS ÁREAS DESMATADAS

As florestas tropicais da Pan-Amazônia, localizadas na América do Sul nas áreas de influência da bacia do rio Amazonas, estão distribuídas em nove países, com área de aproximadamente 7,8 milhões de quilômetros quadrados, tendo a sua maior área localizada no Brasil (cerca de 64%), na Amazônia Legal, com uma área de cinco milhões de quilômetros quadrados, compreendendo os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e parte dos territórios do Maranhão, Mato Grosso e Rondônia. Estas florestas tem sofrido grande pressão das atividades humanas nas ultimas décadas (SANTOS, PEREIRA e VERÍSSIMO, 2013).

O desmatamento das florestas na Amazônia Legal pode ser considerado um fenômeno de natureza bastante complexa, que não pode ser atribuído a um único fator. No entanto, pode estar associado às políticas governamentais de desenvolvimento e incentivo fiscais para a região, iniciadas na década de 1970, que resultaram na especulação de terra ao longo das estradas, no crescimento das cidades, no aumento dramático da pecuária bovina de corte, na exploração madeireira e na agricultura de subsistência e de larga escala. Esse aumento das atividades econômicas em larga escala sobre os recursos naturais tem aumentado drasticamente a taxa de desmatamento na região (RIBEIRO, JARDIM e ROSA, 2004; FERREIRA, VENTICINQUE e ALMEIDA, 2005).

O desmatamento de grandes áreas de floresta pode provocar diversos impactos negativos para o ecossistema, tais como: a) perda de produtividade agrícola, causado pela erosão, compactação do solo e exaustão dos nutrientes; b) mudanças no regime hidrológico; c) perda da biodiversidade; d) emissões de gases do efeito estufa (FEARNSIDE, 2005).

A ocupação da Amazônia brasileira levou a um aumento significativo no avanço da agricultura sobre a floresta, aumentando o desmatamento na região (CORRÊA, RAMOS, GAMA-RODRIGUES e MÜLLER, 2006). Esse modelo conhecido como “derruba e queima” é considerado resultado da agricultura itinerante, onde o plantio de culturas anuais para a subsistência é efetuado após a derrubada e queimada da floresta primária ou capoeira (CORRÊA, RAMOS, GAMA-RODRIGUES, MÜLLER, *et al.*, 2006; FEITOSA e SILVA, 2010; POMPEU *et al.*, 2011). A área desmatada é utilizada no máximo por três anos com

culturas de ciclo curto e, após esse período, a mesma é abandonada, devido à redução da fertilidade do solo, e novas áreas são abertas para novos plantios (SANGUINO, A. C. *et al.*, 2007). Essa prática está associada à expansão da fronteira agrícola na Amazônia, onde a floresta nativa é substituída progressivamente por áreas de cultivo itinerante e depois por áreas de pastagens, consolidando a pecuária extensiva como a principal atividade produtiva nos sistemas de produção da região (FEITOSA e SILVA, 2010; CONDÉ *et al.*, 2013). Esse modelo de expansão tem acarretado problemas de ordem social, econômica e ambiental para a região Amazônica, assim como, impulsionado o avanço das atividades econômicas sobre a floresta nativa (POMPEU *et al.*, 2011).

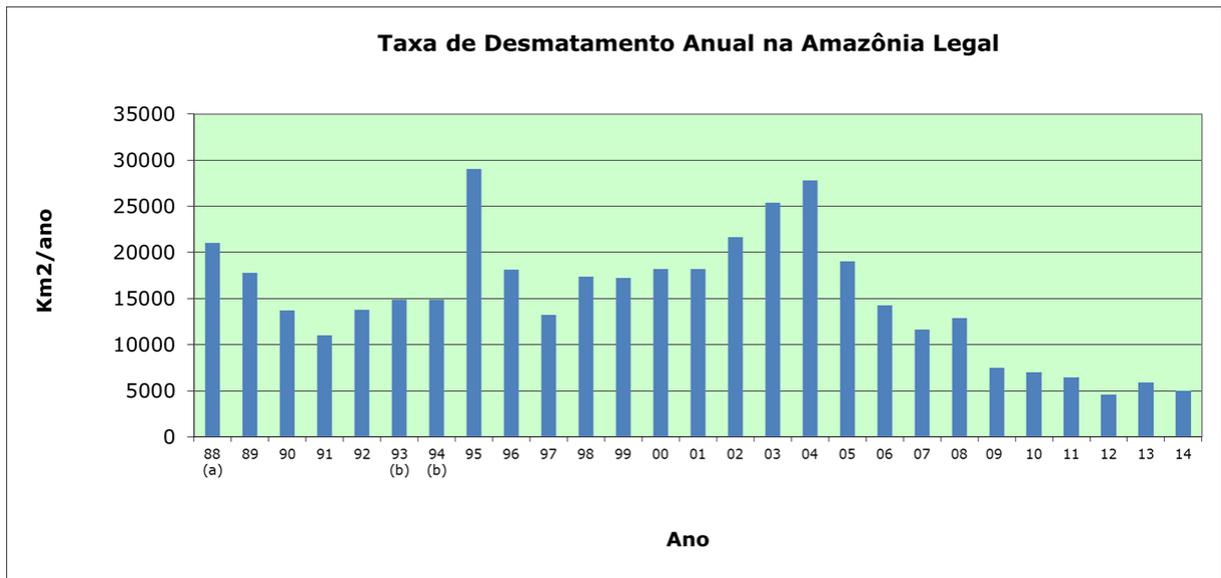
O relatório do projeto *TerraClass* de 2012, que apresenta informações sobre o desmatamento e a dinâmica do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira, mostra que em 2012, cerca de 21% da Amazônica brasileira (751.340,47 km²) são de áreas desflorestadas. O uso da terra e cobertura vegetal nas áreas desflorestadas configurava-se da seguinte forma: Áreas urbanas (0,71%); mineração (0,14%); outras ocupações (2,09%) e cultivo do solo pela agricultura, pecuária e silvicultura (97,06%), desses: 22,92% de vegetação secundária (172.189,78 km²)¹; 5,64% com agricultura anual (42.346,40 km²); 61,95% com áreas de pastagens, onde se inclui o pasto limpo, pasto sujo, regeneração com pasto e pasto com solo exposto (442.402,72 km²)² e 0,42% de reflorestamento (3.176,33 km²). O relatório conclui que enquanto a agricultura anual e a vegetação secundária avançam sobre as áreas de pastagem abandonadas, as áreas de pastagem avançam sobre novas áreas de florestas desmatadas (INPE e EMBRAPA, 2014).

Os resultados apresentados mostram que, mesmo com a desaceleração no desmatamento na região, houve um aumento de 6% da área desmatada, cerca de 43.588 km², de 2008 a 2012, atingindo taxa anual de aproximadamente 1,5% ao ano (INPE e EMBRAPA, 2014).

¹ Áreas desmatadas que se encontram em processo de regeneração natural da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente.

² Pasto limpo: área de pastagem produtiva com predomínio de vegetação herbácea e cobertura de espécies gramíneas entre 90% e 100%; pasto sujo: área de pastagem produtiva com predomínio de vegetação herbácea e cobertura de espécies gramíneas entre 50% e 80% e vegetação arbustiva esparsa; regeneração com pasto: áreas de pastagem em processo de regeneração da vegetação nativa; pasto com solo exposto, áreas de pastagem com pelo menos 50% de solo exposto.

Desde o início do monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal pelo Programa de Monitoramento da Amazônia por Satélite – PRODES, observa-se que as taxas de desmatamento apresentaram comportamento decrescente a partir do ano de 2004, após anos de oscilação e tendência crescente (Figura 1). Esses resultados mostram que houve um decréscimo de – 82% no desmatamento entre o ano de 2004 e de 2014 (INPE, 2015).



Fonte: INPE, 2015.

Figura 1 – Taxa de desmatamento anual da Floresta Amazônica brasileira ($\text{km}^2 \text{ano}^{-1}$) monitorada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais entre 1988 e 2014.

Os estados do Pará e Mato Grosso apresentaram as maiores áreas desmatadas da região até o ano de 2014, com 257.034,7 km^2 e 207,400,6 km^2 , respectivamente, cerca de 61% dos 760.305,5 km^2 de áreas desmatadas em toda a Amazônia Legal (INPE, 2015).

Esses dados mostram que, mesmo que cessasse o desmatamento da floresta na região, existem grandes áreas de desmatadas em estado de abandono ou em subutilização, que podem ser aproveitadas para serem cultivadas e/ou recuperadas com novas atividades econômicas sustentáveis do ponto vista econômico, social e ambiental proporcionando o desenvolvimento sustentável para a região.

3.2 OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS)

A história dos sistemas agroflorestais surgiu há milhares de anos atrás como uma prática agrícola, quando o homem começou a praticar o corte e queima, mudando o cultivo, usando as árvores para restaurar a fertilidade do solo durante um período de pousio. A arte e a ciência de cultivar árvores (ou outras plantas lenhosas perenes) em associação com culturas agrícolas ou animais, conhecidos recentemente como sistemas agroflorestais, é vista por muitos cientistas e agricultores com uma opção inovadora e valiosa do uso da terra. Vantagens dos sistemas agroflorestais podem ser descritas como o fornecimento de vários produtos como alimentos, madeira, forragem, folhas, fibras, medicamentos e serviços, como, manutenção da fertilidade do solo, controle de erosão, melhoria do microclima, aumento da biodiversidade e proteção de bacias hidrográficas (TORQUEBLAU, 2000).

Historicamente, os sistemas agroflorestais foram estritamente definidos em termos de números e tipos de espécies que interagem em um sistema agroecológico e comumente conhecido como a integração ou a retenção deliberada de árvores em terras agrícolas. Atualmente, um sistema agroflorestal é descrito também em termos econômicos, sublinhando que o uso de espécies lenhosas deve resultar no aumento tanto da produtividade biológica ou o retorno econômico do sistema, ou ambos (JERNECK e OLSSON, 2013).

A conceituação mais aceita de sistemas agroflorestais define que agrofloresta é um nome coletivo para sistemas de uso da terra e tecnologias onde lenhosas perenes são deliberadamente usadas nas mesmas unidades de manejo da terra como culturas agrícolas e/ou animais, em alguma forma de arranjo espacial ou sequência temporal. Em sistemas agroflorestais, há tanto interações ecológicas como econômicas entre os diferentes componentes (LUNDGREN e RAINY, 1983).

Essa definição apresenta os amplos limites de sistemas agroflorestais e as características típicas de tais sistemas (LUNDGREN e RAINY, 1983):

1. Sistemas agroflorestais envolvem normalmente duas ou mais espécies de plantas (ou plantas e animais), pelo menos uma das quais é uma arbórea;
2. Um sistema agroflorestal tem sempre duas ou mais saídas;
3. O ciclo de um sistema agroflorestal é sempre maior que um ano;
4. Até mesmo o mais simples sistema agroflorestal é mais complexo, ecologicamente (estrutural e funcional) e economicamente, que um sistema de monocultura.

Sistemas de produção agroflorestais são apropriados para os ecossistemas frágeis e estáveis, tanto em escalas que vão de campos agrícolas para fazendas e para regiões, e em níveis de subsistência ou comerciais. Os objetivos são: a diversificação da produção, controle da agricultura itinerante, aumento nos níveis de matéria orgânica do solo, fixação de nitrogênio atmosférico, reciclagem de nutrientes, modificação de microclima e otimização da produtividade do sistema, respeitando o conceito de produção sustentável (SOMARRIBA, 1992).

No contexto do recente paradigma do desenvolvimento sustentável, aceitar o sistema agroflorestal como uma forma agrícola do uso da terra, pode ter consequências importantes em termos de políticas de desenvolvimento rural (TORQUEBIAU, 2000).

3.2.1 Classificação dos sistemas agroflorestais

Os diferentes sistemas agroflorestais existentes em diferentes lugares são tão complexos e diversificados que precisam ser agrupados e classificados em diferentes categorias, a fim de avaliá-los e desenvolver alguns planos de ação para a sua melhoria. Vários critérios podem ser usados para classificá-los; os mais comumente utilizados incluem a estrutura do sistema (composição e arranjo de componentes), as funções, escala sócio-econômica da gestão e disseminação ecológica. No entanto, uma vez que existem apenas três conjuntos básicos de componentes que são gerenciados em todos os sistemas agroflorestais, ou seja, lenhosas perenes (geralmente referidas como árvores), plantas herbáceas ou culturas, e os animais, um primeiro e simples passo lógico é classificar os sistemas agroflorestais com base na sua composição (NAIR, 1985).

Assim, existem três tipos básicos de sistemas agroflorestais:

- Agrosilviculturais (culturas e árvores).
- Silvipastoris (pastagem / animais + árvores).
- Agrossilvipastoril (culturas + pastagem / animais + árvores).

Outros sistemas agroflorestais especializados também podem ser definidos, como, por exemplo, apicultura com árvores, aquicultura envolvendo árvores e arbustos, muitas árvores polivalentes, e assim por diante.

Outra abordagem sobre a organização dos sistemas agroflorestais leva em consideração as práticas agroflorestais realizadas dentro do sistema. Sistemas agroflorestais

consistem de tipos específicos de práticas agroflorestais que são realizadas de modo a formar um sistema de gestão de terras dominante na localidade ou área específica, descrita de acordo com a composição biológica global e arranjo do sistema (NAIR, 1985). Com base nessa proposição, uma nova classificação de sistemas agroflorestais em seis categorias estruturais é proposta (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação de sistemas agroflorestais em seis categorias estruturais.

Culturas sob cobertura arbórea	Árvores dispersas em terras de cultivo Plantação de árvores para sombreamento de cultivos agrícolas Parque natural Culturas em pomares Combinações de cultivos
Agroflorestas	Quintais agroflorestais Jardins florestais de aldeias Bosques mistos Zonas neutras de separação de áreas
Sistemas Agroflorestais em um arranjo linear	Quebra-ventos e cinturões de proteção Plantações de limites de plantio Cercas vivas Barreira de conservação do solo Aléias (alley cropping) Plantação de beira de estrada Faixas de arborização
Sistemas agroflorestais com animais - agrossilvicultura	Plantio de árvores em áreas de pastagem Arborização de pastagens naturais Alimentação de animais com partes das arvores (brotos, galhoes, etc.) Pastoreio na nas margens de rios matas etc.
Sistemas Agroflorestal sequencial	Agricultura itinerante Pousio melhorado. Taungya (cultivos intercalares associados a reflorestamentos, nos primeiros anos de implantação)
Técnicas agroflorestais menores	Sericicultura Produção de goma-laca Apicultura com árvores Aquicultura com árvores

Fonte: Adaptado de Torquebiau (2000).

Em classificações dos sistemas agroflorestais utilizadas por autores brasileiros, quatro categorias são comumente identificadas, as quais consideram as condições ecológicas, econômicas, sociais e culturais (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2010):

- a) Agrossilvicultural: associação de espécies florestais com culturas agrícolas anuais ou perenes.
- b) Agropastoril: combinação de cultivos agrícolas, anuais e perenes, com plantas forrageiras e animais.

- c) Silvopastoril: combinação de árvores ou arbustos com plantas forrageiras herbáceas e animais.
- d) Agrossilvipastoril: combinação de culturas agrícolas, essências florestais e animais, em uma mesma área ou em uma sequência temporal.

3.2.2 A sustentabilidade dos sistemas agroflorestais

Como definir o desenvolvimento sustentável? Uma das definições mais comumente citadas salienta os aspectos econômicos, definindo o desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento econômico que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Outra tem uma visão mais ampla, definindo o desenvolvimento sustentável como o tipo de atividade humana que alimenta e perpetua o cumprimento histórico de toda a comunidade da vida na terra (BOSSSEL, 1999).

Um conceito de renda sustentável define uma economia sustentável como aquela em que não há danos líquidos aos ativos ambientais entre o início e o fim de um período (TAMUBULA e SINDEN, 2000).

Sustentabilidade para um projeto individual também pode ser definida com uma combinação de indicadores. Sustentabilidade pode ser definida como uma melhoria no desempenho produtivo de um sistema, sem esgotar os recursos naturais sobre os quais o desempenho futuro depende. A sustentabilidade é um conceito dinâmico que envolve trocas intertemporais. Para implementar o critério de sustentabilidade, é necessário saber não apenas a medida em que a renda atual é preferível à renda futura, mas também o efeito das atividades de geração de renda em curso sobre o futuro da produtividade da base de recursos naturais (PANDEY e HARDAKER, 1995).

Agricultura sustentável está relacionada com a capacidade de manutenção, no longo prazo, da qualidade e quantidade dos recursos naturais dos agroecossistemas, vindo a conciliar a produtividade agrícola com a redução dos impactos ao meio ambiente provocados pela atividade, assim como atendendo as necessidades econômicas e sociais das diferentes comunidades rurais e urbanas (FAO, 1996).

Em sistemas agroflorestais, deve haver interações ecológicas e econômicas positivas entre as árvores e os outros componentes agrícolas. Se tais interações são devidamente

alcançadas, o sistema pode combinar os objetivos de produção e de conservação, sendo tal combinação a própria essência da sustentabilidade (TORQUEBIAU, 1992).

Os sistemas agroflorestais são pensados para oferecer maiores possibilidades de combinação de serviços de provisão com outros tipos de serviços (que regulam, de apoio, ou mesmo culturais). Esses sistemas consistem em árvores, espécies agrícolas de cultivo e/ou animais, e apresentam estrutura espacial e temporal complexa. Os potenciais benefícios ambientais desses sistemas incluem o fornecimento de habitat e refúgios para a biodiversidade, o sequestro de carbono, a regulação do microclima e a fixação de nitrogênio por leguminosas, entre outros (MEYLAN *et al.*, 2013). Esses sistemas têm sido cada vez mais promovidos como sistemas produtivos sustentáveis, por sua cobertura vegetal contínua, diversificação da produção e ciclagem de nutrientes eficazes. Seu uso é particularmente relevante quando os solos têm baixo potencial agrícola e os agricultores têm pouco acesso aos insumos (ROUSSEAU *et al.*, 2012).

Os sistemas agroflorestais apresentam-se como uma das melhores alternativas de uso do solo nas regiões tropicais, onde as diferentes espécies vegetais utilizadas melhoram a captura de energia solar, simulando as florestas naturais em relação à estrutura, formas de vida e conservação do meio ambiente. A exemplo da floresta natural, um sistema agroflorestal estabelece mecanismos de proteção contra a compactação, lixiviação e erosão do solo e, além da diversidade, favorece a ciclagem de nutrientes. Esses sistemas oferecem alternativas menos impactantes e podem auxiliar na reversão de processos de degradação, contribuindo, desta maneira, para a manutenção da biodiversidade animal e vegetal. Além disso, apresentam inúmeras vantagens do ponto de vista ecológico e socioeconômico, quando comparados aos monocultivos, pois diversificam a produção, melhoram a conservação do solo, pela recuperação e manutenção do aporte de matéria orgânica e, ao mesmo tempo, reduzem a pressão sobre os recursos naturais (RIBEIRO, JARDIM e ROSA, 2004; CORRÊA, RAMOS, GAMA-RODRIGUES e MÜLLER, 2006; AYRES e ALFAIA, 2007; DA COSTA AYRES e ALFAIA, 2007; SANGUINO, A. C., *et al.*, 2007; SILVA, SENA e SILVA JÚNIOR, 2007; VIEIRA *et al.*, 2007; MELO, NETO e CORRÊA, 2013).

Os sistemas agroflorestais surgem como opção viável entre os sistemas de produção sustentáveis existentes, tendo como objetivo de contribuir para o bem-estar nutricional, social e econômico dos produtores rurais, assim como para a conservação dos recursos naturais, apresentando-se como uma das alternativas sustentáveis para a agricultura familiar (ARCO-VERDE, SILVA e MOURÃO JÚNIOR, 2009; FRANCEZ e ROSA, 2011).

3.2.3 Os sistemas agroflorestais à base de cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia Brasileira

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) tem origem na foz do rio Orinoco, na Região Amazônica, de onde migrou para as fronteiras climáticas das regiões equatoriais e tropicais da terra. Sua disseminação mundial se deu a partir do estado do Pará, indo para o estado da Bahia e de onde foi levado para viajantes franceses para as Ilhas São Tomé, Príncipe e Fernando e para a África, de lá sendo levado para a Ásia (MENDES, 2014). O cacau é produzido em países em um cinturão entre 10°N e 10°S do Equador, onde o clima é apropriado para seu cultivo. Atualmente, o cacauzeiro é cultivado em aproximadamente 49 países, nos continentes da África, América, Ásia e Oceania tendo como os seis principais produtores mundiais a Costa do Marfim, Gana, Indonésia, Nigéria, Camarões, Brasil e Indonésia, que respondem por cerca de 85% da produção mundial (ICCO, 2014).

No Brasil, o cacauzeiro é cultivado nos estados da Bahia, Pará, Rondônia, Espírito Santo, Amazonas e Mato Grosso, em uma área de 775.041 hectares e produção de 270.340 toneladas de amêndoas secas de cacau, com rendimento médio de 384 kg/ha (IBGE, 2014).

Por ser uma planta nativa da floresta amazônica, o habitat natural da árvore de cacau é no extrato inferior da floresta, vegetando bem em sub-bosques e matas raleadas, dessa forma, necessitando de sombreamento definitivo quando explorada comercialmente. O plantio comercial de cacauzeiros exige que dois tipos de sombreamento sejam feitos para sua implantação: o sombreamento provisório, feito com o plantio de plantas de porte médio e ciclo de vida médio (bananeira, mamão, etc); e o sombreamento definitivo, feito pelo plantio de espécies arbóreas que fornecerão sombra para o cacau até o final do cultivo, simulando as condições naturais das florestas tropicais. Portanto, é considerada uma cultura agrícola viável para ser explorada na forma de sistemas agroflorestais (CEPLAC, 2013).

Na Amazônia brasileira, o incentivo ao cultivo do cacau em sistemas agroflorestais se deu a partir de 1976, através da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), com apoio do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), que fomentou o desenvolvimento da cacauicultura em toda a região (CEPLAC, 1997).

O cultivo do cacau na Amazônia brasileira é realizado, na sua maioria, por pequenos agricultores, com área média de dez hectares, obedecendo ao sistema de produção preconizado pela pesquisa agropecuária, composto pelas fases: i) construção do viveiro para produção de mudas de cacau; ii) plantio do sombreamento provisório e definitivo; iii) plantio

das mudas de cacau; iv) manejo do cacau no campo (controle de ervas daninhas, manejo de pragas, poda, desbrota e manejo do sombreamento provisório e definitivo; v) beneficiamentos do cacau: colheita, quebra, fermentação e secagem das amêndoas (MENDES, 2014).

No cultivo do cacau em sistemas agroflorestais, o sombreamento definitivo é feito com plantas arbóreas regionais de valor comercial, como as essências florestais madeireiras, plantas fruteiras e produtoras de látex, entre outras.

Os sistemas agroflorestais à base de cacau não têm tipologia pré-estabelecida, uma vez que representam, uma grande diversidade de agrossistemas, os quais são únicos. Neste contexto, esses sistemas são bons conectores ecológicos e fornecem grande parte das funções ecológicas das florestas e serviços associados, como estocar quantidades significativas de carbono e, portanto, mitigar mudanças climáticas. Portanto, podem atuar como fontes ou conectores para conservar a biodiversidade do solo e da paisagem. Sistemas agroflorestais com cacau têm alta riqueza de espécies de plantas e complexidade estrutural, promovendo a diversificação de produtos para o autoconsumo e venda, cobertura permanente do solo com grandes quantidades de matéria orgânica, tendo assim muitas características geralmente recomendados para adaptar a agricultura às mudanças climáticas (ROUSSEAU *et al.*, 2012; SOMARRIBA *et al.*, 2013)

A pesquisa agropecuária brasileira voltada ao cacau, realizada pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), tem investido esforços para propor diferentes modalidades de cultivo de cacau em sistemas agroflorestais, bem como validar experiências bem sucedidas desenvolvidas por agricultores das diferentes regiões da Amazônia. Atualmente, existem ao menos seis modalidades sistemas agroflorestais com cacau recomendados para a Amazônia (MELO, NETO e CORRÊA, 2013).

Os sistemas agroflorestais com cacau atualmente recomendados para a Amazônia são: (CEPLAC, 2013).

- Sistema sequencial com pimenta-do-reino: Neste sistema, a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), utilizada como sombreamento provisório, é plantada inicialmente associada a essências florestais e frutíferas regionais em espaçamento maior que o plantio em monocultivo. Quando a pimenta-do-reino e outras plantas já estiverem fornecendo sombra, as mudas de cacau e de outras espécies perenes comerciais são implantadas.

- Sistema cacaueteiro x seringueira: Nesse sistema a seringueira (*Hévea brasiliensis*), usada como sombreamento definitivo, é plantada em linhas. Ao mesmo tempo, são implantadas as mudas de bananeiras entre as linhas (para sombreamento provisório); após um ano do plantio das seringueiras, são implantadas as mudas de cacaueteiros e culturas anuais (feijão, milho, etc.) que podem ser cultivadas nas entrelinhas até os três primeiros anos de cultivo.
- Sistema cacaueteiro x açazeiro em faixas: Nesse sistema, inicialmente são implantados as mudas de açái (*Euterpe oleraceae*) em faixas com cinco fileiras e espaçamento de 15 metros entre faixas. Após o plantio do açái, são implantadas essenciais florestais nativas da Amazônia e após isso, são implantadas mudas de bananeiras e cacau entre as faixas de açazeiro. Até os três primeiros anos, culturas anuais podem ser cultivadas entre as linhas do plantio.
- Sistema cacaueteiro x mogno (*Swetenia macrophylla* King): Nesse sistema, o mogno e outras espécies arbóreas amazônicas são implantados inicialmente. No mesmo período, implantam-se as mudas de bananeira, sendo que, após o crescimento da bananeira, implanta-se as mudas de cacau. Após a estabilização do plantio, aproximadamente em 5 a 6 anos, faz-se o manejo do sombreamento, retirando as espécies arbóreas excedentes.
- Sistema de cacauais produtivos enriquecidos com outras espécies vegetais: Nesse sistema, as espécies arbóreas sem valor comercial, utilizadas como sombreamento definitivo, são substituídas por essenciais florestais amazônicas de valor comercial e fruteiras regionais. O objetivo dessa substituição é transformar esses monocultivos em sistemas agroflorestais mais sustentáveis, agregando valor a essas áreas.

Vale ressaltar que, após a estabilização do crescimento dos sistemas agroflorestais com cacau, ficarão em campo apenas os cacaueteiros e as plantas arbóreas utilizadas no sistema. As plantas utilizadas como sombreamento provisório são retiradas na sua totalidade até no máximo o quarto ano após o plantio.

O cultivo do cacaueteiro em sistemas agroflorestais no ecossistema de várzeas é feito em associação com outras espécies de valor comercial como a seringueira (*Hevea brasiliensis*), açazeiro (*Euterpe oleraceae*), andiroba (*Carapa guianensis*) e ucuúba (*Virola*

surinamensis). Nesse sistema as plantas de cacau são de origem nativa. Nesse sistema agroflorestal, as plantas de cacau, açazeiro, seringueira e as essências florestais, como a andiroba e ucuúba, são manejadas através do raleamento ou adensamento do número de plantas, conforme a aptidão da área. A densidade de plantas de cacau varia entre 200 e 400 plantas por hectare. As receitas são obtidas através da colheita do cacau em amêndoas secas, frutos de açaí, extração do látex da seringueira e da coleta de sementes de andiroba para produção de óleo essencial (CEPLAC, 2013).

CAPÍTULO 1

Uso dos sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia brasileira como alternativa de agricultura sustentável para a região: uma revisão da produção científica³

Sylvan Martins dos Reis^{a,b,c}, Edson Talamini^a, Homero Dewes^a

^aCentro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios / CEPAN – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre - RS – Brasil

^bComissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira / CEPLAC –Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Belém – Brazil.

^cCorresponding author: sylvanreis@hotmail.com

³ Este artigo será submetido para publicação na revista Agroforestry Systems.
<http://www.springer.com/life+sciences/forestry/journal/10457>.

Resumo

O desmatamento da floresta amazônica tem causado preocupação na sociedade civil e científica mundial, demandando pesquisas que busquem mitigar os impactos ambientais provocados por esse fenômeno. Este estudo tem como objetivo realizar pesquisa documental da produção científica na Amazônia brasileira sobre os sistemas agroflorestais com cacau buscando identificar as principais áreas em que essas pesquisas estão inseridas, assim como, subsidiar a prospecção de escopos complementares para futuras pesquisas. Os principais resultados encontrados mostram que ainda é pequeno o número de publicações em periódicos brasileiros com classificação Qualis/CAPES entre A2 e B6. Um total de 34 artigos publicados entre 2002 e 2013 foi selecionado para o estudo. Os resultados mostram que mais de 47 espécies vegetais foram incluídas nos estudos, sendo que as principais espécies estudadas são nativas da região Amazônica de valor comercial e usualmente cultivadas tanto em monocultivo como em sistemas agroflorestais. 56% das pesquisas foram instaladas em áreas de produtores rurais, como forma de validar resultados obtidos de experiências de agricultores, assim como, proporem novas alternativas de sistemas. A sistematização dos resultados pode servir de subsídio para novas pesquisas sobre o tema.

Palavras-chave: Revisão sistemática, sustentabilidade, desmatamento, agrossilvipastoril, agronegócio, floresta, uso da terra, essências florestais.

Introdução

A ocupação intensa da Amazônia brasileira começou no início da década de 1970, tendo nos projetos de desenvolvimento governamentais e incentivos fiscais fortes condutores do desmatamento da floresta amazônica nas décadas de 1970 e 1980, resultado do avanço da agricultura itinerante, da abertura de grandes áreas para exploração da pecuária, da exploração madeireira e mineral (Ribeiro et al., 2004a).

O modelo tradicional de ocupação da Amazônia levou a um aumento significativo no avanço da agricultura sobre a floresta, aumentando o desmatamento na região (Corrêa et al., 2006a). Esse modelo conhecido como “corte e queima” ou “derruba e queima” é considerado resultado da agricultura migratória, onde o plantio de culturas de ciclo curto é realizado após a derrubada e queimada da floresta primária ou capoeira (Corrêa et al., 2006b; Feitosa and Silva, 2010; Pompeu et al., 2011). A área desmatada é utilizada, no máximo, por três anos e, após esse período, a mesma é abandonada e novas áreas são abertas para novos plantios (Sanguino et al., 2007a). Essa prática está associada à expansão da fronteira agrícola na Amazônia, onde a floresta nativa é substituída progressivamente por áreas de cultivo itinerante e depois por áreas de pastagens, consolidando a pecuária extensiva como a principal atividade produtiva nos sistemas de produção da região (Condé et al., 2013; Feitosa and Silva, 2010). Esse modelo de expansão tem acarretado problemas de ordem social, econômica e ambiental para a região Amazônica (Pompeu et al., 2011).

O aumento da agricultura em pequena e larga escala sobre os recursos da Amazônia legal brasileira tem aumentado drasticamente a taxa de desmatamento na região, provocando diversos impactos negativos para o ecossistema, tais como: a) perda de produtividade agrícola, causado pela erosão e a compactação do solo e a exaustão dos nutrientes; b) mudanças no regime hidrológico; c) perda da biodiversidade; d) emissões de gases do efeito estufa (Fearnside, 2005).

No entanto, a produção de alimentos e a conservação da biodiversidade não são necessariamente excludentes. Assim, o uso de sistemas agroflorestais tem sido proposto como uma forma de agricultura sustentável, mantendo a biodiversidade, os serviços ambientais associados e a produção de alimentos (Matthias De Beenhouwer, 2013). Assim como, para a redução das taxas de desmatamento.

Os sistemas agroflorestais envolvem a combinação de cultivos agrícolas com essências florestais e/ou animais na mesma área. Sendo considerados como uma das melhores alternativas de uso do solo nas regiões tropicais, onde as diferentes espécies vegetais utilizadas melhoram a captura de energia solar, simulando as florestas naturais em relação à estrutura, formas de vida e conservação do meio ambiente. Da mesma forma que a floresta natural, um sistema agroflorestal estabelece mecanismos de proteção contra a compactação, lixiviação e erosão do solo e, além da diversidade, favorece a ciclagem de nutrientes. Esses sistemas oferecem alternativas menos impactantes e podem auxiliar na reversão de processos de degradação, contribuindo, desta maneira, para a manutenção da biodiversidade animal e vegetal, além de apresentarem inúmeras vantagens do ponto de vista ecológico e socioeconômico, quando comparados aos monocultivos, pois diversificam a produção, melhoram a conservação do solo, pela recuperação e manutenção do aporte de matéria orgânica e, ao mesmo tempo, reduzem a pressão sobre os recursos naturais (Ayres and Alfaia, 2007; Corrêa et al., 2006a; da Costa Ayres and Alfaia, 2007; Melo et al., 2013; Ribeiro et al., 2004a; Sanguino et al., 2007b; Silva et al., 2007; Vieira et al., 2007).

Os sistemas agroflorestais surgem como opção viável entre os sistemas de produção sustentáveis existentes, tendo o objetivo contribuir para o bem-estar nutricional, social e econômico dos produtores rurais, assim como para a conservação dos recursos naturais, apresentando-se como uma das alternativas sustentáveis para a agricultura familiar na Amazônia (Arco-Verde et al., 2009; Francez and Rosa, 2011)

Nesse contexto, a demanda pela pesquisa agroflorestral na Amazônia surge da necessidade de proporcionar alternativas tecnológicas e inovações que visem o desenvolvimento socioeconômico regional e substituam a agricultura migratória, dois dos grandes desafios que ainda persistem na região (Bentes-Gama et al., 2005).

A pesquisa agroflorestral na Amazônia brasileira começou a ser sistematizada a partir dos anos 1980, por instituições de pesquisa agropecuária governamentais, tais como a Comissão Executiva Cacaueira (CEPLAC), Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), porém atingiu maior nível de publicações científicas a partir dos anos 2000, como resposta a demanda crescente por parte dos agricultores que já realizavam essa prática em algumas localidades da região (Brienza Júnior et al., 2009).

A necessidade de apresentar alternativas mais sustentáveis de uso da terra para a Amazônia leva a uma necessidade constante da realização de estudos voltados a identificar, avaliar e propor modelos de sistemas agroflorestrais sustentáveis que possam ser utilizados como alternativa para o uso da terra nas áreas desmatadas da Região Amazônica. Dentre esses, surgem os sistemas agroflorestrais com cacau, que passaram a ser incentivados a partir de 1976, através da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), com apoio do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), difundindo o cultivo de cacau em toda a região Amazônica (CEPLAC, 1997).

Nesse contexto, buscou-se catalogar e avaliar a produção científica sobre sistemas agroflorestrais na Amazônia brasileira, de forma a expor os resultados obtidos pela comunidade científica envolvida nesses estudos.

Este estudo tem como objetivo realizar pesquisa documental da produção científica sobre os sistemas agroflorestrais com cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia brasileira,

buscando identificar as principais áreas em que essas pesquisas estão inseridas, assim como, subsidiar a prospecção de escopos complementares para futuras pesquisas.

Material e Métodos

A pesquisa documental foi realizada por meio de busca em portais eletrônicos que disponibilizam publicações científicas realizadas no Brasil. As principais bases de dados utilizadas foram: Scielo (<http://scielo.br/>), Portal de Periódicos Capes (<http://periodicos.capes.gov.br/>), Google Acadêmico (<http://scholar.google.com.br/>), Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>), ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>) e Scopus (<http://www.scopus.com/>). Os resultados encontrados sobre a literatura referente à pesquisa científica sobre sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira mostrou que a maioria das publicações se dá a partir dos anos 2000. Portanto, esta pesquisa analisa as publicações científicas no período de 2000 a 2014.

Diante da grande repetição das publicações, que surgem como resumos e artigos publicados em anais de congressos, teses e dissertações, palestras, folhetos, publicações de órgãos governamentais e artigos científicos publicados em periódicos nacionais, entre outros, foram analisados os artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, pois os mesmos apresentavam-se mais completos e com certo grau de rigor científico. Para busca dos documentos selecionados, foram empregados os “operadores” booleanos: Sistema Agroflorestal, Agrossilvipastoril, Agroflorestais, Amazônia, Agroforestry systems, Amazon, Brasil, Brazil, Cacau, Cocoa.

A análise de conteúdo foi realizada através de revisão sistemática da literatura científica selecionada. Denomina-se revisão sistemática da literatura a revisão planejada da literatura científica, que usa métodos sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar

criticamente estudos relevantes sobre uma questão claramente formulada. O objetivo da sistematização é reduzir possíveis vieses que ocorreriam em uma revisão não sistemática, tanto os vieses observados na forma de revisão da literatura e na seleção dos artigos quanto aqueles detectados pela avaliação crítica de cada estudo (de Sousa and Ribeiro, 2009).

Resultados

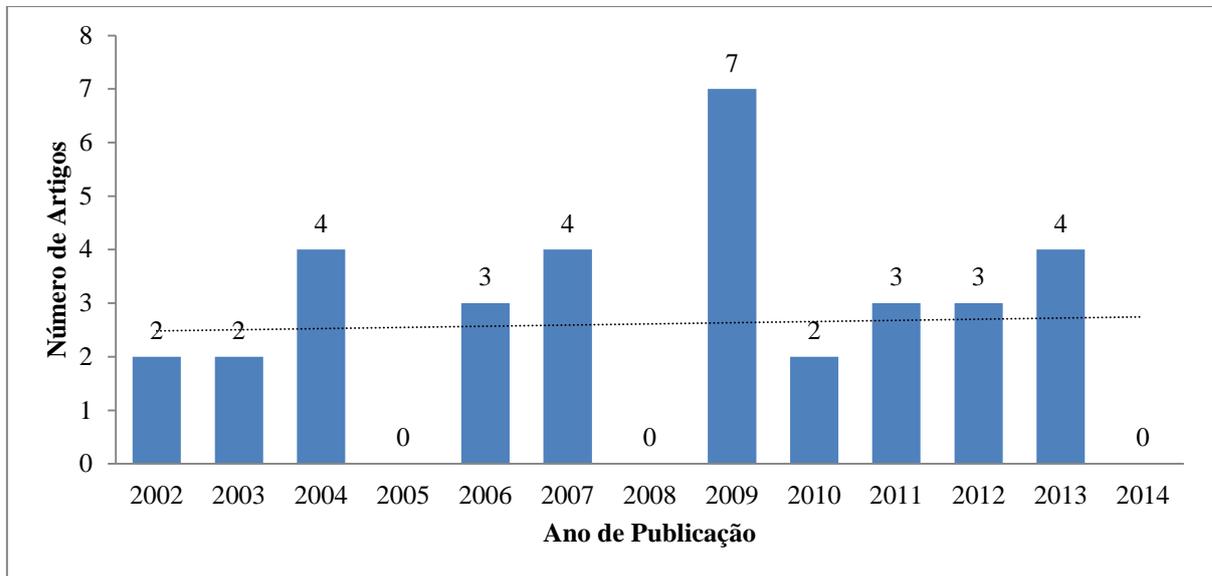
A pesquisa realizada resultou em aproximadamente 500 registros de publicações sobre sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Após o processo de refinamento, feito através do tipo de publicação, foram selecionados 81 artigos publicados entre 2002 e 2014 em periódicos científicos brasileiros de circulação nacional e internacional, não tendo sido encontrados estudos específicos sobre sistemas agroflorestais com base de cacau em periódicos internacionais.

Refinando os critérios de seleção das publicações, focando nos artigos sobre sistemas agroflorestais com cacau na Amazônia brasileira, foram selecionados 34 artigos para a realização deste trabalho. Tais artigos foram publicados no período compreendido entre 2002 e 2013, não sendo encontrados registros em 2014.

Na distribuição dos artigos por ano de publicação, observa-se tendência crescente do número de artigos publicados a partir de 2002, porém com distribuição irregular, com maiores frequências nos anos de 2004, 2007, 2009 e 2013 (Figura 1).

Figura 1. Distribuição da frequência da publicação de artigos científicos sobre sistemas agroflorestais com cacau na Amazônia brasileira em periódicos nacionais entre 2002 e 2014.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2015.

No Quadro 1 estão descritos os principais objetivos e resultados obtidos nos 34 artigos selecionados. Esses indicadores foram selecionados para oferecer melhor compreensão dos diferentes temas abordados nos estudos sobre sistemas agroflorestais com cacau na Amazônia brasileira.

Quadro 1. Aspectos relevantes identificados nos artigos publicados em revistas brasileiras sobre sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* L.) na Amazônia brasileira no período de 2002 a 2013, em ordem cronológica.

Objetivos	Principais resultados e conclusões	Autor/Ano
Definir os sistemas agroflorestais com cacau mais apropriados para as condições ecológicas de Rondônia.	Os sistemas agroflorestais com o cacau são sustentáveis no sentido da eficiência técnica, importância social, sustentabilidade econômica e coerência ecológica.	(Almeida et al., 2002).
Definir sistemas agroflorestais com cacau mais apropriados para as condições ecológicas do estado do Amazonas, reunindo informações agroeconômicas relevantes.	Foram definidos diversos aspectos agrônômicos e de interesse econômico para implantação e manejo dos referidos sistemas agroflorestais.	(Brito et al., 2002).
Avaliar o efeito de práticas agrícolas e controle cultural das doenças vassoura-de-bruxa e podridão parda na produção do cacau e avaliar a fenologia dos lançamentos e floração do cacau na incidência da vassoura-de-bruxa.	A incidência das duas doenças foi baixa. A baixa incidência foi atribuída à pequena disponibilidade de tecidos suscetíveis do cacau nos meses de janeiro a abril.	(Almeida and Brito, 2003).
Comparar, sob o ponto de vista socioeconômico, o uso sistemas agroflorestais nas propriedades cacauceiras em Tomé-Açu, no Estado do Pará.	Os sistemas agroflorestais que têm o cacau como planta pivô proporcionam desempenho financeiro melhor que os demais.	(Mendes, 2003).
Identificar e caracterizar o sistema de exploração de várzea em unidades de produção agroflorestal, nos aspectos florísticos e socioeconômicos.	O sistema constituído pela exploração florestal madeireira, não madeireira, pesca, criação de aves e suínos foi considerado viável economicamente.	(Ribeiro et al., 2004c).
Estimativa da biomassa seca (BS) acima do solo e estoque de carbono (EC) em sistemas agroflorestais nas várzeas do rio Juba, Cametá, Pará	Açaí e cacau são as espécies mais importantes dos sistemas. A BS dos sistemas foi de 298,44 t/ha e o EC foi cerca de 96 % do carbono que é estocado em uma floresta primária.	(Santos et al., 2004a).
Análise da composição florística e a estrutura de sistemas agroflorestais nas várzeas do rio Juba, Município de Cametá-Pará.	Cinco espécies são comuns aos sete sistemas agroflorestais inventariados: açaí, cacau, virola, seringueira e andiroba, com maior percentual de espécies comerciais nos sistemas.	(Santos et al., 2004b).
Avaliar o potencial de sustentabilidade agroambiental das unidades de produções agroflorestais de várzea no município de Cametá.	Os resultados revelaram que o clima e o solo não são fatores limitantes. Cerca de 27 % da composição florística é composta por espécies comerciais.	(Ribeiro et al., 2004c).
Analisar o nível tecnológico utilizado no manejo de 5,4 hectares de sistema agroflorestal de cacau e essências florestais e avaliar as condições socioeconômicas, como modelo demonstrativo de gerenciamento agrícola para a extensão rural e produtores rurais.	A receita média foi equivalente a uma renda média mensal de 6,14 salários mínimos vigentes. O desempenho econômico foi considerado muito bom e suficiente para manter uma boa qualidade de vida no meio rural.	(Almeida and Müller, 2006).
Avaliar a produção de serapilheira em diferentes coberturas frutíferas e florestais componentes de um sistema agroflorestal multiestratificado em Rondônia, Brasil.	A produção anual de serapilheira apresentou diferenças significativas entre as espécies do sistema agroflorestal e a vegetação natural. A maior deposição de serapilheira ocorreu na vegetação natural.	(Corrêa et al., 2006a).
Avaliar a ciclagem de nutrientes em espécies frutíferas e florestais componentes de um sistema agroflorestal multiestratificado, em Ouro Preto do Oeste, Rondônia.	O acúmulo de nutrientes na serapilheira da vegetação natural foi maior nos sistema agroflorestal. A serapilheira acumulada no solo variou em função dos nutrientes.	(Corrêa et al., 2006b).
Avaliar o da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico (CO), N total, matéria orgânica, razão CBM/CO e C/N de latossolo amarelo, em sistemas agroflorestais e sistemas convencionais, comparando com as condições de floresta secundária.	Os sistemas agroflorestais e os monocultivos estudados foram semelhantes à floresta secundária, no aporte de matéria orgânica, caracterizando-se como fontes eficientes sistemas de uso do solo na recuperação de áreas alteradas.	(Silva et al., 2007).
Avaliar economicamente os sistemas agroflorestais implantados no município de Tomé-Açu, estado do Pará, durante um horizonte de planejamento de vinte e cinco anos.	Os sistemas agroflorestais avaliados são economicamente viáveis. A mão-de-obra apresentou o maior peso nos custos de produção, dos sistemas agroflorestais.	(Sanguino et al., 2007b).
Avaliar a viabilidade econômica da implantação de dois sistemas agroflorestais no município de Tailândia, estado do Pará, como alternativa de uso do solo e como minimizadores dos desmatamentos.	Verificou-se que os dois sistemas estudados foram viáveis economicamente e que contribuem com a diminuição dos desmatamentos.	(Sanguino et al., 2007a).
Determinar o período em que a cultura do cacau em sistemas agroflorestais deve ser mantida no limpo e aquele em que a cultura pode conviver com uma população natural de plantas daninhas.	Os resultados indicam que o período de competição das plantas daninhas com o cacau está situado nos meses de junho a novembro, período de baixa precipitação pluvial.	(Silva Neto et al., 2007).
Analisar a riqueza de espécies arbóreas e o potencial madeireiro em quatro plantações cacauceiras estabelecidas na década de 1980, no município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia.	Observou-se o total de 63 espécies em 25 famílias. Obtiveram-se estimativas dos volumes médios de madeira por hectare com variação entre 27,88 m ³ a 87,67 m ³ .	(Almeida et al., 2009).
Analisar a literatura sobre sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira entre 1980 e 2005.	Observou-se uma lacuna quanto à pesquisa de modelagem de sistemas e como o seu desenvolvimento pode proporcionar avanços dinâmicos e consistentes na pesquisa agroflorestal.	(Brienza Júnior et al., 2009).
Avaliar as condições químicas do solo em sistema de intercultivo com diferentes arranjos de cacauceiros e coqueiros em Ji-Paraná, estado de Rondônia.	O cálcio foi o elemento que mais variou. pH, saturação de bases e os teores de fósforo, potássio e alumínio não apresentaram diferenças estatísticas entre a mata e os diferentes arranjos do sistema agroflorestal.	(Cidin et al., 2009).

Mostrar a grande diversidade de espécies frutíferas existentes nos quintais agroflorestais e as atividades produtivas das famílias na comunidade negra de Itacoã, Acará, Pará.	O estudo reafirma o quintal como sistema agroflorestal tradicional com baixa entrada, alta diversidade de espécies úteis e funcionalidade múltipla.	(Scoles, 2009).
Analisar os sistemas agroflorestais dentro de um contexto evolutivo sob o ponto de vista biológico, econômico, tecnológico e de eficiência.	Foram identificados sistemas compostos por produtos sem valor de mercado e outros com alta sustentabilidade ambiental, mas baixa sustentabilidade econômica.	(Barros et al., 2009).
Avaliar a produção de massa seca e a limitação de nutrientes para o cultivo do milho de um latossolo amarelo, sob floresta secundária e sistema agroflorestal com cacau.	A produção de massa seca do milho aumentou pela adubação e calagem, sendo, em geral, maior no solo da área do sistema agroflorestal.	(Galvão et al., 2009).
Verificar os custos do controle de plantas invasoras no processo de implantação de cacau em sistemas agroflorestais.	Foram identificadas 30 espécies em todos os sistemas agroflorestais com o cacau. Os maiores custos para controle de ervas daninhas ocorrem no ano de implantação.	(Silva Neto et al., 2009).
Avaliar o comportamento agrônomo de uma variedade híbrida de cacauero implantada em intercultivo com coqueiros e selecionar plantas de elevada performance produtiva para Rondônia.	Os tratamentos não diferiram estatisticamente quanto à altura do fuste e a circunferência do tronco dos cacaueros, aos dois anos de campo. Após o sexto ano identificou-se plantas com potencial de produtividade superior a 2,5 kg planta ⁻¹ ano ⁻¹ de amêndoas secas de cacau.	(Almeida et al., 2010a).
Preencher a lacuna da falta de estudos sobre viabilidade econômica de sistemas agroflorestais com cacau.	O VPL apresentou valores positivos, indicando que o sistema foi rentável, a TIR de 21%, evidencia a remuneração do capital investido e a rentabilidade da atividade cacauera. A Razão B/C foi de 1,16.	(Almeida et al., 2010b).
Analisar a composição florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará.	Os sistemas silviagrícolas da região podem ser indicados como sistemas de produção com potencial econômico e ambiental, se adotado manejo adequado e racional.	(Bolfe and Batistella, 2011b).
Avaliar a macrofauna e mesofauna edáfica, em um sistema agroflorestal multiestratificado composto de espécies frutíferas e florestais, no município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia.	O número de ordens de macrofauna variou de dois a oito nos sistemas de cultivo. Em quase todos os tipos de cobertura houve maior número de indivíduos no final do período seco, a exceção na capoeira.	(Corrêa et al., 2011).
Produzir inoculante de fungos micorrízicos arbusculares e identificar agricultores interessados em implantar essa tecnologia em seus sistemas de cultivo em assentamentos da região.	A multiplicação dos esporos para a produção de inoculante foi satisfatória nos diferentes sistemas de cultivo e houve grande interesse dos agricultores em utilizar o fungo.	(Miranda et al., 2011).
Testar quatro modelos de sistemas agroflorestais zonais com cacauero e cafeeiro.	A análise dos dados indicou viabilidade econômica para todos os modelos testados.	(Müller et al., 2012).
Avaliar a correlação entre variáveis espectrais e o estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais da região de Tomé-Açu, PA.	As melhores correlações foram obtidas pelos índices de vegetação de razão simples e de diferença normalizada, em sistemas agroflorestais jovens, e pelos índices de vegetação complexos, em sistemas agroflorestais mais antigos.	(Bolfe et al., 2012).
Avaliar a distribuição das raízes das culturas do cacau, pupunha e do açaí, relacionando com as propriedades físicas do solo.	Houve correlação direta entre a quantidade de raízes das três culturas, e o teor de areia grossa, e inversa com a densidade do solo e o teor de argila. O volume de poros grandes teve correlação direta com a quantidade de raízes do cacau e do açaí nas três classes de diâmetro.	(Martins and Augusto, 2012).
Avaliar a produtividade do cacauero em sistemas agroflorestais e os fatores relacionados, como instrumento auxiliar na expansão e fortalecimento do agronegócio cacau.	A adoção sistemática do sistema de produção de cacau permitiu alcançar níveis de produtividade superiores a 1.200 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ , enquanto a parcial permitiu níveis de produtividade que variaram de 600 a 700 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de amêndoas secas de cacau.	(Almeida et al., 2013).
Avaliar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre os teores de nitrogênio (N) mineral e microbiano do solo, em função da sazonalidade pluviométrica.	Para a maioria das variáveis analisadas houve diferença significativa somente entre as épocas de amostragem. As variáveis analisadas foram mais sensíveis à sazonalidade da precipitação pluviométrica do que à conversão de floresta secundária em sistema agroflorestal com palma de óleo.	(Santiago et al., 2013).
Estudar a viabilidade econômica de sistemas agroflorestais de cacau e mogno estabelecido na região da Transamazônica, no município de Medicilândia, Pará.	A introdução de espécies madeiras de valor econômico, especificamente o mogno, produziu um aumento significativo nas receitas.	(Paraense et al., 2013).
Avaliar o estoque de nutrientes em diferentes sistemas de uso de solo em Colorado do Oeste-RO.	Houve diferenças nos estoques de nutrientes no solo entre os diferentes sistemas. Os estoques de nutrientes se alteram pela incorporação da vegetação nativa nos sistemas.	(Magalhães et al., 2013).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Esses resultados mostram diferentes objetivos propostos para os estudos de sistemas agroflorestais na Amazônia, refletindo, ampla gama de assuntos das mais diferentes áreas agrônomicas, viabilidade econômica e ambiental resultado da diversidade de espécies vegetais

que podem ser contempladas nos diferentes modelos de sistemas agroflorestais propostos para a região. Os estudos propõem desde inventários de sistemas agroflorestais previamente instalados até pesquisas mais aprofundadas, como mensuração dos efeitos desses sistemas na melhoria da fertilidade do solo, desenvolvimento das plantas, viabilidade agrônômica e econômica e produção de madeira de essências florestais nativas da região, entre outros.

Os 34 artigos analisados foram publicados em 12 revistas científicas de publicação nacional (Tabela 1), com destaque para três periódicos: *Agrotropica*, com 35,30%, *Acta Amazônica* (17,65%) e *Revista de Ciências Agrárias* (17,65%). Essas revistas são multidisciplinares e publicam artigos em diferentes áreas, como as ciências ambientais, biodiversidade, ciências agrárias, geografia, economia e zootecnia. Tal resultado mostra que os sistemas agroflorestais são de interesse dessas diferentes áreas de estudo.

Tabela 1. Frequências dos artigos por periódico conforme classificação pela CAPES.

Periódico	Área	N	%
Agrotropica	Multidisciplinar	12	35,30
Acta Amazônica	Multidisciplinar	6	17,65
Revista de Ciências Agrárias (Belém)	Multidisciplinar.	6	17,65
Pesquisa Agropecuária Brasileira	Multidisciplinar	2	5,88
Outros 8 periódicos	Multidisciplinar e Ciências Agrárias.	8	41,17%
Total		34	100,00

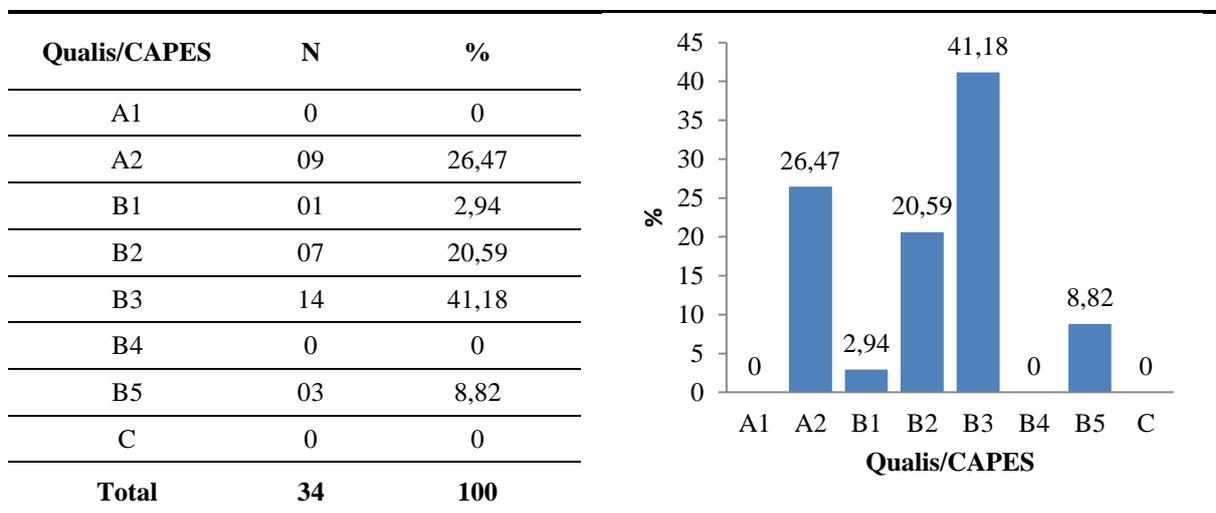
Fonte: Dados da pesquisa (2015); (CAPES, 2015).
Elaborado pelos autores.

A Figura 2 mostra a distribuição das publicações pelo critério de avaliação de periódicos por qualificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O Qualis/CAPES é o conjunto de procedimentos utilizados pela CAPES para estratificação da qualidade da produção intelectual dos programas de pós-graduação. A estratificação da qualidade dessa produção é realizada de forma indireta. Dessa forma, o

Qualis afere a qualidade dos artigos e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos. Os periódicos pela classificação Qualis estão distribuídos em oito estratos: **A1** - o mais elevado com Fator de Impacto igual ou superior a 3,800; **A2** - Fator de Impacto entre 3,799 e 2,500; **B1** - Fator de Impacto entre 2,499 e 1,300; **B2** - Fator de Impacto entre 1,299 e 0,00; **B3**, **B4** e **B5** são indexados em bases como MEDLINE, SCIELO, LILACS etc, mas sem Fator de Impacto e **C** - irrelevante, com peso zero (CAPES, 2015).

Quanto aos estratos da classificação Qualis, os artigos analisados estão distribuídos da seguinte forma: 09 artigos (26%) foram publicados em revistas de Qualis A2, 25 artigos (74%) nas categorias de Qualis B, sendo: 01 artigo (B1), 07 (B2), 14 (B3) e 03 (B5).

Figura 2. Distribuição das publicações por Qualis/CAPES.

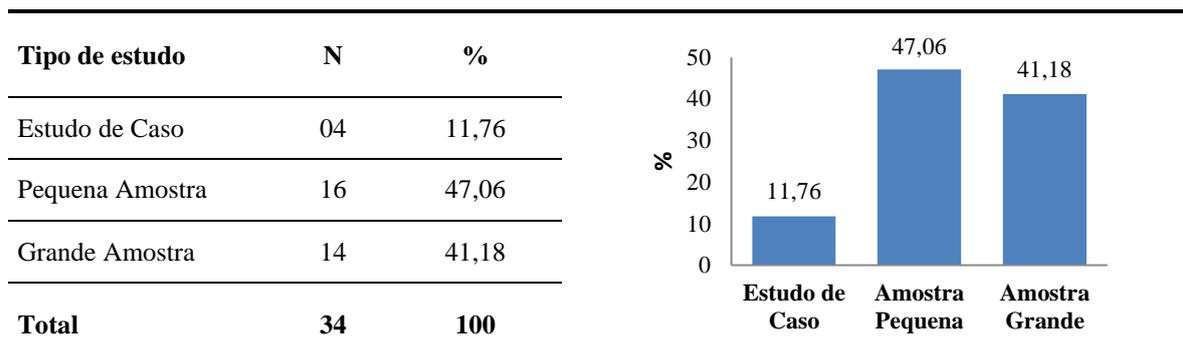


Fonte: Dados da pesquisa; (CAPES, 2015).

Elaborado pelos autores.

A Figura 3 mostra a frequência de artigos pelo tamanho da pesquisa. Os resultados da produção científica estudada são compostos por 47% de estudos com pequenas amostras, 41% por estudos com grandes amostras⁴ e 12% de estudos de casos.

Figura 3. Frequência dos artigos por tipo de desenho de pesquisa

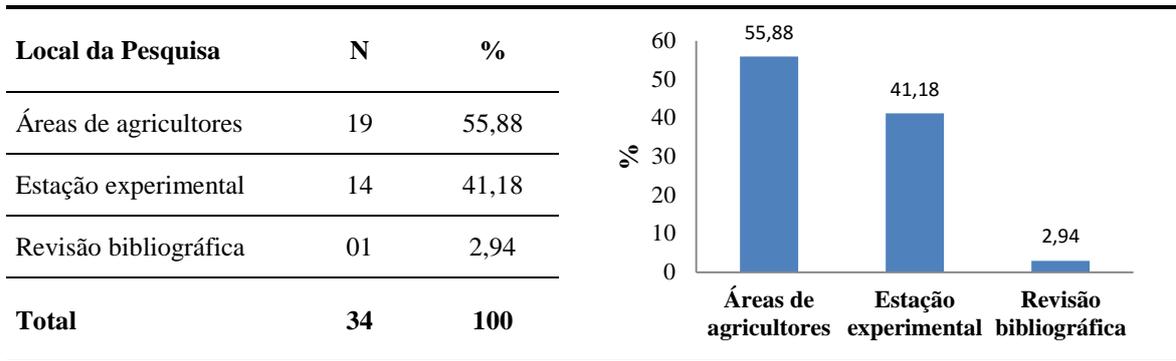


Elaborado pelos autores.

As frequências observadas evidenciam que 56% dos experimentos de campo foram instalados ou executados em propriedades de agricultores e 41% em estações experimentais de instituições de pesquisa. Esse fenômeno pode ser justificado dado ao fato que grande parte dos trabalhos é de pesquisas de inventário florestal e avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados por agricultores em estágio de produção. Esses estudos surgiram como forma de validar modelos de sistemas agroflorestais com cacau idealizados por agricultores em busca de diversificação da produção e/ou do melhor aproveitamento do uso do solo.

⁴ A condição de grande amostra pode ser considerada para amostras aleatórias simples de tamanho 30 ou mais. Anderson DR, Sweeney DJ, Williams TA. (2002) Estatística aplicada à administração e economia. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 642 pp.

Figura 4. Tipo de pesquisa por local de instalação



Fonte: Elaborado pelos autores.

A pesquisa agropecuária, por sua vez, propõe novos modelos de sistemas agroflorestais e estudos mais sofisticados que exigem ambiente controlado, como casas de vegetação, áreas menores e controladas e estudos laboratoriais, só encontrados nas estações experimentais de instituições governamentais da região.

A busca pela diversificação da produção nos sistemas agroflorestais é visível nos trabalhos analisados, visto que, são identificadas mais de 47 espécies vegetais compondo os diferentes sistemas estudados. Entre essas, espécies de grande valor comercial e ambiental, tais como frutíferas, culturas industriais, oleaginosas, produtoras de látex, essências madeireiras, leguminosas, culturas anuais, entre outras, nativas da região ou exóticas, sendo a maioria de espécies regionais. A Tabela 2 mostra a distribuição das principais espécies vegetais identificadas no estudo.

Tabela 2. Espécies mais frequentes nos sistemas agroflorestais com cacau nos artigos analisados.

Espécie	N	%
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	15	44
Banana (<i>Musa spp.</i>)	12	35
Cupuaçú (<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum)	11	32
Pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth)	10	29
Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.)	08	24
Abacate (<i>Persea americana</i> Mill.)	07	21
Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg)	07	21
Andiroba (<i>Carapa guianensis</i> Aubl.)	06	18
Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	06	18
Teca (<i>Tectonia grandis</i> L. f.)	05	15
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)	05	15
Ingá (<i>Inga edulis</i> Mart.)	05	15
Café (<i>Coffea sp.</i>)	04	12
Castanha-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> H. B. K.)	04	12
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	04	12
Maracujá (<i>Passiflora edulis</i> L.)	04	12
Pimenta-do-reino (<i>Piper nigrum</i> L.)	04	12
Virola (<i>Virola surinamensis</i> Rol.)	04	12

Fonte: Elaborado pelos autores, 2015.

A maioria dos sistemas agroflorestais com cacau na região é composto por bananeira, que é usada como sombreamento provisório nos três primeiros anos de implantação, frutíferas arbóreas e essências florestais madeireiras, como o mogno e ingá, usadas como sombreamento definitivo, que ficarão até o final da exploração dos sistemas. Outro sistema com cacau comum na região é o composto pela associação com açaí, seringueira, andiroba e virola. Espécies presentes nos sistemas agroflorestais de áreas de várzeas (CEPLAC, 2013). As espécies utilizadas nesses arranjos são de considerado valor comercial e normalmente são encontradas em monocultivos ou em forma de sistemas agroflorestais.

todos os ciclos de produção, substituindo os monocultivos, assim, como do viés agrônomo dos pesquisadores da região, que na sua maioria estão ligados a instituições de pesquisa agropecuária. No entanto, a busca pelo rigor científico das publicações validam os esforços dos trabalhos realizados como fonte de informações valiosas sobre sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira. No entanto, existe a necessidade de incluir temas que avaliem os sistemas nos aspectos agrônômicos, econômicos, sociais e ambientais e suas interações, para que os sistemas agroflorestais possam ser considerados sustentáveis em todos os aspectos.

Discussão

Os resultados mostram que, para o período selecionado, o número de publicações é pequeno, dado a relevância do tema. Os sistemas agroflorestais passaram a ser considerados, a partir do início da década de 2000, como uma das principais alternativas para mitigação dos efeitos negativos provocados pelo desmatamento e queimadas da floresta Amazônica (Fearnside, 2009; Fearnside, 2012), assim como contribuintes da manutenção da biodiversidade (Corrêa et al., 2006a; De Beenhouwer et al., 2013; Deheuvels et al., 2012) e manutenção do produtor rural no campo (Sanguino et al., 2007a).

Até o início da década de 1990, existiam poucas pesquisas sobre sistemas agroflorestais, que se concentravam, sobretudo, em aspectos técnicos e biológicos (Sanguino et al., 2007a). No entanto, ocorreu expressivo aumento no número de publicações a partir dos anos 2000. Porém, a maioria dos trabalhos ainda destina-se a publicações em anais de congressos, principalmente nos anais do Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, resultando em estudos carentes de pesquisas de modelagem de sistemas, devido ao longo tempo que a pesquisa florestal necessita para validar resultados (Brienza Júnior et al., 2009). Esse fato pode estar associado à baixa publicação em periódicos de boa qualificação, devido à maior exigência na qualidade dos trabalhos requerida pelos periódicos.

A concentração de artigos em apenas três periódicos pode estar associada ao fato que a maioria dos pesquisadores da área terem algum vínculo com instituições de pesquisas governamentais da região e preferirem publicar nas revistas mantidas por essas instituições, como, a *Agrotrópica* (35%), mantida pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC/MAPA), a *Acta Amazônica* (18%), mantida pelo Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e a *Revista de Ciências Agrárias* (18%), mantida pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Dos artigos publicados, 32% são resultantes de dissertações de mestrado ou tese de doutorado. Esse resultado mostra o interesse de novos pesquisadores com o tema, assim como do apoio das instituições de ensino de pós-graduação para com os mesmos, principalmente das escolas ciências agrárias e ambientais, assim como das instituições governamentais de pesquisa agropecuária da região.

Alguns autores ressaltam o fato da necessidade de validação de resultados para sistemas agroflorestais instalados na Amazônia. Para esses autores, existe carência de informações sobre as diferentes experiências estabelecidas em áreas de agricultores (Raiol e Rosa, 2013). Que existe carência de informações com relação ao manejo dos sistemas agroflorestais, à silvicultura das espécies que os compõe, ao desenho e ao arranjo desses sistemas, os quais, na maioria das vezes têm mais conhecimento acerca dos cultivos agrícolas (Vieira et al., 2007). Que é necessária a validação junto aos produtores, em termos de produção e sustentabilidade, é necessária para transformar o potencial produtivo e de serviços em fato compatível com a realidade rural e com a perspectiva desejável de uma atividade sustentável do uso da terra (Arco-Verde et al., 2009). E que a avaliação da viabilidade econômica para esses sistemas é necessária para que os mesmos possam ser difundidos e adotados pelos agricultores (Cordeiro et al., 2009; Paula et al., 2013; Sanguino et al., 2007a).

No entanto, os resultados obtidos nesta pesquisa mostram que existe uma busca dos pesquisadores da região por validar resultados obtidos em sistemas agroflorestais instalados por agricultores, assim como de propor novos modelos e realizar estudos mais detalhados, que necessitam de ambientes controlados, os quais podem ser obtidos nas estações de pesquisas.

Esses resultados mostram que 56% dos trabalhos analisados foram instalados em áreas de produtores rurais, em sistemas agroflorestais já implantados anteriormente (Almeida et al., 2009; Almeida et al., 2013; Almeida et al., 2010b; Almeida and Müller, 2006; Almeida and Brito, 2003; Barros et al., 2009; Bolfe and Batistella, 2011a; Bolfe et al., 2012; Cidin et al., 2009; Magalhães et al., 2013; Mendes, 2003; Paraense et al., 2013; Ribeiro et al., 2004b; Ribeiro et al., 2004c; Sanguino et al., 2007b; Santos et al., 2004a, b; Scoles, 2009; Silva Neto et al., 2009), mostrando o interesse dos pesquisadores em analisar os sistemas agroflorestais idealizados pelos agricultores, com o intuito de validar as experiências bem sucedidas na região.

Dos estudos instalados nas propriedades de agricultores, 47% analisam a viabilidade econômica desses sistemas (Almeida et al., 2010b; Almeida and Müller, 2006; Bolfe and Batistella, 2011a; Mendes, 2003; Paraense et al., 2013; Ribeiro et al., 2004c; Sanguino et al., 2007b; Scoles, 2009); 32% buscam identificar e caracterizar os sistemas agroflorestais como sistemas de produção, avaliando o ponto de vista dos arranjos, eficiência técnica, composição florística, diversidade e presença de espécies de valor comercial, encontrando resultados positivos, principalmente do ponto de vista de sustentabilidade econômica e ambiental desses sistemas.

Quanto às espécies estudadas nos diferentes sistemas agroflorestais, a maior frequência é de espécies regionais de valor comercial, com destaque para o açaí, banana, cupuaçu, pupunha, seringueira, mogno, andiroba e castanha-do-Brasil (Tabela 2). Essas espécies estão entre as de maior importância econômica para a região Amazônica, pois são

espécies cultivadas em sistemas agroflorestais e/ou em monocultivos e também exploradas economicamente através do extrativismo. Tais espécies têm participação considerável na composição da receita bruta da agricultura na região.

Os sistemas agroflorestais com cacau implantados na região são compostos, na sua maioria, por culturas anuais, banana, culturas perenes de valor comercial e árvores madeireiras (nativas ou exóticas). A pesquisa agropecuária propõe que na implantação desses sistemas, as bananeiras são implantadas inicialmente, para servir de sombreamento provisório para o cacau, seguido das mudas de cacau e de outras culturas perenes e/ou árvores madeireiras, que servirão de sombreamento definitivo. As culturas anuais são cultivadas nos três primeiros anos nas entrelinhas do cacau. A partir do quarto ano, fica em campo o cacau, as culturas perenes e as árvores madeireiras, que irão gerar receita para o agricultor até o final da sua exploração (CEPLAC, 2013). Há registro de sistemas agroflorestais produtivos implantados há mais de trinta anos na região.

O cacau, espécie nativa mais cultivada na Amazônia brasileira, com 170.367 hectares implantados em 2014 (IBGE, 2015), produz amêndoas secas de cacau, matéria prima para a produção da indústria do chocolate. Cupuaçu, açaí, maracujá e banana são cultivados para produção de frutas “in natura”, sucos e polpas de frutas. Pupunha e pimenta-do-reino são espécies que produzem matéria prima para agroindústria nacional e internacional. A seringueira é uma espécie nativa da região produtora de látex. O mogno é uma das essências florestais madeireiras de grande valor comercial da região e uma espécie ameaçada de extinção, portanto seu uso em sistemas agroflorestais reduz a pressão sobre as populações nativas dessa espécie. A castanha-do-Brasil, produtora de amêndoas, também sofre grande pressão da indústria madeireira e também está ameaçada de extinção.

O apelo ambiental e o aumento das áreas de preservação permanente (APP) pelo código florestal brasileiro levaram a uma redução na discussão do tema que propõe os sistemas agroflorestais como alternativa de uso mais eficiente do solo.

A presença expressiva de espécies regionais de valor comercial nos sistemas agroflorestais estudados é reflexo de uma tendência constatada na análise dos artigos pesquisados. 56% dos trabalhos foram realizados em áreas de sistemas agroflorestais implantadas por agricultores. Esse fato tem sido comum na região Amazônica, onde a opção pelo uso de sistemas agroflorestais como alternativa de diversificação agro econômica e como alternativa para cobertura vegetal das áreas desmatadas da floresta, partiu da iniciativa de agricultores, que passaram a experimentar o consórcio entre espécies nativas e exóticas de valor comercial e algumas espécies com potencial comercial, assim como replicar e ampliar e melhorar modelos de exploração extrativa utilizados há muito tempo por moradores nativos da região.

A pesquisa agropecuária na região que é realizada por órgãos governamentais, como institutos de pesquisa e universidades tem, recentemente, adotado a modalidade de pesquisa por demanda, indo ao encontro das demandas dos agricultores por novas tecnologias. Diante da experiência bem sucedida por alguns agricultores no uso de sistemas agroflorestais, os órgãos de pesquisa agropecuária regionais passaram a se valer do conhecimento empírico dos agricultores e buscar validar esse conhecimento através da pesquisa científica, assim como elaborar novas pesquisas com novas alternativas de sistemas agroflorestais.

A busca por respostas pelos resultados financeiros dos sistemas agroflorestais pode estar associada à necessidade que esses sistemas sejam viáveis financeiramente, para que possam ser financiados por programas de crédito governamental, haja vista que os resultados econômicos positivos podem ser o grande motivador para que os agricultores adotem os

sistemas agroflorestais em substituição ao modelo agrícola tradicional, de “derruba e queima” predominante na região Amazônica.

A forte presença por aspectos agronômicos e econômicos nos artigos analisados pode estar associada à reação dos pesquisadores, ligados, na sua maioria, a instituições de pesquisa agropecuária, em responder à demanda dos agricultores por resultados que possam apontar os sistemas agroflorestais como substitutos rentáveis aos monocultivos na região.

Conclusão

O estudo sobre sistemas agroflorestais com cacau na Amazônia brasileira oferece amplo subsídio para o conhecimento dos principais temas pesquisados na região, assim como, mostra as experiências realizadas por agricultores e a busca pela validação científica dos resultados dos sistemas agroflorestais como alternativa sustentável de agricultura, que pode substituir o sistema de agricultura tradicional da região, baseado na agricultura itinerante de “derruba e queima”, no monocultivo e na pecuária extensiva.

O uso de sistemas agroflorestais na produção agrícola amazônica pode ser a grande alternativa para reduzir a pressão sobre as florestas nativas, reduzindo os desmatamentos constantes e oferecendo cobertura vegetal produtiva para as áreas já desmatadas. Dessa forma, qualificando o agronegócio da região amazônica a competir de forma justa com o agronegócio da região da Mata Atlântica brasileira e com o mercado internacional, visto que, ainda é usado o fato que a destruição das florestas nativas desqualifica os produtos do agronegócio da Amazônia.

As instituições de pesquisa agropecuária e as instituições de ensino devem aumentar seus esforços na implementação de novas pesquisas, que busquem incluir os aspectos ambientais e modelos de avaliação social aos agronômicos e econômicos, como: a Avaliação

Sustentável do Ciclo de Vida (ASCV), que inclui a Análise do Ciclo de Vida (ACV), o Custeio do Ciclo de Vida (CCV) e a Avaliação Social do Ciclo de Vida (SACV) (Kloepffer, 2008); a Análise Emergética; a Pegada de Carbono e a Pegada Hídrica, entre outras, buscando ampliar o escopo das pesquisas no sentido de agregar as diferentes dimensões associadas a esses sistemas de produção, além de cobrir o hiato de tempo entre a iniciativa dos agricultores e a dos pesquisadores na experimentação dos sistemas agroflorestais na região Amazônica. Somente dessa forma, esse tipo de exploração agrícola menos predatória e sustentável, tanto ambiental como econômica, poderá ser cada vez mais adotado pelos agricultores regionais.

Existe a pressuposição que os sistemas agroflorestais supram os monocultivos em desempenho ambiental e social, no entanto, existem poucas pesquisas científicas sobre o tema, dessa forma, recomenda-se a realização de mais estudos para validar tal pressuposição.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios / CEPAN – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre - RS – Brasil e a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira / CEPLAC –Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Belém – Brasil, pelo oportunidade da realização deste trabalho.

Referências

Almeida CMVCd, Locatelli M, Lima AdA, Xavier IP, Cidin ACM. (2009) Arboreous species diversity and timber potential in agrosilvicultural systems using cacao in Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brazil. *Agrotrópica* 21: 73-82.

Almeida CMVCd, Matos PGGd, Lima AdA, Xavier IP. (2013) Productivity of cocoa in agroforestry systems in Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brazil. *Agrotrópica* 25: 11-16.

Almeida CMVCd, Müller MW, Corrêa FLdO, Cidin ACM, Almeida LCd, Cella RM. (2010a) Hybrid varieties of cacao trees in intercropping with dwarf coconut trees: Agronomic performance and selection of clones. *Agrotrópica* 22: 99-106.

Almeida CMVCd, Müller MW, Silva, Antônio Paulo Rodrigues. (2006) Performance of an agroforestry system: cocoa and timber trees in Ariquemes municipality, Rondônia. *Agrotrópica* 18: 63-70.

Almeida CMVCdA, Matos PGGd, Virgulino AP, Lima AdAL, Xavier IP. (2010b) Agroforestry system with cocoa and forest species in Santa Cecilia farm, Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brazil: economic approach. *Agrotrópica* 22: 23-28.

Almeida CMVd, Muller MW, Sena-Gomes AR, Matos PGGd. (2002) Sistemas agroflorestais com o cacauzeiro como alternativa sustentável para uso em áreas desmatadas, no estado de Rondônia, Brasil. *Agrotrópica* 14: 109-120.

Almeida LCdA, Brito AMd. (2003) Management of wild cocoa in the flat lands of the State of Amazonas, Brazil. *Agritrópica* 15: 47-52.

Anderson DR, Sweeney DJ, Williams TA. (2002) Estatística aplicada à administração e economia. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 642 pp.

Arco-Verde MF, Silva IC, Mourão Júnior M. (2009) Nutrient release and productivity of agroforestry species in agroforestry systems in Amazônia. *Floresta* 39: 11-22.

Ayres MIcC, Alfaia SS. (2007) Yield of cupuaçu fruits in response to liming and potassium fertilization in agroforestry systems in the Western Amazon. *Pesq agropec bras* 42: 957-963.

Barros AVLd, Homma AKO, Takamatsu JA, Takamatsu T, Konagano M. (2009) Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de Tomé-Açu, estado do Pará. *Amazônia: Ci & Desenv* 5: 7-37.

Bentes-Gama MdM, Silva MLd, Vilcahuamán LJM, Locatelli M. (2005) Economic analysis of agroforestry systems in eastern Amazonia, Machadinho d'Oeste- RO, Brazil. *Rev Árvore* 29: 401-411.

Bolfe EL, Batistella M. (2011a) Floristic and structural analysis of agroforestry systems in Tome-Acu, Para, Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 46: 1139-1147.

Bolfe ÉL, Batistella M. (2011b) Floristic and structural analysis of agroforestry systems in Tomé-Açu, Pará, Brazil. *Pesq agropec bras* 46: 1139-1147.

Bolfe ÉL, Batistella M, Ferreira MC, Universidade Estadual de Campinas C. (2012) Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. *Pesq agropec bras* 47: 1261-1269.

Brienza Júnior S, Maneschy RQ, Mourão Júnior M, Gazel Filho AB, Yared JAG, Gonçalves D, Gama MB. (2009) Agroforestry in the Brazilian Amazon: an Analysis of 25 Years of Research. *Pesquisa Florestal Brasileira*: 67-76.

Brito AMd, Silva GCVd, Almeida CMVCd, Matos PGGd. (2002) Sistemas agroflorestais com o cacauero: uma tentativa de busca do desenvolvimento sustentável do estado do Amazonas, Brasil. *Agrotropica* 14: 61-72.

CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). (2015) Sistema WebQualis. <http://qualis.capes.gov.br/webqualis/principal.seam> (accessed 15.02.15).

CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). (1997) Diretrizes para expansão da cacauicultura nacional - PROCACAU. Brasília, 350 pp.

CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). (2013) Manual técnico do cacauero para a Amazônia brasileira. CEPLAC/SUEPA, Belém, 180 pp.

Cidin ACM, Corrêa FLdO, Luna Pequeno PLd, Almeida CMVcd, Müller MW, Macedo RGd, Rodrigues ACdG. (2009) Evaluation of the soil fertility in agroforestry system with cocoa and coconut trees in Ji-Paraná, Rondônia State, Brazil. *Agrotropica* 21: 65-72.

Condé TMC, Lima MLMd, Lima Neto Emd, Tonini H. (2013) Morphometric of four species in agroforestry systems in the municipality of. *Revista Agro@mbiente On-line* 7: 18-27.

Cordeiro IMCC, Santana ACd, Lameira OA, Matos IS. (2009) Economical analysis of cultivation systems with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (Parica) and *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppus & Leal (Curaua) crop at Aurora do Pará, Brazil. *Rev Fac Agron (LUZ)* 26: 243-265.

Corrêa FLdO, Caproni AL, Granha JR, Muller, Manfred Willy. (2011) Soil fauna in an multistrata agroforestry system in Rondonia State, Brazil. *Agrotropica* 23: 125-134.

Corrêa FLdO, Ramos JD, Gama-Rodrigues ACd, Müller MW. (2006a) Litter production in multistrata agroforestry system in Rondônia State, Brazil. *Ciênc agrotec* 30: 1099-1105.

Corrêa FLdO, Ramos JD, Gama-Rodrigues ACd, Müller MW, Macedo RGd, Spaggiari CA, Souza, Maria Inês Nogueira Alvarenga. (2006b) Nutrients cycling in agroforestry system with fruitful and forests species in Rondônia, Brazil. *Agritropica* 18: 71-82.

da Costa Ayres MI, Alfaia SS. (2007) Yield of cupuacu fruits in response to liming and potassium fertilization in agroforestry systems in the Western Amazon. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 42: 957-963.

De Beenhouwer M, Aerts R, Honnay O. (2013) A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agriculture Ecosystems & Environment* 175: 1-7.

de Sousa MR, Ribeiro ALP. (2009) Systematic Review and Meta-analysis of Diagnostic and Prognostic Studies: a Tutorial. *Arquivos Brasileiros De Cardiologia* 92: 241-251.

Deheuvels O, Avelino J, Somarriba E, Malezieux E. (2012) Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture Ecosystems & Environment* 149: 181-188.

Fearnside PM. (2005) Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índice e consequências. *Megadiversidade*.

Fearnside PM. (2009) Global warming in Amazonia: Impacts and Mitigation. *Acta Amazonica* 39: 1003-1011.

Fearnside PM. (2012) Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: unresolved controversies. *Climate Policy* 12: 70-81.

Feitosa LL, Silva LMS. (2010) Construindo indicadores para uma avaliação agrônômica em parcelas de sistemas agroflorestais implantadas em assentamentos rurais, no município de Eldorado do Carajás, Pará. *Agroecossistemas* 2: 66-72.

Francez DdCF, Rosa LdS. (2011) The economic viability of five agroforestry systems among small-holders in the Brazilian State of Para. *Rev Ci Agra* 54: 178-187.

Galvão JR, Morais FIdO, Tofoli RdCZ. (2009) Massa seca e limitações nutricionais do milho, em um latossolo amarelo, sob floresta secundária e sistema agroflorestral. *Rev ciênc agrár*: 137-145.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2015) Levantamento sistemático da produção agrícola, fevereiro 2015.

Kloepffer W. (2008) Life cycle sustainability assessment of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 89-95.

Magalhães SSdA, Weber OLdS, Santos CHd, Valadão FCdA. (2013) Nutrient stocks under different land use systems of a soil in Colorado do Oeste-RO. *Acta Amaz* 43: 63-72.

Martins PFdS, Augusto SG. (2012) Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cacaueteiro, da pupunheira e do açaizeiro na Amazônia oriental. *Rev Ceres* 59: 723-730.

Matthias De Beenhouwer RA, Olivier Honnay. (2013) A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 175: 1-7.

Melo ACGd, Neto PJdS, Corrêa CA. (2013) Cacaueiros em sistemas agroflorestrais. In: CEPLAC/SUEPA (ed) *Manual técnico do cacaueteiro para a Amazônia brasileira*, Belém, p 180.

Mendes FAT. (2003) Avaliação de modelos simulados de sistemas agroflorestrais em pequenas propriedades cacaueiras selecionadas no Município de Tomé Açu, no Estado do Pará. *Informe Gepec* 7: 1-19.

Miranda PB, Hentz AdM, Pereira FD, Maneschy RQ. (2011) Distribution of inoculum amf agroforestry systems for the family farm. *Agroecossistemas* 3: 45-51.

Müller MW, Sena-Gomes AR, Almeida CMVCd, Mendes FAT. (2012) Cocoa and Coffee Intercropping in the State of Rondônia, Brazil. *Agrotrópica* 24: 49-62.

Paraense VdC, Mendes FAT, Freitas ADDd. (2013) Economic evaluation of agroforestry systems of cocoa and mahogany systems plantation the transamazonian: a case study. *Enciclopédia Biosfera* 9: 2754-2764.

Paula MTd, Santos Filho BGd, Cordeiro YEM, Conde RA, Neves PAPFGd. (2013) Ecofisiologia do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) em sistemas agroflorestais no município de Santa Bárbara-Pa. *Enciclopédia Biosfera* 9: 813-824.

Pompeu GdSdS, Rosa L, Araújo SLF, Araújo ABB, Silveira EdL. (2011) Influência das características socio-econômicas de agricultores familiares na adoção de sistemas agroflorestais. *Rev Ci Agra* 54: 33-41.

Ribeiro GD, Jardim FCdS, Rosa LdS. (2004a) Preliminary evaluation of an agroforestry system in the green water Project at Albrás, Barcarena, Pará, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias*: 25-45.

Ribeiro RNdS, Santana ACd, Tourinho MM. (2004b) Exploratory socioeconomic analysis of agroforestry systems in tidal river floodplains, Cametá, Pará, Brazil. *Rev Econ Sociol Rural* 42: 133-152.

Ribeiro RNdS, Tourinho MM, Santana ACd. (2004c) Agro-environmental sustainability evaluation of productive agroforestry units in tidal river floodplains Cametá Pará. *Acta Amaz* 34: 359-374.

Sanguino AC, Santana ACd, Homma AKO, Barros PLCd, Kato OK, Amin MMGH. (2007a) Avaliação econômica de sistemas agroflorestais no estado do Pará. *Rev ciênc agrár*: 71-88.

Sanguino AC, Santana ACd, Homma AKO, Barros PLCdB, Kato OR, Amin MMGHA. (2007b) Análise econômica de investimentos em sistemas de produção agroflorestal no Estado do Pará. *Rev ciênc agrár*: 23-47.

Santiago WR, Vasconcelos SS, Kato OR, Bispo CJC, Rangel-Vasconcelos LGT, Castellani DC. (2013) Soil mineral and microbial nitrogen in oil palm-based agroforestry systems in eastern Amazon. *Acta Amaz* 43: 395-405.

Santos SRMd, Miranda IdS, Tourinho MM. (2004a) Biomass estimation of agroforestry systems of the Juba river floodplain in Cametá, Pará. *Acta Amaz* 34: 01-08.

Santos SRMd, Miranda IdS, Tourinho MM. (2004b) Floristic and structural analysis of agroforestry floodplain systems of the Juba river, Cametá, Pará. *Acta Amaz* 34: 251-263.

Scoles R. (2009) The home garden and fruits: economic and food resources in the black community of Itacoã, Acará, Pará, Brazil. *Acta Amaz* 39: 1-12.

Silva GRd, Sena WdL, Silva Júnior MLd. (2007) Carbon and nitrogen from microbial biomass as an environmental indicators oxisol under different systems management, Marituba, Pará. *Rev ciên agrár*: 71-84.

Silva Neto PJd, Rocha Neto OG, Santana ACd. (2009) Custos com o controle de plantas invasoras no cultivo do cacauero em sistemas agroflorestais.: 69-82.

Silva Neto PJd, Rocha Neto OGd, Kato OR. (2007) Growth and production systems cocoa agroforestry a function of weed management. *Rev ciênc agrár*: 99-112.

Vieira TA, Rosa LdS, Vasconcelos PCS, Santos MMd, Modesto RdS. (2007) Adoption of agroforestry systems by family agriculture in Igarape-Açu, Pará, Brazil. *Rev ciên agrár*: 9-22.

CHAPTER 2

Mitigating deforestation in the Brazilian Amazon through the implementation of cocoa-based agroforestry systems⁵

Sylvan Martins dos Reis^{ab}, Edson Talamini^a, Paulo Júlio da Silva Neto^b, Antônio Carlos Gesta de Melo^b, and Homero Dewes^a

^a Center for Studies and Research in Agribusiness (CEPAN), Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, Agrônoma, CEP 91540-000 - Porto Alegre – RS, Brazil.

^b Executive Committee for the Cocoa Farming Plan (CEPLAC), Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply, Rodovia Augusto Montenegro Km 07, Parque Verde, CEP 66635-110, Belém, Brazil

Corresponding author: Sylvan Martins dos Reis,

Telephone: +55 91 981184084; + 55 91 33471477

e-mail: sylvanreis@hotmail.com

⁵ Article will be submitted to the journal Agriculture, Ecosystems and Environment.
<http://www.journals.elsevier.com/agriculture-ecosystems-and-environment/>.

Abstract

Deforestation in the Brazilian Amazon has caused incalculable damage to the ecosystems of the region. Presenting solutions to mitigate the environmental damage caused by deforestation should be a joint mission of the government, scientific community, and civil society. With this point in view, this study aims to analyze the use of cocoa-based (*Theobroma cacao L.*) agroforestry as an alternative sustainable vegetation cover to recover degraded areas in the Brazilian Amazon. The study also compares the productivity of two agroforestry systems that have been implemented in the region. This system, which is recommended by agricultural researchers, serves as the basis for evaluating the findings of the field research conducted in a 40-hectare area of cocoa- and mahogany-based (*Swietenia macrophylla* King) agroforestry systems on the property of a farmer in the Brazilian state of Pará. The analysis used the main financial viability indicators for agricultural and forestry projects: the cost-benefit ratio (CBR), the net present value (NPV), the equivalent annual value (EAV), and the internal rate of return (IRR). The amount of atmospheric carbon sequestered by each of the systems was defined on the basis of a literature review. The indicators found for the cocoa- and mahogany-based agroforestry were as follows: CBR of 3.64 and 5.27, NPV of USD 19,466 and USD 11,993, EAV of USD 1,660 per hectare per year and USD 1,022 per hectare per year, and IRR of 41% and 30%, respectively, demonstrating that these systems are financially viable and can be financed by the official rural credit program for the implementation of agroforestry in the Amazon, the FNO-Biodiversidade, which charges an interest rate of 8.53% per annum. The amount of atmospheric carbon sequestered by each of these agroforestry systems is similar to that sequestered by native forests; thus, these systems are economically and environmentally sustainable alternatives for restoring the vegetation cover in areas of the Brazilian Amazon that have experienced deforestation, thereby mitigating the environmental damage caused by deforestation.

Keywords: Carbon sequestration, biodiversity, mahogany (*Swietenia macrophylla* King), sustainable agriculture, land-use systems.

1. Introduction

The pressure of human activities on the Amazon rainforest is considered to result from the expansion of the agricultural frontier and the exploration of the beef cattle, mining, and timber industries. This advance on native forests has led to increased deforestation of large areas of the Brazilian Amazon rainforest (Fearnside, 2005).

The traditional model of occupation of the Brazilian Amazon, characterized by the slash-and-burn method, (Feitosa and Silva, 2010; Francez and Rosa, 2011; Rangel-Vasconcelos et al., 2012) is the result of government development policies based on tax incentives adopted since the 1970s and the construction of roads along the forest (Ferreira et al., 2005).

According to the report from the TerraClass project, in 2012, about 21% of the Brazilian Amazon rainforest (751,340.47 km²) had been deforested. Land use and vegetation cover in the deforested areas were distributed as follows: 22.92% secondary vegetation (172,189.78 km²);⁶ 5.64% annual crops (42,346.40 km²); 61.95% grazing areas including clean pasture, dirty pasture, regeneration with pasture, and pasture with exposed soil (442,402.72 km²).⁷ The report showed that while annual agriculture and secondary vegetation have given rise to abandoned pasture, grazing areas have given rise to newly deforested areas (INPE and EMBRAPA, 2014).

The need to cease or reduce deforestation in the Brazilian Amazon is urgent because the damages caused by deforestation are enormous and immeasurable to forests: loss of

⁶ These deforested areas are either undergoing a regeneration process of shrub vegetation or woodlands or are being used for permanent agricultural or forestry activities.

⁷ Clean pasture is productive pasture with 90% to 100% herbaceous vegetation and grass species coverage; dirty pasture is productive pasture area with 50% to 80% herbaceous vegetation and grass species coverage and sparse scrub vegetation; regeneration with pasture: is pasture that is undergoing the process of native vegetation regeneration; pasture with exposed soil is pasture with at least 50% of the soil exposed.

biodiversity, increased carbon emissions, increased greenhouse effect, reduced water cycling, contribution to global warming, rainfall reduction, and many other effects (Cintra et al., 2006; Cerri et al., 2009; Machado, 2009; Arraes et al., 2012). On the other hand, development in the region is limited by several barriers due to the great pressure exerted by the scientific community, governments, and national and international civil societies focused on the environmental protection aspects of the government's regional development programs.

Economic development of the Amazon region with a focus on respecting and preserving the environment is one of the alternatives that sustainable development offers to tropical forests. Mitigating environmental damage caused by deforestation through forestry, restriction of agroforestry, forest management for timber production, awards for the provision of environmental services (Fearnside, 2009; Fearnside, 2012), and the implementation of policies to reduce deforestation and emissions of greenhouse gases, ban forest burning, and monitor deforestation could stop the devastation of the Amazon rainforest (Brasil, 2012).

To avoid the environment-degrading side effects of land use, a set of tools for land management must be adopted to convert the typical agro-ecosystems into complex, balanced land-use mosaics that resemble natural ecosystems in terms of the services they can provide, such as agroforestry (Lapola et al., 2014).

Agroforestry is a collective term for land-use systems and technologies in which land management units consist of perennial woody trees combined with agricultural crops or animals in some form of spatial or temporal, in which there are both ecological and economic interactions among components whose objectives are to diversify production, control shifting cultivation, increase levels of organic matter in the soil, fix atmospheric nitrogen in the soil (Lundgren and Raint, 1983), modify the microclimate, and increase the system's biological productivity and economic return, or both, by practicing sustainable production (Somarriba, 1992; Jerneck and Osso, 2013).

Tropical agroforestry has been recommended as a form of sustainable agriculture because it maintains biodiversity while providing related environmental services and producing food. Agroforestry systems that include cocoa (*Theobroma cacao L.*) combine sustainable income with some degree of biodiversity conservation (De Beenhouwer et al., 2013).

Agroforestry systems that include cocoa and shade trees are associated with very low levels of chemical inputs and with diverse structural and compositional complexities, including more than 30 species of related trees, and are described as providers of environmental services, such as carbon sequestration and biodiversity conservation (Deheuvels et al., 2012). Carbon stocks in cocoa-based agroforestry systems can range from 12 to 228 Mg carbon per hectare and can help to mitigate climate change (Somarriba et al., 2013). Therefore, they are good ecological connectors, maintaining many of the forest's ecological functions and related services. In addition, they promote production diversification and permanent soil coverage with large amounts of organic matter and can be recommended to adapt agriculture to climate changes (Rousseau et al., 2012; Somarriba et al., 2013).

In the Brazilian Amazon, at least six models of cocoa-based agroforestry systems are practiced. These include more than 22 species of arboreal, shrub, annual, native, and exotic plants (Mendes, 2003; Melo et al., 2013). These systems can be differentiated by the type of cultivation practiced and their location. In areas degraded by deforestation, the recommended type of cultivation is dryland agroforestry (Mendes, 2014), which uses regional trees of commercial value, such as forest species that produce hardwood, fruit, fiber, latex, and oils, as permanent shade (CEPLAC, 2013).

The large expanse of unused land in the deforested areas of the Brazilian Amazon, about 17.2 million hectares (INPE and EMBRAPA, 2014), show great potential for the implementation of various forms of sustainable agriculture, namely, cocoa-based agroforestry

and agroforestry based on native Amazonian species, which do not require cutting down trees from newly forested areas in order to promote regional development.

On the basis of the above considerations, this research aims to analyze the economic and environmental sustainability of cocoa-based agroforestry by analyzing the financial viability, the carbon sequestration, and their possible use as alternative sustainable vegetation cover for recovering degraded areas in the Brazilian Amazon and compare the productivity of the two agroforestry systems implemented in the region.

2. Data and Methods

2.1 Determination of the types of analyses

This study was conducted using two analytical models. The first model consists of an economic feasibility analysis of agroforestry systems that are based on cocoa and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) by using economic profitability indicators to represent the economic returns of these systems. The second model consists of a bibliographic review to highlight the carbon sequestration of cocoa-based agroforestry systems and its possible contributions to the mitigation of climate change through the existing scientific literature.

2.2 Study location and data collection

The experiment was conducted in a farming area in the municipality of Medicilândia, in the state of Pará, in the Brazilian Amazon, located at 03°18'00" south and 52°32'8" west. The region has a tropical monsoon climate according to the Köppen climate classification system. The annual average temperature is 25.6°C, and the average annual rainfall is close to 2,000 mm.

2.3 The agroforestry systems analyzed

The first agroforestry system (AFS-1) analyzed is recommended by Brazil's government technical assistance body, which praises the deployment of cocoa trees in agroforestry systems that use native Amazon rainforest species as permanent shade trees, and is subject to standardized technical coefficients determined by agricultural research. In this system, cocoa trees were planted in 3×3 m areas, or 1,111 trees per hectare, provisionally shaded for three years by banana trees (*Musa* sp.) with the same spacing as the cocoa trees. Permanent shade was provided by native forest species. This system used mahogany as the native species, with a spacing of 21×21 m, or 23 mahogany trees per hectare (CEPLAC, 2013).

This system utilizes more labor and chemical inputs such as pesticides and chemical fertilizers to obtain greater productivity of cocoa, i.e., average of 2,100 kg of dried cocoa almonds per hectare.

Table 1. Technical coefficients used for deployment of a hectare of AFS-1.

Specification	Unit	Project Period											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9-19	20	
I-Labor	man day	115	99	107	80	77	87	87	87	87	87	87	90
Preparing the area for planting	man day	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preparation of beacons and beaconing	man day	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Construction of the nursery	man day	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seedling bags filling	man day	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Planting of cocoa beans	man day	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Planting plants for shade	man day	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maintenance of seedlings	man day	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area cleaning	man day	15	50	40	30	17	17	17	17	17	17	17	17
Opening holes for planting of seedlings	man day	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Combating pests and diseases	man day	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Handling of the shading	man day	7	19	19	14	4	4	4	4	4	4	4	4
Fertilizing	man day	-	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Replanting	man day	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Banana harvest	man day	-	20	40	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Thinning of the cocoa tree	man day	-	-	-	-	4	4	4	4	4	4	4	4
Harvesting and primary processing of cocoa	man day	-	-	-	8	20	30	30	30	30	30	30	30
Mahogany harvest	man day	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
II – Inputs													
Cocoa seed	unit	1,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polyethylene bags	unit	1,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Banana seedlings	unit	1,200	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mahogany seedlings	unit	50	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manual knapsack sprayer	unit	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insecticide	liter	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Spreader adhesive	liter	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N-P-K fertilizer ratio (11:30:17)	kg	-	200	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Urea	kg	-	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Machete	unit	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Trimmer	unit	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3
Individual protection equipment	unit	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bags	unit	-	-	-	5	15	27	35	35	35	35	35	35

Source: CEPLAC, 2013; AFS, agroforestry system

The second system (AFS-2) analyzed is the result of field research suggested in this paper. The farmer implemented this agroforestry system in an area of 40 hectares. The cocoa trees were planted following the recommendation of the Brazil's government technical assistance body, with a spacing of 3×3 m and provisionally shaded by banana trees.

Permanent shade was provided by mahogany trees, with a spacing of 15×15 m, or 44 mahogany trees per hectare (Table 2).

Table 2. Technical coefficients used for deployment of a hectare of AFS-2.

Specification	Unid.	Project period										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9-19	20
I-Labor	man day	115	99	107	80	65	65	65	65	65	65	70
Preparing the area for planting	man day	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preparation of beacons and beaconing	man day	11										
Construction of the nursery	man day	5										
Seedling bags filling	man day	5										
Planting of cocoa beans	man day	2										
Planting plants for shade	man day	14										
Maintenance of seedlings	man day	8										
Area cleaning	man day	15	50	40	30	17	17	17	17	17	17	17
Opening of graves and planting of seedlings	man day	26										
Combating pests and diseases	man day	2	2	2	2	20	20	20	20	20	20	20
Handling of the shading	man day	7	19	19	14	4	4	4	4	4	4	4
Fertilizing	man day		4	6	6							
Replanting	man day		4									
Banana harvest	man day		20	40	20							
Sucker of the cocoa tree	man day					4	4	4	4	4	4	4
Harvesting and primary processing of cocoa	man day				8	20	20	20	20	20	20	20
Mahogany harvest	man day											5
II – Inputs												
Cocoa seed	unit	1,300										
Polyethylene bags	unit	1,300										
Banana seedlings	unit	1,200	120									
Mahogany seedlings	unit	50	10									
Manual knapsack sprayer	liter	1	2	2	2							
Insecticide	liter	1	1	1	1							
Spreader adhesive	kg		200	250	300							
N-P-K fertilizer ratio (11:30:17)	kg		50	50	50							
Urea	unit	1	1	1	1							
Individual protection equipment	unit	1										
Bags	unit				4	10	14	14	14	14	14	14

Source: Research data (2015); AFS, agroforestry system

This system makes less use of labor and chemical inputs from the fourth year of cultivation; the farmer chose not to use fertilizers or chemical pesticides after the maturation of the system and chose to perform some cultural practices in the maintenance of the system,

which resulted in a lower productivity of cocoa, about 800 kilograms of dried almonds per hectare.

Data was collected from the time the agroforestry system reached the age of 7 years until it reached the age of 38 years, from 1983 to 2014. The indicators tracked were production costs, production, and productivity for dried cocoa beans and mahogany wood (yield in cubic meters, obtained by measuring the dendrometric characteristics of the trees: the diameter at breast height and the trunk height). From the total area of 40 hectares, three plots were randomly selected, each plot consisting of 3 hectares, and in each plot, 10 mahogany trees were used for measurement.

The carbon sequestration data attributed to cocoa-based agroforestry systems were obtained through bibliographic research. This analysis was performed by obtaining data from scientific publications that report the experiments conducted on the basis of cocoa agroforestry systems.

2.4 Data analysis methods

The economic feasibility analysis of the cocoa-based agroforestry systems was performed using profitability indicators typically applied to agricultural and forestry investment studies (Table 3).

Table 3. Indicators used in the economic feasibility analysis

Profitability Indicator	Formula	Decision Criteria
CBR	$\frac{\sum B_t}{(1+r)^t} \div \frac{\sum C_t}{(1+r)^t}$	CBR \geq 1
NPV	$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t}$	NPV \geq 0
EAV	$\frac{NPV [(1+r)^n - 1]}{1 - (1+r)^{-n}}$	
IRR	$NPV = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$	

Notes: B represents benefits, the nominal value of revenues in each period t ; C represents costs, the nominal value of costs in each period t ; t is each period (year), from 1 through n , in which revenues or costs occur; r is the discount rate; and n is the total number of periods (years) in the project.

CBR, cost-benefit ratio; NPV, net present value; EAV, equivalent annual value; IRR, internal rate of return

Sources: Gittinger, 1982; Silva and Fontes, 2005

3. Results

3.1 The composition of operational costs

Implementation and maintenance costs were determined from CEPLAC's (2013) *Technical Manual of the Cocoa Tree for the Brazilian Amazon*, which provides the technical coefficients for implementing cocoa-based agroforestry projects, and data obtained from field research on AFS-2 installed on the farmer's property, which was accomplished by monitoring the farmer on the property and expenses made for the maintenance of the system. Table 4 reports the implementation costs for both agroforestry systems.

Table 4. Costs of implementing and maintaining a cocoa-based agroforestry system in the Brazilian Amazon, as of March 2015 (USD per hectare)

AFS-1											
Specification	Project Periods (years)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9–19	20
Labor Costs	1,961	1,688	1,824	1,364	1,313	1,484	1,484	1,484	1,484	1,484	1,535
Implementation	1,961	1,347	1,142	887	-	-	-	-	-	-	-
Maintenance	-	-	-	-	972	972	972	972	972	972	972
Harvest	-	341	682	477	341	512	512	512	512	512	563
Input Costs	255	253	264	300	328	335	340	340	340	340	340
Total Costs	2,216	1,941	2,088	1,664	1,641	1,819	1,824	1,824	1,824	1,824	1,875

AFS-2											
Specification	Project Periods (years)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9–19	20
Labor Costs	1,961	1,688	1,824	1,364	1,108	1,108	1,108	1,108	1,108	1,108	1,193
Implementation	1,961	1,347	1,142	887	-	-	-	-	-	-	-
Maintenance	-	-	-	-	767	767	767	767	767	767	767
Harvest	-	341	682	477	341	341	341	375	375	341	426
Input Costs	269	253	264	300	6	9	9	9	9	9	9
Total Costs	2,230	1,941	2,088	1,664	1,114	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,202

Sources: Values for AFS-1 are from CEPLAC, 2013; values for AFS-2 are from field research data (2015).

AFS, agroforestry system

For the implementation of a cocoa-based agroforestry system, four years of investment are required before cocoa production starts. The greatest need for financial resources, 37% of total investment, occurs in the first year of planting because of the need for labor and inputs for the initial installation of the system.

The amount of labor and inputs used in AFS-1 are greater than those used in AFS-2. AFS-1 requires more financial resources for its implementation because of the intensive use of labor and inputs to ensure greater economic profitability through increased cocoa production. AFS-2 requires less financial resources, particularly in terms of maintenance, because intensive labor is not needed to maintain the system, and it does not use chemical

inputs, such as fertilizers and pesticides. These systems are commonly used by small farmers in the Amazon region because of their lower costs of implementation and maintenance.

3.2 Actual revenues

The revenues obtained from the analyzed agroforestry systems come from the production and sale of bananas, cocoa beans, and mahogany timber.

In this study, revenues from the sale of timber were simulated because, to date, the farmer has not been willing to sell any of the mahogany from the plots. Table 5 reports the major components of the revenue earned in the analyzed agroforestry systems.

Table 5. Actual production from the cocoa-based agroforestry systems analyzed, as of March 2015 (per hectare)

AFS-1												
Production	Unit	Project Periods (years)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9–19	20
Dried cocoa beans	kg	-	-	-	300	900	1,600	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100
Bananas	kg	-	8,000	8,000	8,000	-	-	-	-	-	-	-
Wood	m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.82

AFS-2												
Production	Unit	Project Periods (years)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9–19	20
Dried cocoa beans	kg	-	-	-	200	550	800	800	800	800	800	800
Bananas	kg	-	8,000	8,000	8,000	-	-	-	-	-	-	-
Wood	m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58.96

Note: Each 21-year-old mahogany tree produces an average of 1.34 m³ of wood.

Sources: Values for AFS-1 are from CEPLAC, 2013; values for AFS-2 are from field research data AFS, agroforestry system

The data show that cocoa production from AFS-1, an average of 2,100 kg per hectare, is much higher than that from AFS-2, an average of 800 kg per hectare, reflecting the heavy use of chemical inputs in AFS-1 and the greater number of permanent shade trees in AFS-2. However, the wood productivity of AFS-2 is well above that of AFS-1 because of the greater number of mahogany trees (44 per hectare compared with only 23 per hectare). Studies show that the revenue from cocoa trees may decrease with an increase in permanent shade (Wade et al., 2010; Gockowski and Sonwa, 2011; Somarriba et al., 2013).

For the financial profitability analysis of the two systems, a 21-year timeframe, during which cocoa production stabilizes and the mahogany timber reaches with the threshold for commercial value, was considered. Despite the analyzed system having existed in the field for 38 years, a 21-year timeframe was used to match the funding period adopted by the Brazilian rural credit programs for agroforestry systems, the FNO-Biodiversidade, and for alternative soil use, the Constitutional Financing Fund of the North (FNO), a credit line that aims to restore and maintain the Amazon's biodiversity by granting loans to projects that favor the rational use of natural resources and the adoption of sound management practices (BASA, 2015).

To calculate the financial profitability indicators, the cash flows shown in Table 6 were used.

Table 6. Cash flows of the cocoa-based agroforestry systems analyzed, as of March 2015 (USD)

AFS-1											
Description	Project Periods (years)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9–19	20
Revenues		2,480	2,480	3,131	1,953	3,472	4,557	4,557	4,557	4,557	30,292
Costs	2,216	1,941	2,088	1,664	1,641	1,819	1,824	1,824	1,824	1,824	1,875
Net cash flow	-2,216	539	392	1,467	312	1,653	2,733	2,733	2,733	2,733	28,417

AFS-2											
Description	Project Periods (years)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9–19	20
Revenues		2,480	2,480	2,914	1,194	1,736	1,736	1,736	1,736	1,736	50,968
Costs	2,230	1,941	2,088	1,664	1,114	1,117	1,117	1,117	1,117	1,117	1,202
Net cash flow	-2,230	539	392	1,250	80	619	619	619	619	619	49,766

Note: Product prices as of March 2015 were as follows: bananas = 0.31 USD/kg; dried cocoa beans = 2.17 USD/kg (adapted of CEPLAC, 2015) and mahogany USD 835.00/m³ (adapted of Paraense et al., 2013).

Sources: Values for AFS-1 are from CEPLAC, 2013; values for AFS-2 are from field research data AFS, agroforestry system.

The production figures in Table 5 and the cash flows in Table 6 show that costs are highest in the initial year because of the implementation of the systems, with an even distribution in the following years, with banana production occurring in the first three years and cocoa production beginning in the third year. Cocoa production stabilizes in the sixth year, but costs stabilize only after the ninth year.

3.3 Profitability indicators for the analyzed models

The profitability indicators are reported in Table 7. To calculate these indicators, the cash flows in Table 4 and a discount rate (r) equal to 8.53% per year (the rate used by FNO-Biodiversidade) were used.

Table 7. Profitability indicators for the cocoa-based agroforestry systems analyzed, as of March 2015.

Profitability Indicator	AFS-1	AFS-2
CBR	3.64	5.27
NPV	USD 19,466	USD 11,993
EAV	USD 1,660/hectare per year	USD 1,022/hectare per year
IRR	46% per year	30% per year

Note: A discount rate (r) of 8.53% per year was assumed. The project period analyzed was 21 years.

Sources: Values for AFS-1 are from CEPLAC, 2013; values for AFS-2 are from field research data.

AFS, agroforestry system; CBR, cost-benefit ratio; NPV, net present value; EAV, equivalent annual value; IRR, internal rate of return

The profitability indicators show that both the analyzed agroforestry systems are viable from a financial point of view. The figures show that these systems can be financed through the FNO-Biodiversidade credit program. CBRs, 3.64 for AFS-1 and 5.27 for AFS-2, indicate that the financial benefits of these agroforestry systems are more than three times the cost for AFS-1 and more than four times the cost for AFS-2, making them attractive to farmers. The same can be said for the other indicators, NPV, EAV, and IRR, which look quite attractive from a financial point of view. NPVs of USD 19,466 and 11,993 for AFS-1 and AFS-2, respectively, show that during the 21-year cycle, these systems pay back all the investments and still generate returns for the farmer. EAVs of USD 1,660 and 1,022 per hectare per year for AFS-1 and AFS-2, respectively, represent annual returns, adjusted for the number of hectares, and are better than the results obtained from many agricultural activities in the region. Finally, the 46% and 30% IRR for AFS-1 and AFS-2, respectively, show that the opportunity cost of the capital used in these investments is higher than the FNO-Biodiversidade's 8.53% annual interest rate (BASA, 2015).

3.4 The carbon sequestration attributed to cocoa-based agroforestry systems

Studies of cocoa-based agroforestry systems in Central America (Nicaragua, Honduras, Costa Rica, and Panama) have shown that the carbon stock in aboveground biomass, roots, dead biomass, and soil averages 117 Mg carbon per hectare (Somarriba et al., 2013). In Peru, carbon sequestration in the biomass of living and dead trees and plant litter ranges from 26.2 tons carbon per hectare for a 5-year system to 45.07 tons carbon per hectare for a 12-year system (Concha et al., 2007). In Panama, the carbon stored in cocoa-based agroforestry systems at 25 years ranges from 43 to 62 tons carbon per hectare, with accumulation rates between 1.7 and 2.5 tons carbon per hectare per year (Ortiz et al., 2008). In Colombia, 18- and 35-year-old systems store 28.8 and 33.6 tons carbon per hectare, respectively, in aboveground biomass, accumulating at an average rate of 1.1 tons carbon per hectare per year. Colombia's carbon stored in necromass totals 4.4 tons per hectare (Catañeda, 2013). In Ghana, the carbon stored in trees, including the roots and soil at a depth of 15 cm, averages 131 mg carbon per hectare (Wade et al., 2010). In Cameroon, aboveground carbon stocks reach an equilibrium value of 88.7 tons carbon per hectare in systems aged 25 to 40 years, accumulating at an annual rate of 3.55 tons carbon per hectare (Gockowski and Sonwa, 2011).

In Brazil, in cocoa-based agroforestry systems of 34 years of age, the carbon stock found in the biomass of living and dead trees and plant litter has been estimated at 106.91 tons carbon per hectare (Cotta et al., 2006) and 91.5 Mg carbon per hectare (Cotta et al., 2008). In two 14-year-old systems in the Amazon, the total carbon stock for biomass and for plant litter and soil was 126.59 and 128.41 tons carbon per hectare, respectively, with an average annual increase of 2.86 and 3.15 tons carbon per hectare, respectively, for aboveground carbon (Torres et al., 2014).

4. Discussion

The two cocoa-based agroforestry systems analyzed are the result of field research jointly conducted by researchers from official research institutes and farmers in the region since the 1970s, motivated by government incentive programs. These systems include more than twenty native plant species and have kept cocoa production financially profitable, encouraging farmers to implement the systems in new areas and preserve regional native species that otherwise would likely have got extinct due to the devastating deforestations that have occurred in the region since the 1960s.

An important point to consider in implementing agroforestry systems in the Amazon is that rural credit programs only finance areas that have been degraded by deforestation (i.e., areas of secondary vegetation or abandoned lands and degraded pasture areas). These programs do not finance projects in native forest areas and thus do not prevent the deforestation of new areas. Currently, over 17.2 million hectares of the Brazilian Amazon have been abandoned due to deforestation. The potential for agroforestry systems to mitigate the advance of native forest deforestation, and thus its environmental effects, lies in the attractive financial returns for farmers who own the abandoned land. These farmers can be offered an alternative to clearing new areas of the forest: investing in the recovery of degraded areas for the implementation of cocoa-based agroforestry systems. Because of the success of these systems, there are approximately 170,000 hectares of cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.

Cocoa-based agroforestry systems have the potential for mitigating deforestation because they provide environmental services and maintain biodiversity better than traditional farming systems. Agroforestry systems enable greater biodiversity, preserving the myriad species of tropical countries and contributing to the conservation of many other forest species (De Beenhouwer et al., 2013). Agroforestry systems are a component of adaptation and

mitigation strategies because they offer various ways of ensuring food security for farmers in developing countries, mitigating climate change, reversing or preventing soil degradation, providing atmospheric carbon sequestration, improving soil fertility, and ensuring rural livelihoods by providing diverse products for sale and home consumption (Mbow et al., 2014a; Mbow et al., 2014b; Negash and Kanninen, 2015).

Studies of cocoa-based agroforestry systems have shown that their environmental gains from carbon sequestration are superior to those of traditional crops and close to those of native forests, thus contributing to environmental mitigation and becoming a source of income for farmers through the existing markets for carbon.

Studies have shown that the amount of carbon sequestered by cocoa-based agroforestry systems is close to that of native forests. The carbon stock found in the Atlantic Forest in Brazil averages 202.8 tons carbon per hectare (de Paula et al., 2011). In the Brazilian Amazon, an analysis of three native forests showed that carbon stocks accumulated by the aboveground parts of the forest were 140.6, 122.1, and 180.1 Mg carbon per hectare, with an annual carbon accumulation rates of 2.6, 2.8, and 1.9 Mg carbon per hectare per year, respectively, for living trees (Vieira et al., 2004). Total carbon stored in two forests in the Amazon averaged 183.2 and 189.7 Mg carbon per hectare, with annual carbon accumulation rates of 2.59 and 3.24 Mg carbon per hectare per year, respectively (Pyle et al., 2008). An agroforestry system provides 63% of the level of ecosystem services provided by a forest, whereas traditional agriculture provides only 73% of the level of ecosystem services provided by an agroforestry system (De Beenhouwer et al., 2013).

The approximate results for the amount of carbon accumulated by cocoa-based agroforestry systems and Amazonian forests make these systems sustainable alternatives for restoring the vegetation cover of most of the 17.2 million hectares of the Amazon that have

been abandoned because of deforestation. The adoption of agroforestry systems rather than traditional farming systems is a cost-effective alternative for farmers.

This study has shown that the total investment required to implement a cocoa-based agroforestry system on one hectare of land in the Brazilian Amazon is USD 5,337. This investment is considered low compared with that of other agricultural activities in the region and can be funded by the FNO-Biodiversidade.

Cocoa-based agroforestry systems generate revenues from the various products of the constituent species such as bananas during the first three years, cocoa beginning in the fourth year, regional fruit trees when available, and sale of wood at the end of the cycle. The analysis in this study considers a 21-year cycle to harvest timber, a period that matches the FNO-Biodiversidade's financing term. This 21-year cycle does not consider the order of the analyzed agroforestry systems. This cycle is considered only for the purposes of financial analysis. In fact, cocoa-based agroforestry systems aged more than 40 years are in full production in the Brazilian Amazon. In the state of Bahia, some systems have been in place for more than 100 years. These agroforestry systems, when mature, are even comparable to native forests, with upper canopies composed of permanent shade trees and lower canopies composed of cocoa trees and ombrophilous plants, which inhabit the lower parts of the forest canopy under natural forest conditions.

Considering the cocoa-based agroforestry systems as alternatives to vegetation cover for the deforested areas in the Amazon, the harvesting of timber trees can be done selectively while replacing permanent shade to maintain these systems for many years. To date, agricultural research has not defined an upper limit for the production of the cocoa plant.

Other sources of revenue for cocoa-based agroforestry systems in the region, but not accounted for in this analysis, should be considered. These include payment programs to preserve biodiversity and mitigate environmental damage, such as the program "reducing

emissions from deforestation and forest degradation” (REDD) and the conservation and sustainable forest management practices in developing countries (REDD+) as well as the Sustainable Amazon Fund to finance the Plan to Prevent and Control Deforestation in the Amazon, which is specifically focused on maintaining and preserving the Amazon rainforest (Marcovitch and Pinsky, 2014). The ability to sequester atmospheric carbon, protect and improve the fertility of soil in degraded areas, and maintain the biodiversity of plant and animal species make these systems cost-effective alternatives for mitigating the environmental damage caused by deforestation in the Amazon region where payment programs for environmental services can generate additional income for farmers.

Agroforestry systems can meet the forest canopy cover limits set by national governments (10%–30%) and thus become part of REDD+ (Minang et al., 2014). Some cocoa-based agroforestry systems in southern Cameroon provide forest canopy cover of 88%, clearly well above the threshold, which implies that, given the United Nations Framework Convention on Climate Change’s forest definition, all cocoa-based agroforestry systems in Cameroon have the potential to be forests and should be included in REDD+ (Bisseleua et al., 2009).

Managers of agroforestry systems should also consider selling carbon credits in international markets as an additional source of revenue. Studies show that the monetary value of stocked carbon in cocoa plantations, based on 117 tons of carbon per hectare, are worth USD 2,152 per hectare, much more than the monetary value of carbon in aboveground biomass (USD 920 per hectare). If only carbon accumulation rates in aboveground biomass are considered, cocoa plantations would yield USD 49 per hectare per year (Somarriba et al., 2013). In Brazil, a 36-year-old cocoa-based agroforestry system could earn an income of BRL 6,052.20 per hectare from the sale of credits of Certified Emission Reductions (Cotta et al., 2006).

The economic feasibility analysis of the two cocoa-based agroforestry systems analyzed in this study, with their financial profitability indicators CBR, NPV, EAV, and IRR, has shown that the systems are financially viable and even financially attractive, assuming an interest rate of 8.53% per year. IRRs of 46% and 30% for AFS-1 and AFS-2, respectively, are well above the 8.53% interest rate used by FNO-Biodiversidade, which shows that the implementation of these systems is a rather attractive investment from a financial point of view. Other possible sources of income mentioned in this section of the paper, such as the sale of carbon credits and the financial support of environmental mitigation programs such as REDD+, make these agroforestry systems an interesting alternative for mitigating environmental damage caused by deforestation in the Brazilian Amazon, recovering the vegetation cover of deforested areas with a very similar economic activity to native forest, and increasing the Brazilian production of cocoa, a commodity that in recent years has shown potential in the international market because of its continuous demand surplus.

The profitability indicators in this study have shown that cocoa-based agroforestry systems are an attractive alternative from a financial point of view compared with other agricultural and livestock-raising activities. For example, raising beef cattle on one hundred hectares of land in the Amazon region, assuming an interest rate of 8.75%, would provide CBR of 1.12 and IRR of 11.85% (EMBRAPA, 2006). Producing palm oil (*Elaeis guineensis*) from 10 hectares of land in the Brazilian Amazon would provide IRR of 30.1% (Santos et al., 2014).

Other studies have also demonstrated the financial viability of cocoa-based agroforestry systems. For cocoa-based agroforestry in the state of Bahia, IRR reached 24.12% and EAV reached BRL 1,337.98 per hectare, showing good profitability (Cotta et al., 2006). In the Brazilian Amazon, assuming an interest rate of 8% per year, cocoa-based agroforestry

provided CBR of 1.87 and IRR of 87%, a financial performance that is better than that of other systems studied (Mendes, 2003).

The Amazon requires economic activities that are viable both economically and environmentally, given that deforestation continues to advance each year, driven mainly by the raising of beef cattle. The solution may lie in agroforestry systems that can replace predatory agricultural activities in the region. Therefore, greater incentives are required from the government and from the international community, which cries out for the preservation of the Amazon.

5. Conclusions

This study has concluded that cocoa-based agroforestry systems are viable alternatives from a financial perspective and sustainable alternatives from an ecological perspective for restoring the vegetation cover of Brazilian Amazon rainforests that have been degraded by deforestation. This study also confirms that these systems are financially attractive, making them sustainable substitutes for other agricultural and livestock-raising activities in the region, which are often conducted in newly cleared areas, because they can be implemented in areas that have already been deforested and abandoned.

The agroforestry systems analyzed in this study can and should be used as alternatives for mitigating the environmental damage caused by deforestation in the Amazon region because they maintain biodiversity, protect soil, sequester atmospheric carbon, and provide other environmental benefits to the ecosystem. Therefore, the implementation of cocoa-based agroforestry systems should be part of sustainable development programs that seek to protect the Amazon environment. For this purpose, a joint effort among governments, scientific community, and civil society organizations to offer new financing options (at attractive interest rates) for farmers to implement regional agroforestry systems is required. Government

incentives for research and development can supply new models of agroforestry systems that can replace traditional agricultural activities, which depend on forest clearing, and thereby encourage farmers to adopt these systems to earn income while reducing or halting deforestation in the Brazilian Amazon.

Acknowledgements

We wish to express our gratitude to the Center for Studies and Research in Agribusiness (CEPAN), Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil and the Executive Committee for the Cocoa Farming Plan (CEPLAC), Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply, Belém, Brazil.

References

- Arraes, R.D.A.E., Mariano, F.Z., Simonassi, A.G., 2012. Causes of deforestation in Brazil and its ranking in the global context. *Rev. Econ. Sociol. Rural.* 50, 119–140.
- BASA (Banco de Amazônia), 2015. FNO - Biodiversidade - Alternative use of soil. <http://www.bancoamazonia.com.br/index.php/afinanciamentos/fno/fno-biodiversidade-uso-alt-do-solo> (accessed 23.04.15).
- Bisseleua, D.H.B., Missoup, A.D., Vidal, S., 2009. Biodiversity conservation, ecosystem functioning, and economic incentives under cocoa agroforestry intensification. *Conserv. Biol.* 23, 1176–1184.
- Brasil, 2012. Law No. 12.651, 25.05.12.
- Catañeda, H.J.A., 2013. Carbon storage in cacao (*theobroma cacao*) plantations in Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Sci. Agroaliment.* 1, 6–10.

CEPLAC (Executive Committee of the Cocoa Farming Plan), 2013. Technical manual of the cacao tree for the Brazilian Amazon. CEPLAC/SUEPA, Belém, Brazil.

CEPLAC (Executive Committee of the Cocoa Farming Plan). Cocoa price, 2015. http://www.ceplacpa.gov.br/site/?page_id=2008 (accessed 23.02.15).

Cerri, C.C., Maia, S.M.F., Galdos, M.V., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Bernoux, M., 2009. Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock. *Sci. Agric.* 66, 831–843.

Cintra, R.H.D.S., dos Santos, J.E., Moschini, L.E., Pires, J.S.R., Henke-Oliveira, C., 2006. Qualitative and quantitative analysis of environmental damages through instauration and registers of lawful documents. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 49, 989–999.

Concha, J.Y., Alegre, J.C., Pocomucha, V., 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecol. Apl.* 6, 75–82.

Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., de Paiva, H.N., Soares, C.P.B., Filho, A.D.C.V., Valverde, S.R., 2008. Biomass quantification and emission reduction certificates for rubber-cocoa intercropping. *Rev. Árvore.* 32, 969–978.

Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., Valverde, S.R., Paiva, H.N.D., Filho, A.D.C.V., Silva, M.L.D., 2006. Economic analysis of rubber-cocoa consortium to generate low emissions certificates. *Rev. Árvore.* 30, 969–979.

De Beenhouwer, M., Aerts, R., Honnay, O., 2013. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 175, 1–7.

de Paula, M.D., Costa, C.P.A., Tabarelli, M., 2011. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: The role played by edge-affected habitats and emergent trees. *Trop. Conserv. Sci.* 4, 349–358.

Deheuvels, O., Avelino, J., Somarriba, E., Malezieux, E., 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agric. Ecosyst. Environ.* 149, 181–188.

EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Corporation), 2006. Beef cattle breeding in the state of Pará. Embrapa Amazônia Oriental, Belém.

Fearnside, P.M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conserv. Biol.* 19, 680–688.

Fearnside, P.M., 2009. Global warming in Amazonia: Impacts and mitigation. *Acta Amazonica.* 39, 1003–1011.

Fearnside, P.M., 2012. Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: Unresolved controversies. *Clim. Policy* 12, 70–81.

Feitosa, L.L., Silva, L.M.S., 2010. Developing indicators for agronomic evaluation in agroforestry plots deployed in rural settlements in the municipality of Eldorado do Carajás, in the state of Pará. *Agroecossistemas.* 2, 66–72.

Ferreira, L.V., Venticinque, E., Almeida, S., 2005. Deforestation in the Amazon and the importance of protected areas. *Estud. Av.* 19, 157–166.

Francez, D.D.C.F., Rosa, L.D.S., 2011. The economic viability of five agroforestry systems among small-holders in the Brazilian State of Para. *Rev. Ciênc. Agrar.* 54, 178–187.

Gittinger, J.P., 1982. *Economic Analysis of Agricultural Projects*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Gockowski, J., Sonwa, D., 2011. Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO₂ emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea rain forest of West Africa. *Environ. Manag.* 48, 307–321.

INPE (Brazil's National Institute for Space Research), EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Corporation), 2014. *Project TerraClass 2012*. Brasília.

Jerneck, A., Osson, L., 2013. More than trees! Understanding the agroforestry adoption gap in subsistence agriculture: Insights from narrative walks in Kenya. *J. of Rural Stud.* 32, 114–125.

Lapola, D.M., Martinelli, L.A., Peres, C.A., Ometto, J., Ferreira, M.E., Nobre, C.A., Aguiar, A.P.D., Bustamante, M.M.C., Cardoso, M.F., Costa, M.H., Joly, C.A., Leite, C.C., Moutinho, P., Sampaio, G., Strassburg, B.B.N., Vieira, I.C.G., 2014. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nat. Clim. Chang.* 4, 27–35.

Lundgren, B.O., Raint, J.B., 1983. *Sustained Agroforestry*. ICRAF Reprint. International Council for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi.

Machado, L.D.O.R., 2009. Deforestation in the Brazilian Amazon: Collective action, governance, and governability in the border area. *Soc. Estado.* 24, 115–147.

Marcovitch, J., Pinsky, V.C., 2014. Amazon Fund: Financing deforestation avoidance. *Rev. Adm. (São Paulo)* 49, 280–290.

Mbow, C., Smith, P., Skole, D., Duguma, L., Bustamante, M., 2014a. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opin. in Environ. Sustain.* 6, 8-14.

Mbow, C., Van Noordwijk, M., Luedeling, E., Neufeldt, H., Minang, P.A., Kowero, G., 2014b. Agroforestry solutions to address food change challenges in Africa. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 6, 61–67.

Melo, A.C.G.D., Neto, P.J.D.S., Corrêa, C.A., 2013. Cocoa trees in agroforestry systems, in: Neto, P.J.D.S. (Org.), *Technical Manual of the Cacao Tree for the Brazilian Amazon*. CEPLAC, Belém, Brazil, p. 180.

Mendes, F.A.T., 2003. Simulated models of evaluation of agroforestry systems in small, selected cacao producing properties in the municipality of Tomé Açú, in the state of Pará. *Inf. Gepec.* 7, 1–19.

Mendes, F.A.T., 2014. Description of the cocoa supply chain in the Amazon, in: Santana, A.C. (Org.), *Market, Supply Chain, and Rural Development in the Amazon*. Edufra, Belém, Brazil, p. 471.

Minang, P.A., Duguma, L.A., Bernard, F., Mertz, O., van Noordwijk, M., 2014. Prospects for agroforestry in REDD plus landscapes in Africa. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 6, 78–82.

Negash, M., Kanninen, M., 2015. Modeling biomass and soil carbon sequestration of indigenous agroforestry systems using CO2FIX approach. *Agric. Ecosyst. Environ.* 203, 147–155.

Ortiz, Á., Riascos, L., Somarriba, E., 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería*. 01. 26–29.

Paraense, V.d.C., Mendes, F.A.T., Freitas, A.D.D.d., 2013. Economic evaluation of agroforestry systems of cocoa and mahogany systems plantation the transamazonian: a case study. *Enciclopédia Biosfera* 9, 2754-2764.

Pyle, E.H., Santoni, G.W., Nascimento, H.E.M., Hutyra, L.R., Vieira, S., Curran, D.J., van Haren, J., Saleska, S.R., Chow, V.Y., Camargo, P.B., Laurance, W.F., Wofsy, S.C., 2008. Dynamics of carbon, biomass, and structure in two Amazonian forests. *J. Geophys. Res.: Biogeosci.* 113, 1–20.

Rangel-Vasconcelos, L.G.T., Kato, O.R., Vasconcelos, S.S., 2012. Light soil organic matter in cutting and grinding agroforestry system in brushland management. *Pesqui. Agropec. Bras.* 47, 1142–1149.

Rousseau, G.X., Deheuvels, O., Arias, I.R., Somarriba, E., 2012. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecol. Indic.* 23, 535–543.

Santos, J.C.D., Homma, A.K.O., Sena, A.L.D.S., Júnior, R.A.G., Menezes, A.J.E.A.D., Monteiro, K.F.G., 2014. Socio-economic performance of the Palm Tree Family Productive System in Moju, in the State of Pará. *Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Brazil*, p. 36.

Silva, M.L.D., Fontes, A.A., 2005. Discussion on economic evaluation criteria: Net present value (NPV), equivalent annual value (EAV), and expected value of land. *Rev. Árvore*. 29, 931–936.

Somarriba, E., 1992. Revisiting the past: An essay on agroforestry definition. *Agrofor. Syst.* 19, 233–240.

Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Davila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Avila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E., Deheuvels, O., 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agric. Ecosyst. Environ.* 173, 46–57.

Torres, C.M.M.E., Jacovine, L.A.G., Oliveira Neto, S.N.D., Brianezi, D., Alves, E.B.B.M., 2014. Agroforestry systems in Brazil: An approach about carbon storage. *Pesqui. Florest. Brasil.* 34, 235–244.

Vieira, S., Camargo, P.B.D., Selhorst, D., Silva, R.D., Hutyra, L., Chambers, J.Q., Brown, I.F., Higuchi, N., Santos, J.D., Wofsy, S.C., Trumbore, S.E., Martinelli, L.A., 2004. Forest structure and carbon dynamics in the Amazonian tropical rain forest. *Oecologia.* 140, 468–497.

Wade, A.S.I., Asase, A., Hadley, P., Mason, J., Ofori-Frimpong, K., Preece, D., Spring, N., Norris, K., 2010. Management strategies for maximizing carbon storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 324–334.

CHAPTER 3

Growth and yield of mahogany wood in cocoa-based agroforestry systems of two soil types in the Brazilian Amazon⁸

Sylvan Martins dos Reis^{ab9}, Edson Talamini^a, Paulo Júlio da Silva Neto^b, Sebastião Geraldo Augusto^c, Antônio Carlos Gesta de Melo^b, Homero Dewes^a

^aCenter for Studies and Research in Agribusiness / CEPAN - Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre - RS – Brazil.

^bExecutive Commission for the Cocoa Farming Plan/Cocoa Research / CEPLAC – Ministry of Agriculture, Livestock and Supply – Belém – Brazil.

^cFederal University of Pará – UFPA – Belém - Brazil.

⁸ This article will be submitted to the journal Forest Ecology and Management.
<http://www.journals.elsevier.com/forest-ecology-and-management/>.

⁹Corresponding author:

Center for Studies and Research in Agribusiness (CEPAN)

Federal University of Rio Grande do Sul

Porto Alegre, RS, Brazil. Telephone: +55 91 981184084; + 55 91 33471477

E-mail: sylvanreis@hotmail.com

Abstract

The mahogany tree (*Swietenia macrophylla* King) is an endangered species because it is harvested illegally and destructively. For this reason, this species has been planted in several agroforestry systems in the Brazilian Amazon. This study analyzed the growth and yield of the mahogany wood from plants used as shading in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow acrisols, located in the State of Pará, in the Brazilian Amazon. The installed experiment was a randomized 2×6 factorial experiment, with two types of soil, and six different tree ages. The results indicate that soil type and plant age both separately affected the increments in diameter at breast height. Red-yellow acrisol trees had statistically higher DBH values ($P < 0.05$) than trees from the nitisol (40.05 and 33.57 cm, respectively). There was also a significant interaction between soil type and tree age ($P < 0.01$). The average stem height differed markedly between the soil types from plants aged 19 and 22 years ($P < 0.05$), whereas average stem height differed significantly among the 16-, 19-, and 22-year-old plants ($P < 0.05$). The average wood volume was 1.41 m^3 in planttree⁻¹, and the highest yield was achieved in the red-yellow nitisol site, for 33-year-old trees, which was $1.75 \text{ m}^3 \text{ tree}^{-1}$. These results demonstrate how the cocoa and mahogany-based agroforestry systems can be used for the production of wood and cocoa in a sustainable manner in the Brazilian Amazon.

Keywords: dendrometry; wood production; Amazon rainforest; land use systems; deforestation

1. Introduction

The mahogany tree (*Swietenia macrophylla* King) is a heliophytic evergreen plant. Adult trees can achieve dimensions of approximately 70 m high, with a diameter at breast height (DBH) of 3.5 m. It occurs naturally in Belize, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Guatemala, French Guiana, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Peru, Venezuela, and in the Amazon Basin of Brazil (Veríssimo *et al.*, 1996; Grogan *et al.*, 2002; Brown *et al.*, 2003; Carvalho, 2007; Degen *et al.*, 2013a; da Silva Junior *et al.*, 2014).

Mahogany wood has great commercial value because of its attractive color, durability, dimensional stability, and suitability for carpentry purposes (Veríssimo *et al.*, 1996). Overall, its physical and anatomic characteristics make mahogany wood particularly valued in the furniture industry, and for civil constructions and interior decorations (Guimarães Neto *et al.*, 2004). Because this tropical forest species has such a high commercial value, mahogany has been intensely exploited wherever it occurs (Grogan *et al.*, 2002; Lopes *et al.*, 2008; Degen *et al.*, 2013b), and it is widely commercialized (Andre *et al.*, 2008). As a result, it is one of the main sources of wood exported by Latin America (Guimarães Neto *et al.*, 2004).

Since the end of the 17th century, mahogany has been exploited intensely, and it is currently a threatened species throughout the range of its natural distribution. Some countries in Central America show a reduction of the original populations, with a decrease of up to 80% in the last 50 years (Guimarães Neto *et al.*, 2004). In other countries, the species has even gone extinct (Degen *et al.*, 2013b). Because of the intense exploitation and illegal trade, mahogany is now included in many protected species lists. On 15 November 2003, mahogany received regulatory protection when it was listed in Appendix II of the Second Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora-CITES. CITES is a United Nations agreement, signed by 164 nations, and its objective is to ensure that the international trade of animals and plants does not harm the survival of species (Grogan and Barreto, 2005). Furthermore, a recent legislation has been adopted in Brazil that guarantees the management of the species (Lopes *et al.*, 2008).

Despite this status, the commercial relevance of mahogany wood, and its ecological vulnerability give rise intense concerns on how to guarantee its conservation and sustainable usage (Grogan *et al.*, 2002). The wide acceptance in the market has encouraged the illegal exploitation (Silva Junior *et al.*, 2014), which together with the illegal trade of other wood is believed to be one of the main causes of deforestation worldwide (Degen *et al.*, 2013b).

Mahogany exploitation in the Brazilian Amazon began in the 1930s. However, it intensified after 1960 with the construction of major roads in the region. This exerted a high pressure in the natural mahogany populations, leading to the exhaustion of the stocks in certain areas of the Brazilian Amazon (Veríssimo *et al.*, 1996; Grogan *et al.*, 2002). As in other countries, the mahogany exploitation in Brazil has been associated with illegal practices. Therefore, the Brazilian government proposed new management plans for the species as a way of controlling its exploitation from 1996 onwards (Grogan *et al.*, 2002). In 2011, the Brazilian government prohibited mahogany harvest, and the processing and exportation of its wood after discovering faults in both the lumber industry and the regulatory agencies responsible for the application of forestry laws (Grogan and Barreto, 2005).

Because of its great commercial value, mahogany is one of the species used to recover degraded agricultural lands (ICRAF, 2015), and currently it is one of the favorite forestry species for reforestation and commercial planting setting (Rodriguez-Morelos *et al.*, 2014). In contrast with the limited application of natural forests management for exploration of mahogany, the species has been cultivated in plantations throughout the tropics (Lopes *et al.*, 2008). In the Brazilian Amazon, mahogany is cultivated in agroforestry systems, associated with regional crops. The quality and the price of the mahogany wood derived from these systems are regionally and internationally regarded as acceptable (Vieira *et al.*, 2007). As a consequence, mahogany and other Amazonian hardwoods are often cultivated in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon (Vieira *et al.*, 2007; Bolfe and Batistella, 2011). The cocoa and mahogany-based agroforestry systems are viable from both financial and ecological perspectives (Sanguino *et al.*, 2007). Furthermore, studies on mahogany trees have showed that they also perform well when planted in agroforestry systems with other Amazonian species (Vieira *et al.*, 2007). Overall, Mahogany trees are currently planted in a range of agroforestry systems in the Amazon, especially in cocoa-based systems (Mendes, 2003; Silva *et al.*, 2008). It is therefore important to investigate the development of these agroforestry systems.

This study analyzed the growth and yield of mahogany wood from trees used for shading in cocoa-based agroforestry systems, planted in a rural property in the State of Pará, in the Brazilian Amazon. We assessed the increments of wood volume in two soil types, nitisols and red-yellow acrisols, for trees from in six different time age categories.

2. Material and Methods

2.1 Study area

The experiment was installed on the land of a rural cocoa producer, in Medicilândia City, State of Pará, in the Brazilian Amazon (03°18'00" S, 52°32'8" W). The region's climate is a tropical monsoon climate (am type), according to the Köppen classification. The average annual temperature is 25.6°C, and the average annual precipitation is about 2000 mm.

2.2 Experiment installation, determination of variables and data collection

The experiment was installed using a completely randomized set up. At two different sites, one with the nitisol soil type, and the other red-yellow Acrisol, cocoa-based agroforestry systems were planted in 1982. Each study site covers an area of 1 ha. The cocoa trees were planted according to the technical recommendations of the governmental organization responsible for the promotion of the regional cocoa culture. This entailed plots of 3 × 3 m, with banana plants (*Musa spp.*) planted on the borders of the plots to provide provisional shading. The mahogany plants were subsequently planted in blocks of 9 × 12 m, to provide the definite shading for the cacao plants.

Per soil type, 10 mahogany trees were randomly chosen in the interior of each area of the agroforestry system, in order to avoid any external influences on the trees. Per tree, the following dendrometric variables were analyzed: stem height, diameter at breast height (DBH), and standing tree wood volume. All measurements were made between 1997 and 2014, 16, 19, 22, 31, 32, and 33 years after the planting of the mahogany trees. The stem height is the vertical distance between the ground and the base of the canopy. DBH was measured using a telescopic baton and a hypsometer; measurements were made on the trees at 1.30 m from the soil upwards. DBH measurements were performed by measuring the increments on installed dendrometers using digital calipers and a diameter tape. These were subsequently used to estimate commercial wood volume using equation (1). This equation is frequently used for inventories in plantations or natural forests (Francez *et al.*, 2010), and is as follows:

$$V = DBH^2 \cdot (\pi \div 4) \cdot H_f \cdot F_f \quad (1)$$

where V is the commercial wood volume ($\text{m}^3 \text{ tree}^{-1}$), DBH is the diameter at breast height (cm), H_f is the stem height (m), and F_f is the tree shape factor. The latter factor is used to correct the losses caused by the shape of the stem of the tree. For mahogany, the value of this factor is 0.7 (Nogueira *et al.*, 2006; Rolim *et al.*, 2006; Francez *et al.*, 2010; Miranda *et al.*, 2014).

2.3 Statistical analysis

The data were analyzed as a two-way factorial experiment, with factor 1 being the soil types (two types), and tree age factor 2 (six ages). Nine replicate trees were included per treatment, since one tree per soil type was during the experiment. The influence of both factors was tested with a two-way ANOVA, and differences between the treatments were determined with post-hoc Tukey's tests at a 5% probability level.

The null hypothesis (H_0) for the influence of soil type was that both soils would have similar effects on the average tree growth, on the increments of DBH, and on the stem height. The H_0 for tree age was that at the six different ages, the trees would show similar average growth rates, increments of DBH, and stem height increments. Furthermore, the H_0 hypothesis for the interaction between soil type and tree age was that both factors influenced the three measured variables independently from each other. Finally, to evaluate the relationship between time and increment of wood volume, linear regression models were used. The determination coefficient (R^2) was used to represent the fit of the regression model, whereas an adjusted T-test was used to analyze whether the slope was significantly different from zero.

3. Results

3.1 Effects of the factors soil and age in the diameter at breast height (DBH) increment

There was a significant influence of the soil type and tree age on the increment of DBH (Table 1). Therefore, the H_0 for the influence of soil type and the H_0 for the influence of tree age could be rejected. Since the interaction between soil and tree age was not significant, the effect of the soil type on average DBH increment did not depend on the age of the trees, or *vice versa*.

Table 1 - Analysis of variance (ANOVA) of the average diameter at breast height (DBH) of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) from two soil types (nitisol and red-yellow acrisol) and for six tree ages (16, 19, 22, 31, 32, and 33 years), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.

Source	DF	Sun Sq	Mean Sq	F value
Soil type	1	1124.17068	1124.17068	55.5399 **
Age of the plants	5	4406.15389	881.23078	43.5374 **
Interaction F1 × F2	5	195.96185	39.19237	1.9363 ^{ns}
Handling	11	5726.28642	520.57149	25.7189 **
Residue	96	1943.11467	20.24078	
Total	107	1620.63185		

** Significant at a 1% probability level ($P < 0.01$)

* Significant at a 5% probability level ($0.01 \leq P < 0.05$)

ns not significant ($P \geq 0.05$)

A Tukey's test with a 5% probability level indicated that the average DBH from red-yellow acrisol trees, 40.02 cm was significantly higher than the average DBH from nitisols, which was 33.57 cm (Table 2).

Table 2 – Average diameter at breast height (DBH; cm) of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) from two soil types (nitisols and red-yellow acrisols), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon ($n = 9$).

Soil type	DBH (cm)
Nitisol	33.57 ^b
Red-yellow acrisol	40.02 ^a

Significant minor difference (smd) = 1.72.

Averages followed by different letters differ from each other at a 5% probability level.

The highest DBH value was found at the red-yellow acrisol, where the highest value was 48.76 cm, whereas for the nitisol site this was of 39.37 cm for 33-year-old trees. The lowest DBH values were 26.05 and 28.81 cm, respectively, in red-yellow acrisol and nitisol soil types, for trees that were 16 years old. A Tukey's test with a 5% probability level indicated that the DBH averages obtained after 16, 19, and 22 years of growth differed significantly from those obtained after 31, 32, and 33, years. The highest average (44.08 cm)

was observed for 33-year-old trees, and the lower average (27.43 cm) for 16-year-old ones (Table 3).

Table 3 - Average diameter at breast height (DBH) of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) at different tree ages, planted in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow acrisols, in the Brazilian Amazon ($n = 9$).

Age of the plants (years)	DBH (cm)
16	27.43 ^c
19	31.46 ^{bc}
22	33.13 ^b
31	41.72 ^a
32	42.9 ^a
33	44.08 ^a

Significant minor difference (smd) = 4.36.

Averages followed by different letters differ from each other at a 5% probability level.

3.2 Effects of the factors soil and age in the mahogany plants stem height increment

There was a significant influence of soil type and tree age on stem height, as well as a significant interactive effect from both factors on stem height (Table 4). Therefore, the H_0 for interactive effects was rejected, and we assumed that for stem height, the effect of the soil type depended on tree age, and *vice versa*. Therefore, no analysis of the main effects (soil type and tree age) was performed. Moreover, the only Tukey's test that was performed was applied to the soil type and tree age combinations.

Table 4 - Analysis of variance (ANOVA) of the stem height (m) of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) from two soil types (nitisol and red-yellow Acrisol) and for six tree ages (16, 19, 22, 31, 32, and 33 years), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.

Source	DF	Sun Sq	Mean Sq	F value
Soil type	1	8.11259	8.11259	6.3689 *
Age of the plants	5	78.66074	15.73215	12.3508 **
Interaction F1 × F2	5	20.39185	4.07837	3.2018 *
Handling	11	107.16519	9.74229	7.6483 *
Residue	96	1943.11467	20.24078	
Total	107	1620.63185		

** significant at a 1% probability level ($P < 0.01$)

* significant at a 5% probability level ($0.01 \leq P < 0.05$)

ns not significant ($P \geq 0.05$)

The data show that the highest average stem height values, 13 m, was achieved at the age of 33 in the red-yellow Acrisol site. However, for the nitisol trees, stem height was higher than at the Acrisol site when they were 16, 19, and 22 years old, and lower at the ages of 31, 32, and 33 years. The Tukey's test at a 5% probability showed that these differences were significant, and that there is dependence between the effects of both factors on tree stem height averages (Table 5).

Table 5 - Average stem height (m) of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) from two soil types (nitisol and red-yellow Acrisol) and for six tree ages (16, 19, 22, 31, 32, and 33 years), planted in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon ($n = 9$).

Soil Type	Age (years)				
	16	19	22	31	32
Nitisol	10.80 ^{aA}	11.50 ^{aA}	11.49 ^{aA}	11.83 ^{aA}	12.03 ^{aA}
Red-yellow Acrisol	9.75 ^{aB}	9.91 ^{bB}	10.03 ^{bB}	11.64 ^{aA}	12.33 ^{aA}

smd for columns = 1; smd for lines = 1.5481

Coefficient of variation (CV) = 9.92

Lowercase classification

Lowercase letters indicate comparisons between two soil types, and uppercase comparisons within each soil type. Per soil type, identical lowercase letters indicate no significant differences within the soil type group. For each age, soil averages followed by the same uppercase letter do not differ from each other.

The nitisol trees did not differ in stem height among the different age groups, whereas for the Acrisol trees, the averages at the ages of 31, 32, and 33 years were higher than trees

that were 16, 19, and 22 years old. Furthermore, for the two soil types, only the 19- and 22-year-old trees differed significantly from each other. From the age of 22 years onwards, the average stem heights were similar in both types of soil. In addition, the results indicate a stabilization of stem height after 32 years. Finally, the largest difference occurred between the nitisol trees and those from the red-yellow acrisol site for 19-year-old trees (1.59 m).

3.3 Yields of wood commercial volume

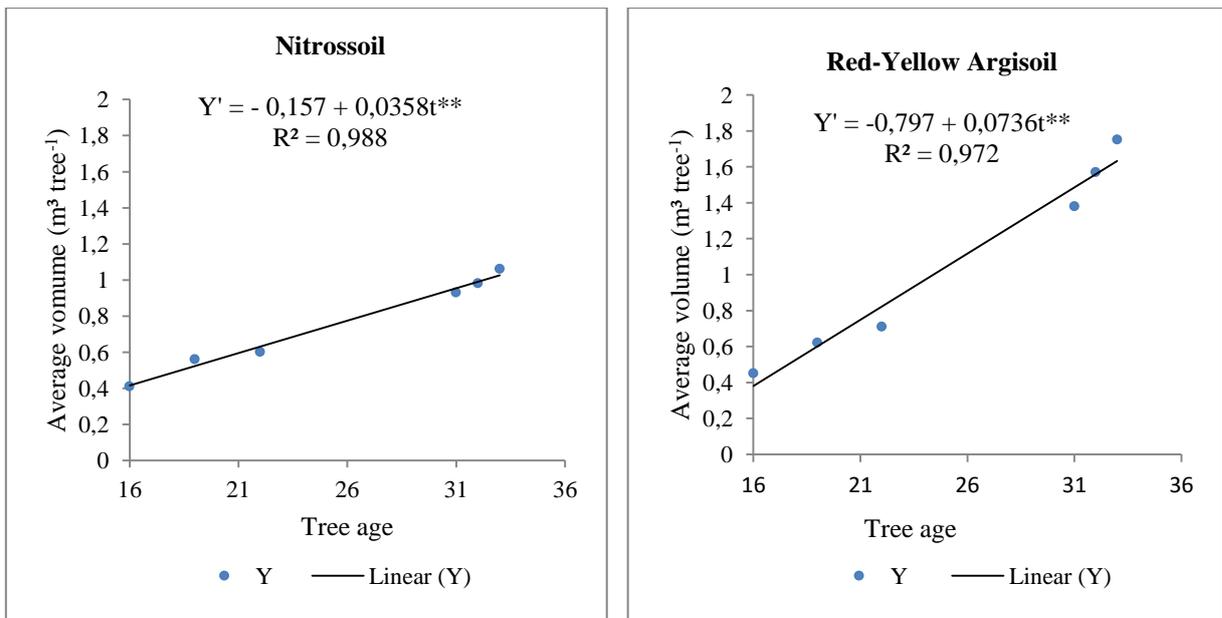
The mahogany wood volumes per site-year combination were calculated using the diameter at breast height (DBH) and stem height values. The mahogany wood yields were higher for the red-yellow acrisol site, and increased with tree age (Table 6). The average wood volume was 1.41 m³ tree⁻¹. The largest yield was for 33-year-old trees from the red-yellow acrisol site, which was 1.75 m³ tree⁻¹. For nitisol trees, this was 1.06 m³ tree⁻¹. The largest difference in wood volume between the two soil types, 0.69 m³ tree⁻¹, was also observed for trees that were 33 years old.

Table 6 - Average yields of the commercial wood volume of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) at different tree ages, planted in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow acrisols, in the Brazilian Amazon ($n = 9$). Volumes are calculated with DBH and stem height data according to Francez *et al* (2010).

Tree age (years)	Volume of wood (m ³ tree ⁻¹)	
	Nitisol	Red-yellow acrisol
16	0.41	0.45
19	0.56	0.62
22	0.60	0.71
31	0.93	1.38
32	0.98	1.57
33	1.06	1.75

According to the regression equations, time (i.e., tree age) had significant effect ($P < 0.01$) on the commercial wood volume for the analyzed period (Figure 1). The increments in the volume of wood were on average 0.035 m³ tree⁻¹ year⁻¹ for the nitisol site, and of 0.073 m³ tree⁻¹ year⁻¹ for the red-yellow acrisol site. This indicates that mahogany trees perform better

in the latter site. The coefficients of determination (R^2) were 98.90% and 97.27% for the nitisol and red-yellow Acrisol site, respectively. This indicates that the linear regression model explained the effects of time on wood volume yields very well. Overall, the increases in wood volume with time are the result of increments in tree height and diameter with age.



Source: elaborated by the authors.

Figure 1 - Commercial wood volume of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King) with tree age, planted in cocoa-based agroforestry systems with nitisols and red-yellow Acrisols, in the Brazilian Amazon.

4. Discussion

Overall, the positive results of mahogany yield in cocoa-based agroforestry systems suggest this species can be used in composing agroforestry systems in the Brazilian Amazon. This could make these systems more profitable, given the great commercial value of mahogany in the national and international market.

Timber species of tropical regions usually occur in primary forests, at densities of approximately one adult tree or of commercial size per hectare (Andre *et al.*, 2008). Mahogany is one of them, and occurs dispersed through the tropical forests, or in small groups, with densities almost never exceeding 4 to 8 trees ha⁻¹ (ICRAF, 2015). In the

Brazilian Amazon, mahogany trees are not distributed evenly throughout the forest, and their density is quite diverse, ranging from 0.3 to 2.1 trees ha⁻¹, with an average DBH of 75 cm (Veríssimo *et al.*, 1995). Overall, the density of trees with a DBH \geq 20 cm is 1.17 trees ha⁻¹ in the Amazon forest (Grogan *et al.*, 2008). Unfortunately, the natural populations of mahogany are rapidly declining due to selective (and illegal) harvesting (Perez *et al.*, 2010).

Because of the intense mahogany exploitation, as well as its economic value, the species is being cultivated for commercial purposes in both homogeneous and intercropping plantation set ups. However, because of outbreaks of the mahogany shoot borer (*Hypsipyla grandella* Zeller) and the damage caused by its caterpillars, there have been repeated failures in the cultivation of mahogany as a crop (Alves Silva *et al.*, 2013). This has limited the commercial success of mahogany planting in Latin America (Perez *et al.*, 2010). Damage is caused by the mahogany shoot borer larvae in the meristem of young plants, which is the plant part responsible for growing side shoots. As a result, the affected trees have a deformed axis (Sánchez-Soto *et al.*, 2009). Although mahogany can grow in different types of set-ups (e.g., mono-specific cropping, mixed plantations, enrichment planting in lines), and in different soils, most plantations are attacked by the larvae of *H. grandella*. This rarely destroys the trees completely, but it affects the terminal shoot, resulting in trees with low branches and a reduced commercial value that makes the wood unmarketable (Lopes *et al.*, 2008; Perez *et al.*, 2010). Finally, it can even prevent the tree from growing until it reaches the size for wood commercial production (Sánchez-Soto *et al.*, 2009). Overall, homogeneous plantings of mahogany in the Brazilian Amazon have shown to be highly susceptible to the attack of *H. grandella*.

On the other hand, mahogany production in consortium with other species has shown to be viable in different regions. *H. grandella* prefers to attack trees that have a great sunlight exposure, which suggests that the shadow of other trees may have a barrier effect against such attacks. Therefore, mahogany plantations that experience a protective canopy can be a promising measure to reduce the risk of *H. grandella* damage (Sánchez-Soto *et al.*, 2009). Furthermore, in intercropping plantations, the density of the mahogany trees is reduced, and the distribution in the field, as well as the biophysical barrier formed by other species, makes it harder for *H. grandella* outbreaks to succeed (Alves Silva *et al.*, 2013). Therefore, commercial plantings of mahogany in agroforestry systems have the potential to ensure the success of the reproduction of the species in the Amazon, given its performance in the cocoa-based agroforestry systems, as shown in Figure 2. At our study site, the protection provided to

the mahogany seedlings by the shading of other plants, as well as the species diversity, and the low density of mahogany plants may have reduced potential losses from *H. grandella*, resulting in the uniform growth of the plants. Since the start of the mahogany plantation in 1982, 24% of the trees have been lost. From the 3.000 seedlings planted in 1982, there are currently approximately 2.300 mahogany trees in the studied area. To date, no trees have been removed from the area for commercial purposes.



Source: the authors.

Figure 2 – Thirty-three-year-old mahogany trees implanted in two cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon.

The positive and significant effects of the soil types obtained in our analysis on the mahogany tree growth are associated with the nature of the species. The mahogany tree is found in different forest types, and in alluvial soils with a considerable fertility (ICRAF, 2015). Overall, it grows in a variety of soil types, and under diverse conditions, such as deep, shallow, acidic, and well-drained soils with a high clay content (Grogan *et al.*, 2002). For example, in the transition forests of the Southeastern Amazon, adult populations occur mainly in hydromorphic soils, associated with seasonal flows (Carvalho, 2007; Norghauer *et al.*, 2008). The vegetation in the mahogany zone in Pará, in the Brazilian Amazon, is perennial forest and the forest integrated with open cerrado, which generally grows in red-yellow

acrisols (Veríssimo *et al.*, 1995).

The DBH and height increments found in this study are similar to those obtained in other studies. In Mexico, 16-year-old mahogany plantations showed a maximum stem height of 23 m, a maximum DBH of 23 cm, and a maximum wood volume of 14 m³ ha⁻¹ (Pérez González *et al.*, 2012). In the Brazilian Amazon, increase in stem height of mahogany trees planted in forest clearings was of 1.04 m year⁻¹ (Lopes *et al.*, 2008). After five years, these mahogany plantations in clearings and skid trails demonstrated an average diameter increment of 2.58 cm and the average height of 3.31 meters (d'Oliveira, 2000).

In the Brazilian Amazon, an average of one commercial mahogany tree is extracted per hectare, yielding an average volume of 5.5 m³ ha⁻¹ (Veríssimo *et al.*, 1995). These low densities, as well as the great dispersion of trees in the forest, render the production of mahogany wood increasingly more expensive. Besides being expensive, the exploitation of native mahogany causes great harm to the environment. Extracting an adult mahogany tree from the forest cause considerable damage, since those trees are usually located in areas of virgin forest that are difficult to reach. For each removed mahogany tree, 583 m² of area is opened, including 493 m² of affected understory, with an average of 31 damaged trees of other species. This causes a serious impact over the forest genetic diversity and the mahogany population (Veríssimo *et al.*, 1996). Therefore, mahogany cultivation in cocoa-based agroforestry systems is a promising solution to this kind of damage for the Amazonian region. Especially since the average wood yield was 1.41 m³ tree⁻¹ at the age of 33, which, with a density of 92 plants ha⁻¹, produced an average of 130 m³ ha⁻¹ of mahogany wood. Furthermore, the cocoa-based agroforestry systems are planted in areas that were degraded by deforestation. It will therefore both recovering those areas, and reduce the deforestation pressure in other areas. The low density when compared to that of mono-cultures and the species diversity will protect the mahogany seedlings, which will subsequently suffer less damage due to *H. grandella*. These systems can be viable from both economic and ecological perspectives, since the diversified production of cocoa, bananas, fruit trees and mahogany, increase the producer's income, which encourages them to plant more systems that recover degraded areas and prevent new areas from deforestation. Overall, the practice is tolerated by the current harvest regulations in Brazil for mahogany and other species of wood, leading to the commercial depletion after 2 to 3 cutting cycles (Grogan *et al.*, 2014).

5. Conclusions

The results of this study show that it is viable to plant mahogany in cocoa-based agroforestry systems in the Brazilian Amazon. The vegetative growth in stem height and DBH resulted in a considerable wood yield per hectare, which shows that the species adapts well to cultivation in agroforestry systems, with better results than planting mahogany mono-cultures. This successful adaptation was mainly attributed to the reduced success of the shoot borer. As a result, the cocoa-based agroforestry systems can result in higher yields of mahogany wood than the natural forests of the region. Furthermore, cultivation in a controlled way avoids the logging of native forests, and the environmental damage associated with wood exploitation, which is one of the main causes of deforestation in the Amazon. The cocoa and mahogany-based agroforestry system is therefore a viable alternative to replace the illegal extraction of mahogany wood, which can also serve to repopulate the forest areas that are degraded by deforestation in the region.

Acknowledgements

We thank the Center for Studies and Research in Agribusiness (CEPAN), the Federal University of Rio Grande do Sul in Porto Alegre, RS, Brazil, the Research in Agribusiness Executive Commission for the Cocoa Farming Plan/Cocoa Research (CEPLAC), and the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply in Belém, Brazil, for the opportunity and support to carry out this study.

References

- Alves Silva, M.C., dos Santos Rosa, L., Vieira, T.A., 2013. The efficiency of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) as natural barrier to attack by *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on the Brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazon.* 43, 19–24.
- Andre, T., Lemes, M.R., Grogan, J., Gribel, R., 2008. Post-logging loss of genetic diversity in a mahogany (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) population in Brazilian Amazonia. *For. Ecol. Manage.* 255, 340–345.

- Bolfe, É.L., Batistella, M., 2011. Floristic and structural analysis of agroforestry systems in Tomé-Açu, Pará, Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 46, 1139–1147.
- Brown, N., Jennings, S., Clements, T., 2003. The ecology, silviculture and biogeography of mahogany (*Swietenia macrophylla*): a critical review of the evidence. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 6, 37–49.
- Carvalho, P.E.R., 2007. Mogno - *Swietenia Macrophylla*. In: Embrapa (Ed.). Embrapa Florestas, Colombo, p. 12.
- d'Oliveira, M.V.N., 2000. Artificial regeneration in gaps and skidding trails after mechanised forest exploitation in Acre, Brazil. *For. Ecol. Manage.* 127, 67–76.
- da Silva Junior, M.L., de Souza Junior, J.C., Maciel Braga, A.C., Ohashi, O.S., de Melo, V.S., da Silva, G.R., Silva Pedroso, A.J., de Matos Viegas, I.J., Medeiros Saldanha, E.C., 2014. Brazilian mahogany growth and resistance to *Hypsipyla grandella* under calcium and boron. *Revista Arvore* 38, 1085–1094.
- Degen, B., Ward, S.E., Lemes, M.R., Navarro, C., Cavers, S., Sebbenn, A.M., 2013a. Verifying the geographic origin of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with DNA-fingerprints. *Forensic Science International: Genetics* 7, 55–62.
- Degen, B., Ward, S.E., Lemes, M.R., Navarro, C., Cavers, S., Sebbenn, A.M., 2013b. Verifying the geographic origin of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with DNA-fingerprints. *Forensic Sci. Int. Genet.* 7, 55–62.
- Francez, L.M.d.B., Souza, D.V., Takehana, C.L.I., Barros, P.L.C.d., 2010. Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos de manejo florestal sustentável - PMFS. In: Ambiente, S.d.E.d.M. (Ed.), Belém, p. 66.
- Grogan, J., Barreto, P., 2005. Big-leaf mahogany on CITES Appendix II: Big challenge, big opportunity. *Conserva. Biol.* 19, 973–976.
- Grogan, J., Barreto, P., Veríssimo, A., 2002. Mogno na Amazônia Brasileira: ecologia e perspectivas de manejo, Belém.
- Grogan, J., Jennings, S.B., Landis, R.M., Schulze, M., Baima, A.M.V., Lopes, J.d.C.A., Norghauer, J.M., Oliveira, L.R., Pantoja, F., Pinto, D., Silva, J.N.M., Vidal, E., Zimmerman,

B.L., 2008. What loggers leave behind: Impacts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manage.* 255, 269–281.

Grogan, J., Landis, R.M., Free, C.M., Schulze, M.D., Lentini, M., Ashton, M.S., 2014. Big-leaf mahogany *Swietenia macrophylla* population dynamics and implications for sustainable management. *J. Appl. Ecol.* 51, 664–674.

Guimarães Neto, A.B., Felfili, J.M., Silva, G.F.d., Mazzei, L., Fagg, C.W., Nogueira, P.E., 2004. Avaliação do plantio homogêneo de mogno, *Swietenia macrophylla* King, em comparação com o plantio consorciado com *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, após 40 meses de idade. *Rev. Árvore* 28, 775–784.

ICRAF, 2015. Agroforestry Database - *Swietenia macrophylla*. <http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=1566> (accessed 22.10.15).

Lopes, J.d.C.A., Jennings, S.B., Matni, N.M., 2008. Planting mahogany in canopy gaps created by commercial harvesting. *For. Ecol. Manage.* 255, 300–307.

Mendes, F.A.T., 2003. Avaliação de modelos simulados de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades cacauceiras selecionadas no Município de Tomé Açu, no Estado do Pará. *Informe Gepec* 7, 1–19.

Miranda, L.C., Paro, A.V., Costa, G.R., 2014. Estimativa do volume em árvores de *Hymenaea coubaril* e *Trattinnickia burserifolia* no Norte de Mato Grosso. *Nativa* 2, 219–233.

Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.A., 2006. Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks. *For. Ecol. Manage.* 227, 14–21.

Norghauer, J.M., Malcolm, J.R., Zimmerman, B.L., Felfili, J.M., 2008. Experimental establishment of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings on two soil types in native forest of Para, Brazil. *For. Ecol. Manage.* 255, 282–291.

Perez, J., Eigenbrode, S.D., Hilje, L., Tripepi, R.R., Aguilar, M.E., Mesen, F., 2010. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) Damage to New World Meliaceae species. *Neotrop. Entomol.* 39, 618–625.

- Pérez González, G., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Etchevers Barra, J.D., 2012. Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y bosques* 18, 7–24.
- Rodríguez-Morelos, V.H., Soto-Estrada, A., Perez-Moreno, J., Franco-Ramirez, A., Diaz-Rivera, P., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of seedlings and mature trees of *Swietenia macrophylla* (Magnoliophyta: Meliaceae) in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Revista Chil. Hist. Nat.* 87.
- Rolim, S.G., do Couto, H.T.Z., de Jesus, R.M., Franca, J.T., 2006. Volumetric models for Tapirape-Aquiri National Forest (Para, Brazil). *Acta Amazon.* 36, 107–114.
- Sanguino, A.C., Santana, A.C.d., Homma, A.K.O., Barros, P.L.C.d.B., Kato, O.R., Amin, M.M.G.H.A., 2007. Análise econômica de investimentos em sistemas de produção agroflorestal no Estado do Pará. *Rev. Ciênc. Agrár.* 47, 23–47.
- Silva, P.d.T.E.d., Brienza Júnior, S., Yared, J.A.G., Barros, P.L.C.d., Maciel, M.d.N.M., 2008. Main forest species systems used in the amazon agroforestry. *Rev. Ciênc. Agrár.* 49, 127–144.
- Sánchez-Soto, S., Domínguez-Domínguez, M., Cortés-Madriral, H., 2009. Efecto de la sombra en plantas de caoba sobre la incidencia de *Hypsipyla grandella* Zeller y otros insectos, en Tabasco, México. *Universidad y ciencia* 25, 225–232.
- Veríssimo, A., Barreto, P., Tarifa, R., Uhl, C., 1995. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. *For. Ecol. Manage.* 72, 39–60.
- Veríssimo, A., Barreto, P., Tarife, R., Uhl, C., 1996. A exploração de um recurso florestal amazônico de alto valor: o caso do mogno. In: Veríssimo, A.C.B.e.A. (Ed.), *A expansão da atividade madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará*. Imazon, Belém, p. 168.
- Vieira, T.A., Rosa, L.d.S., Silva Vasconcelos, P.C., dos Santos, M.M., Modesto, R.d.S., 2007. Agroforestry systems in areas of smallholder agriculture in Igarape-Acu, Para: floristic characterization, implantation and management. *Acta Amazon.* 37, 549–557.

4 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados permitiram chegar as seguintes conclusões.

A avaliação das publicações científicas sobre sistemas agroflorestais com cacau na Amazônia brasileira oferece subsídio para o conhecimento dos principais temas pesquisados na região, assim como, mostra as experiências realizadas por agricultores e a busca pela validação científica dos resultados dos sistemas agroflorestais como alternativa sustentável de agricultura, que pode substituir o sistema de agricultura tradicional da região, baseado na agricultura de corte e queima e na pecuária extensiva. Mostrando que utilização desses sistemas agroflorestais na Amazônia pode ser uma das alternativas agrícolas sustentáveis para reduzir a pressão sobre as florestas nativas, reduzindo os desmatamentos constantes e oferecendo cobertura vegetal produtiva para as áreas já desmatadas.

A avaliação financeira mostrou sustentabilidade financeira dos sistemas agroflorestais à base de cacau e mogno analisados, indicando viabilidade na sua utilização como reposição da cobertura vegetal de áreas degradadas pelo desmatamento região. Esses sistemas mostraram-se bastante atrativos do ponto de vista financeiro para serem financiados pela linha de crédito rural governamental destinada a preservação da biodiversidade e redução do desmatamento na região, apresentando-se como atividade agrícola viável para ajudar na mitigação dos danos ambientais provocados pelo desmatamento, pois, proporcionam a conservação da biodiversidade, proteção do solo, sequestro de carbono atmosférico além de outros benefícios ambientais para o ecossistema Amazônico.

A avaliação do desenvolvimento das plantas de mogno como componentes arbóreas utilizadas como sombreamento definitivo nos sistemas agroflorestas à base de cacau mostra o bom desempenho do desenvolvimento vegetativo das plantas, a boa adaptação aos tipos de solos analisados e a baixa perda de mudas, atribuída principalmente à broca do broto, principal obstáculo para o cultivo dessa espécie florestal na região, resultando em um rendimento de madeira superior ao encontrado em condições naturais de florestas da região. Esses rendimentos na produção de madeira de mogno credenciam os sistemas agroflorestais à base de cacau e mogno como alternativa viável para substituir a extração ilegal de madeira, assim como, repovoar as áreas de florestas degradadas pelo desmatamento na região.

Portanto, a implantação de sistemas agroflorestais à base de cacau deve fazer parte de programas de desenvolvimento sustentável que buscam proteger o meio ambiente Amazônico. Para tanto, é necessário que exista um esforço conjunto entre governos, comunidade científica

e sociedade civil organizada para oferecer novas alternativas de financiamento e outros incentivos financeiros para a implantação de sistemas agroflorestais regionais a taxas de juros atrativas aos agricultores da região. A necessidade do incentivo governamental para a pesquisa e desenvolvimento pode proporcionar a oferta de novos modelos de sistemas agroflorestais que possam substituir as atividades agrícolas tradicionais que não atendem aos preceitos da sustentabilidade econômica, ambiental e social, e dessa forma, incentivar os agricultores adotarem esses sistemas como fonte de receita agrícola, reduzindo ou cessando o desmatamento na Amazônia brasileira.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. A. D. et al. **Sistema de produção agrossilvopastoril no Semiárido do Ceará**. Fortaleza: Secretaria de Recursos Hídricos, 2010. 33 p. v. 10. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29523/1/CARTILHAS-Sistema-de-producao-agrossilvopastoril-no-semiarido.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

ARCO-VERDE, M. F.; SILVA, I. C.; MOURÃO JÚNIOR, M. Nutrient release and productivity of agroforestry species in agroforestry systems in Amazônia. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 11-22, 2009. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/viewArticle/13721>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

ARRAES, R. D. A. E.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 119-140, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032012000100007>. Acesso em: 14 jul. 2015.

AYRES, M. I. D. C.; ALFAIA, S. S. Yield of cupuaçu fruits in response to liming and potassium fertilization in agroforestry systems in the Western Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 957-963, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2007000700007&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 05 jan. 2015.

BOSSEL, H. **Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications**. Manitoba: International Institute for Sustainable Development, 1999. 124 p. Disponível em: <<http://www.iisd.org/publications/pub.aspx?id=275>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em 14 jul. 2015.

CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). **Diretrizes para expansão da cacauicultura nacional - PROCACAU**. Brasília: [CEPLAC], 1997. 350 p.

_____. **Manual técnico do cacauieiro para a Amazônia brasileira**. Belém: CEPLAC/SUEPA, 2013. 180 p.

_____. **Programa de Desenvolvimento da Cacauicultura**. 2014. Disponível em: <http://www.ceplacpa.gov.br/site/?page_id=218>. Acesso em: 16 abr. 2014.

CERRI, C. C. et al. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v66n6/a17v66n6.pdf>>.. Acesso em: 14 jul. 2015.

CINTRA, R. H. D. S. et al. Qualitative and quantitative analysis of environmental damages through instauration and registers of lawful documents. **Brazilian Archives of Biology and**

Technology, Curitiba, v. 49, n. 6, p. 989-999, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/babt/v49n6/a17v49n6.pdf>>.. Acesso em: 14 jul. 2015.

CONDÉ, T. M. C. et al. Morphometric of four species in agroforestry systems in the municipality of. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 18-27, 2013. Disponível em: <<http://revista.ufr.br/index.php/agroambiente/article/view/932>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CORRÊA, F. L. D. O. et al. Litter production in multistrata agroforestry system in Rondônia State, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1099-1105, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542006000600008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 05 jan. 2015.

_____. Nutrients cycling in agroforestry system with fruitful and forests species in Rondônia, Brazil. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 18, p. 71-82, 2006. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/paginas/agrotropica/>>. Acesso em: 31 ago 2015.

DA COSTA AYRES, M. I.; ALFAIA, S. S. Yield of cupuacu fruits in response to liming and potassium fertilization in agroforestry systems in the Western Amazon. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 957-963, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2007000700007&script=sci_arttext&tlng=en>. . Acesso em: 11 nov. 2015.

DEHEUVELS, O. et al. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 149, p. 181–188, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.003>>. Acesso em: 31 maio 2014.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Cumbre Mundial sobre la Alimentación**. 1996. Disponível em: <http://www.fao.org/wfs/index_es.htm>. Acesso em: 12 jun. 2015.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. **Conservation Biology**, Boston, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x/epdf>>.. Acesso em: 11 nov. 2015.

_____. Global warming in Amazonia: Impacts and Mitigation. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 1003-1011, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672009000400030>. Acesso em: 14 jul. 2015.

_____. Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: unresolved controversies. **Climate Policy**, v. 12, n. 1, p. 70-81, 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14693062.2011.581571>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

FEITOSA, L. L.; SILVA, L. M. S. Construindo indicadores para uma avaliação agrônômica em parcelas de sistemas agroflorestais implantadas em assentamentos rurais, no município de Eldorado do Carajás, Pará. **Agroecossistemas**, v. 2, n. 1, p. 66-72, 2010. Disponível em: <

<http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/1224>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 14 abr. 2014.

FRANCEZ, D. D. C. F.; ROSA, L. D. S. The economic viability of five agroforestry systems among small-holders in the Brazilian State of Para. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 54, n. 2, p. 178-187, 2011. Disponível em: < <http://www.periodicos.ufra.edu.br/index.php?journal=ajaes&page=article&op=view&path%5B%5D=107>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Levantamento sistemático da produção agrícola, setembro de 2014**. Rio de Janeiro: [IBGE], 2014. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

ICCO (The International Cocoa Organization). **Downloads**. Statistics – Production. Related Documents. 2014. Disponível em: <http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/30-related-documents/46-statistics-production.html>. Acesso em: 04 nov. 2014.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, 2015. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 01 nov. 2015.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Projeto TerraClass 2012**. Brasília: [EMBRAPA], 2014

JERNECK, A.; OLSSON, L. More than trees! Understanding the agroforestry adoption gap in subsistence agriculture: Insights from narrative walks in Kenya. **Journal of Rural Studies**, New York, v. 32, p. 114–125, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.04.004>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2014. Disponível em: < <http://www.nature.com/nclimate/journal/v4/n1/pdf/nclimate2056.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2014.

LUNDGREN, B. O.; RAIN, J. B. **Sustained Agroforestry**. ICRAF Reprint. Nairobi: International Council for Research in Agroforestry (ICRAF), 1983. Disponível em: < http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABC621.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2014.

MACHADO, L. O. R. Desflorestamento na Amazônia brasileira: ação coletiva, governança e governabilidade em área de fronteira. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 115-147, 2009. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/se/v24n1/a06v24n1.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

MATTHIAS DE BEENHOUWER, R. A.; OLIVIER HONNAY. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 175, p. 1–7, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.003>>. Acesso em: 31 maio 2014.

MELO, A. C. G. D.; NETO, P. J. D. S.; CORRÊA, C. A. Cacaueiros em sistemas agroflorestais. In: CEPLAC/SUEPA (Ed.). **Manual técnico do cacauero para a Amazônia brasileira**. Belém: [s.n], 2013. p. 180.

MENDES, F. A. T. Descrição da cadeia produtiva do cacau na Amazônia. In: EDUFRA (Ed.). **Mercado, cadeia produtiva e desenvolvimento rural na amazônia**. Belém: Edufra, 2014. cap. 5, p. 471.

MEYLAN, L. et al. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. **Agricultural Systems**, Essex, v. 118, p. 52–64, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.002>>. Acesso em: 31 maio 2013.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 3, n. 2, p. 97-128, 1985. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00122638>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

PANDEY, S.; HARDAKER, J. B. The role of modelling in the quest for sustainable farming systems. **Agricultural Systems**, Dordrecht, v. 47, n. 4, p. 439–450, 1995. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0308-521X\(95\)92109-J](http://dx.doi.org/10.1016/0308-521X(95)92109-J)>. Acesso em: 07 abr. 2014.

POMPEU, G. D. S. D. S. et al. Influência das características socio-econômicas de agricultores familiares na adoção de sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 54, n. 1, p. 33-41, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufra.edu.br/index.php?journal=ajaes&page=article&op=view&path%5B%5D=92>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestral de corte e trituração sob manejo de capoeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1142-1149, 2012. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/11810>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

RIBEIRO, G. D.; JARDIM, F. C. D. S.; ROSA, L. D. S. Preliminary evaluation of an agroforestry system in the green water Project at Albrás, Barcarena, Pará, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 41, p. 25-45, 2004. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/908261>>. Acesso em: 27 jan. 2015.

ROUSSEAU, G. X. et al. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 535–543, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.008>>. Acesso em: 31 maio 2013.

SANGUINO, A. C. et al. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais no estado do Pará. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 47, p. 71-88, 2007. Disponível em: <

http://www.ufra.edu.br/biblioteca/revista_47/REVISTA%2047_artigo%2005.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2014.

_____. Análise econômica de investimentos em sistemas de produção agroflorestal no Estado do Pará. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 47, p. 23-47, 2007. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/401733>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

SANTOS, D.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A. **O estado da Amazônia: uso da terra**. Belém: Imazon, 2013. 70 p. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/o-estado-da-amazonia-uso-da-terra>>. Acesso em: 14 abr. 2014.

SILVA, G. R. D.; SENA, W. D. L.; SILVA JÚNIOR, M. L. D. Carbon and nitrogen from microbial biomass as an environmental indicators oxisol under different systems management, Marituba, Pará. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 48, p. 71-84, 2007. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufra.edu.br/index.php?journal=ajaes&page=article&op=view&path%5B%5D=232>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 19, n. 3, p. 233-240, 1992. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00118781>>. Acesso em: 07 abr. 2014.

SOMARRIBA, E. et al. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 173, p. 46–57, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>>. Acesso em: 31 maio 2014.

TAMUBULA, I.; SINDEN, J. A. Sustainability and economic efficiency of agroforestry systems in Embu District, Kenya: An application of environmental modelling. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 13–21, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1364-8152\(99\)00028-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-8152(99)00028-6)>. Acesso em: 01 abr. 2014.

TORQUEBIAU, E. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 189-207, 1992. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880992901090>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

TORQUEBIAU, E. F. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie**, v. 323, n. 11, p. 1009–1017, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0764-4469\(00\)01239-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0764-4469(00)01239-7)>. Acesso em: 06 abr. 2014.

VIEIRA, T. A. et al. Adoption of agroforestry systems by family agriculture in Igarape-Açu, Pará, Brazil. **Revista Ciência Agrárias**, Belém, n. 47, p. 9-22, 2007. Disponível em: <http://www.ufra.edu.br/editora/revista_47/REVISTA%2047_indice.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2015.