

**Identificação dos serviços ecossistêmicos na produção agrícola: um estudo em sistemas
agroflorestais**

**Identification of ecosystem services in agricultural production: a study in agroforestry
systems**

**Identificación de servicios ecosistémicos en producción agrícola: un estudio en sistemas
agro-forestales**

Recebido: 14/10/2020 | Revisado: 21/10/2020 | Aceito: 25/10/2020 | Publicado: 27/10/2020

Renan Coelho de Vasconcelos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5885-5103>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

E-mail: renanrcv@gmail.com

Norma Ely Santos Beltrão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1991-2977>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail normaelybeltrao@gmail.com

Soraya Souza Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0319-1637>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: SorayaMartins-10@hotmail.com

Manoel Tavares de Paula

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-8830>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: dpaulamt@hotmail.com

Resumo

Este trabalho teve por objetivo identificar e mensurar os serviços ecossistêmicos prestados por sistemas agroflorestais quando comparados com uma monocultura e uma área de floresta primária a partir de parâmetros selecionados nas áreas de estudo. A escolha dos indicadores tem como fundamento a capacidade de responder com precisão às variáveis ambientais a serem analisadas, serem custo-efetivos e apresentarem resultados claros e objetivos. Tais parâmetros foram: i) análise de qualidade do solo (pH, P, K, Na e Cot); ii) sequestro de carbono por biomassa arbórea; iii) geração de matéria prima madeireira para comercialização;

e iv) incremento de biodiversidade pelo índice de Shannon-Weiner. Ao todo foram analisadas quatro áreas no município de Santa Bárbara (PA), sendo um SAF em aleias, um SAF multiestrata, uma monocultura de açaí e uma floresta, todas pertencentes a uma comunidade de assentamento. Como resultados, ambos os SAFs apresentaram melhor qualidade do solo para três parâmetros (pH, P e K) quando comparados com a monocultura. A comparação entre os SAFs demonstrou que o multiestratificado possui maior carbono estocado na biomassa aérea e volume comercial madeireiro. Com relação a biodiversidade, ambos os SAFs apresentaram Índice de Shannon quatro vezes maior que a monocultura (SAF.A = 1,44 e SAF.AM = 1,49), mas ainda sim considerado baixo quando comparado com áreas em regeneração ou ecossistemas naturais da literatura. Fatores como histórico da área, idade entre os SAFs e tamanho reduzido das áreas amostradas podem ter influenciado na variação dos resultados.

Palavras-chave: Indicadores ambientais; Qualidade do solo; Biomassa aérea; Biodiversidade.

Abstract

The objective of this work was to identify and measure the ecosystem services provided by agroforestry systems when compared to a monoculture and a primary forest area from selected parameters in the study areas. The choice of indicators used the principles that they must be able to respond accurately to environmental variables to be analyzed, be financially applicable and present clear and objective results. These parameters were: i) soil quality analysis (pH, P, K, Na and Cot); ii) carbon sequestration by tree biomass; iii) generation of timber raw material for commercialization; and iv) increase of biodiversity by the Shannon-Weiner index. These parameters were analyzed in four study areas located in the Santa Bárbara municipality (PA), being an AFS in alley, a multi-layer SAF, an açaí monoculture and a forest, all belonging to a settlement community. As results, both SAFs presented better soil quality for three parameters (pH, P and K) when compared to monoculture. The comparison between SAFs showed that the multi-stratified has higher carbon stored in the aerial biomass and commercial timber volume. Biodiversity, in turn, both SAFs presented four times greater Shannon Index than monoculture (SAF.A = 1.44 and SAF.AM = 1.49), but still considered low when compared to areas in regeneration or natural ecosystems of literature. Factors such as area history, age between SAFs and reduced size of the sampled areas may have influenced the variation of the results.

.Keywords: Environmental indicators; Soil quality; Aerial biomass; Biodiversity.

Resumen

Este trabajo identificado y medido los servicios ecosistémicos que brindan los sistemas agroforestales en comparación con un monocultivo y una zona de bosque primario con base en parámetros seleccionados. La elección de los indicadores se basa en la capacidad de responder con precisión a las variables ambientales a analizar, ser rentables y presentar resultados claros y objetivos. Dichos parámetros fueron: i) análisis de la calidad del suelo (pH, P, K, Na y Cot); ii) secuestro de carbono por biomasa arbórea; iii) generación de madera en bruto para la venta; y iv) aumento de la biodiversidad utilizando el índice de Shannon-Weiner. En total, se analizaron cuatro áreas en el municipio de Santa Bárbara (PA), una SAF en callejones, una SAF multiestrato, un monocultivo de açai y un bosque, todos pertenecientes a una comunidad de asentamiento. Como resultado, ambos SAF mostraron una mejor calidad del suelo para tres parámetros (pH, P y K) en comparación con el monocultivo. La comparación entre los SAF mostró que el multiestratificado tiene más carbono almacenado en biomasa aérea y volumen de madera comercial. En cuanto a la biodiversidad, ambos SAF tenían un índice de Shannon cuatro veces superior al del monocultivo (SAF.A = 1,44 y SAF.AM = 1,49), pero aún se consideraban bajo en comparación con áreas en regeneración o ecosistemas naturales. de la literatura. Factores como la historia del área, la edad entre los SAF y el tamaño reducido de las áreas muestreadas pueden haber influido en la variación de los resultados.

Palabras clave: Indicadores ambientales; Calidad del suelo; Biomasa aérea; Biodiversidad.

1. Introdução

Atualmente a grande preocupação de estudiosos e governantes é referente ao aumento populacional. Com ele, aumenta-se a demanda por alimentos, commodities, geração de resíduos, efluentes e necessidade de conversão do uso da terra para construção de moradias e outras infraestruturas. Como principal produtor de alimentos, o setor agropecuário procura atender esta demanda intensificando suas técnicas e expandindo suas áreas, tendo como desafio o desenvolvimento sustentável, para que o atendimento das necessidades das gerações atuais não comprometa as futuras gerações devido à pressão gerada sobre os recursos naturais (Paludo & Costabeber, 2012).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem neste contexto como uma alternativa de produção sustentável no setor agropecuário e geração de alimentos. Discussões a respeito destes sistemas surgiram na década de 1970 como forma de combater a degradação ambiental

provocada pelo avanço da agricultura sobre áreas verdes (WAC, 2016). Os SAFs são caracterizados como sistemas de uso da terra em que ocorre o uso de plantas lenhosas perenes juntamente com agricultura e/ou pecuária, numa interação econômica ecológica de seus componentes num arranjo espacial ou temporal (Nair, 1993).

Junqueira *et al.* (2013) caracterizam este sistema como a utilização de técnicas e usos da terra onde ocorre a implantação de espécies florestais em conjunto com culturas agrícolas e/ou pecuária num mesmo arranjo espacial. Tais sistemas acabam por auxiliar a sustentabilidade das áreas empregadas, com prestação de serviços ecossistêmicos e diversidade de produtividade, principalmente junto aos pequenos produtores, notadamente nas regiões tropicais (Sharma *et al.*, 2007).

Sharma *et al.* (2007) destacam a relevância dos SAFs devido às intensas pesquisas realizadas a respeito dos seus diferentes arranjos e funcionamentos, diversidade de possibilidade relativa ao local em que forem implantados, ao próprio conhecimento tradicional local auxiliando a escolha das melhores espécies a serem utilizadas, à sua avaliação econômica e dos serviços ecossistêmicos (SEs) gerados. Aliado a estas características, o atrativo da inclusão de espécies arbóreas nas áreas resulta em diversos benefícios, conforme os destacados por Woda (2009), Lasco *et al.* (2014) e Arco-Verde & Amaro (2015), sendo eles: i) viabilidade da produção na propriedade a partir da possibilidade de exploração de produtos madeireiros e não madeireiros; ii) incremento na biodiversidade; e iii) aporte de nutrientes.

Tais benefícios podem ser classificados como serviços ecossistêmicos (SE). Diversos autores apontam a prestação de diferentes SE por sistemas agroflorestais, sendo alguns exemplos: i) proteção do solo contra erosão (Santos & Paiva, 2002); ii) ciclagem de nutrientes (Maia *et al.*, 2006); iii) ciclagem hídrica (Garcia-Barrius & Ong, 2004); iv) habitat para fauna (Bhagwat *et al.*, 2008); e v) menor geração de gases de efeito estufa (Alavalapati *et al.*, 2004).

Valeri *et al.* (2003) destacam, contudo, a ausência de pesquisa e divulgação para adoção deste tipo de prática, mesmo que haja potencialidade em diversas áreas, devido a fatores como terras degradadas passíveis de regularização ambiental; elevado número de pequenos produtores, principalmente na Amazônia; e redução da biodiversidade e polinizadores naturais em áreas de agricultura. Nos casos em que há interesse científico, Idol *et al.* (2011) apontam as regiões tropicais como sendo aquelas que recebem atenção, em virtude da sua população de baixa renda, pressões socioeconômicas nos países em que vivem e por serem um dos primeiros a serem afetados pelas mudanças climáticas.

No Brasil, mais especificamente na Amazônia, estudos são realizados objetivando

otimizar a produção agrícola definindo áreas e práticas de alto potencial de rendimento e propondo SAFs uma alternativa promissora para a produção alimentícia, redução da pobreza de populações tradicionais e manejo sustentável (Sanguino *et al.*, 2011; Oliveira Junior & Cabreira, 2012). Isto ocorre devido à importância do país frente à produção mundial de alimentos e necessidade de manutenção da biodiversidade.

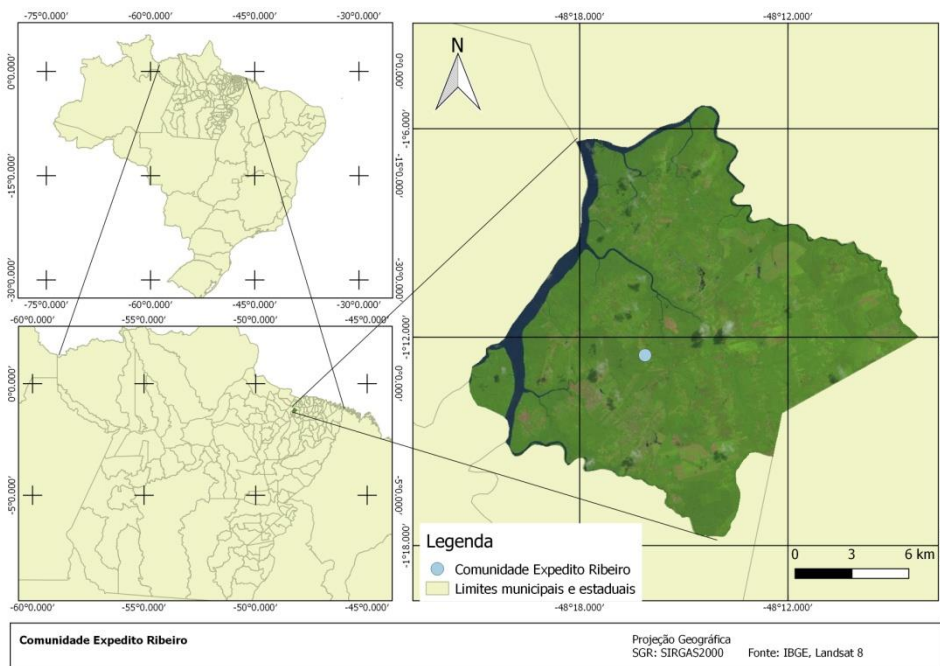
Sendo importantes prestadores de SE, reconhecidos principalmente pelos serviços culturais associados às comunidades tradicionais aos quais são incentivados (MEA, 2005) e pela regularização atmosférica pelo sequestro do carbono (IPCC, 2007), há a necessidade maior de identificação e quantificação da prestação destes serviços em áreas da Amazônia. Neste bioma, as populações tradicionais apresentam conhecimento hereditário cultural e técnico propícios a implantação de SAFs, haja vista que buscam espécies de usos múltiplos e alternativas de ganho de produção (Castro *et al.*, 2009). Este trabalho busca, então, a partir de uma área de estudo no município de Santa Bárbara (PA), identificar e mensurar os serviços ecossistêmicos prestados por sistemas agroflorestais quando comparados com uma monocultura e uma área de floresta primária a partir de parâmetros selecionados.

2. Metodologia

2.1 Área De Estudo

O estudo foi realizado na Comunidade Exedito Ribeiro, localizada em Santa Bárbara-PA, conforme Figura 1. O município apresenta clima do tipo Aw segundo classificação de Koppen (SEMA, 2010), com temperatura média anual de 26°C e precipitação anual média aproximada de 2800 mm, sendo o período seco configurado entre junho a novembro e o período chuvoso sendo de dezembro a maio (CPTEC, 2017).

Figura 1 – Mapa de localização da Comunidade Expedito Ribeiro.



Fonte: IBGE (2014); USGS (2016).

Ao todo foram avaliadas quatro áreas, sendo dois sistemas agroflorestais (SAF.A e SAF.AM); uma produção de açaí de terra firme (AÇAÍ); e uma mata nativa próxima (FLORESTA), servindo como área “testemunha” para comparação dos resultados. O SAF.A possui idade de 6 anos e área equivalente a 0,7 ha e é pertencente à associação da comunidade, não tendo, portanto, proprietário. A disposição das espécies possui características de um SAF do tipo “aleia”. O SAF.AM, por sua vez, apresenta idade de 7 anos e área equivalente à 0,25 ha e, apesar de ser plantado em aleias, apresenta características do tipo “multiestratificado” na medida em que ocorre regeneração natural entre as linhas de espécies sem que haja controle frequente.

A plantação de açaí estudada pertence ao mesmo proprietário do SAF.AM e tem um total de 0,03 ha e 42 touceiras plantadas, podendo ser classificado como um quintal florestal devido às suas proporções. Por fim, a mata nativa localiza-se nos arredores onde a comunidade está instalada e os pontos de amostragem encontram-se nas imediações da propriedade a qual possuem o SAF.AM e a plantação de açaí. Tal área pode ser classificada como uma floresta primária do tipo Ombrófila Densa (IBGE, 2012) e com presença de perturbações antrópicas.

2.2 Histórico Da Área

A área de estudo situa-se na comunidade de assentamento Expedito Ribeiro, oriunda da ocupação de uma antiga área desmatada destinada à plantação de dendê realizada em 2007 e onde aproximadamente metade das famílias residentes fazem parte da Associação dos Trabalhadores Rurais Agroecológica Expedito Ribeiro – ATRAER. Em virtude desta ocupação, as famílias ainda não possuem a posse das propriedades, mas a liberação da documentação encontra-se em etapa avançada.

As famílias assentadas em sua maioria apresentam SAFs implantados em suas propriedades, frutos principalmente de parcerias com órgãos públicos e organizações não governamentais, principalmente com a Asflora (Instituto Amigos da Floresta) para a confecção de mudas e com a CAMTA (Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu) e a universidade japonesa TUAT (Universidade de Agricultura e Tecnologia de Tóquio) para treinamentos e implementação de modelos diferenciados de plantações consorciadas entre espécies frutíferas, florestais e hortaliças.

Aliada a estas parcerias, a comunidade atualmente é parcialmente independente na produção de mudas, tendo seu próprio viveiro; mão de obra, ao realizarem mutirões semanais para diversas tarefas em diferentes propriedades; e adubação, criando seu próprio adubo orgânico. O SAF mais antigo estudado possui 7 anos e a produção oriunda das famílias, quando em volume superior ao necessário para subsistência, é comercializada localmente em feiras no município.

2.3 Tipologia da Pesquisa

De acordo com Prodanov & Freitas (2013) o presente trabalho tem natureza de pesquisa aplicada por procurar analisar problemas específicos numa realidade local. Quanto aos seus objetivos, caracteriza-se como pesquisa exploratória por buscar gerar mais informações sobre determinado assunto investigado. Por fim, apresenta abordagem quantitativa, coletando informações traduzidas em números para posterior uso de recursos matemáticos e/ou estatísticos para sua análise.

2.4 Coleta e Análise de Dados

2.4.1 Qualidade do solo

Considerado por alguns como a principal alternativa de geração de alimentos frente ao crescimento populacional mundial e ao aumento da fome que ele acarreta, o setor agropecuário é constantemente expandido, principalmente em países em desenvolvimento. Os principais fatores percebidos nestes países é a presença de grandes áreas disponíveis para conversão de terra em culturas agrícolas, legislação frágil e poderes públicos pouco efetivos na conservação ambiental. Sem um bom planejamento, monitoramento e uso de técnicas que gerem mínimos impactos ambientais, a fertilidade e qualidade do solo nestas regiões serão constantemente afetadas (Lopes *et al.*, 2014).

A manutenção da qualidade do solo é considerada um serviço ecossistêmico de regulação, segundo a classificação adotada por TEEB Foundations (2010). Sua importância é dada pelo fato de seus nutrientes serem um dos primeiros fatores a serem afetados por mudanças de uso do solo, contribuindo ou não para a fertilidade de uma área. Indicadores usualmente utilizados para avaliação da qualidade do solo para fins de produção agropecuária normalmente envolvem a quantificação, por meio de análises químicas, principalmente de pH, carbono total e macronutrientes (N – nitrogênio, P – fósforo e K – potássio) (Borges *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2015; Silvia *et al.*, 2015) ou serrapilheira (Lopes *et al.*, 2014; Soraes & Froufe, 2015; Souza *et al.*, 2016).

Adotando tal posicionamento, a análise realizada por este trabalho referente à qualidade do solo envolveu a quantificação do pH, carbono total e macronutrientes (N – nitrogênio, P – fósforo e K – potássio). Foram coletadas três amostras aleatórias, com cinco repetições, em cada uma das quatro áreas estudadas. Em virtude das áreas apresentarem tamanho inferior a 1ha, buscou-se realizar as coletas de forma a abranger a totalidade das áreas. As repetições foram realizadas na camada superficial do solo (0 – 20cm) por meio de trado, misturadas em balde a fim de formar uma amostra homogênea e posteriormente separado um volume de 300g em sacos plásticos. Cada saco contendo uma amostra foi identificado com o nome do local e número referente ao ponto coletado.

As análises laboratoriais buscaram quantificar o pH, N, P, K, carbono orgânico total (Cot), relação C/N e densidade aparente através das metodologias específicas a seguir, conforme EMBRAPA (2009): i) pH: potenciômetro com eletrodo combinado; ii) N: digestão sulfúrica/kjeldahl; iii) P e K: extração com solução Mehlich 1; iv) Cot e relação C/N:

dicromato; e v) densidade aparente: anel volumétrico.

2.4.2 Sequestro de carbono pelo estrato arbóreo

A emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) por empreendimentos industriais de diversos países e seus impactos atmosféricos em escala mundial culminaram na percepção de tais danos e posterior assinatura do Protocolo de Quioto e comprometimento das nações em reduzirem suas emissões destes gases, notadamente do gás carbônico (Oliveira, 2013). O Brasil ganhou relevância nesta temática em virtude de suas emissões provenientes de mudanças ilegais de uso da terra, inclusive na Amazônia. O potencial do país é expresso em dados da FAO (2011), onde são armazenados 121 Mg num hectare de floresta, totalizando uma biomassa armazenada de $62,6 \times 10^6$ Mg em 2010.

Uma das principais formas de sequestro de carbono atmosférico apresentada pela comunidade científica é por meio de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Tal processo ocorre pela fotossíntese e incremento de biomassa ao longo do crescimento da planta até sua fase adulta. Culturas anuais não podem ser consideradas porque o pouco carbono absorvido logo retorna à atmosfera após a morte da planta ao final do período de cultivo (Cardoso *et al.*, 2015). Tal ação, portanto, é classificada com um serviço ecossistêmico de regulação e por este motivo foi selecionado como outro indicador ambiental de prestação de SE por sistemas agroflorestais neste trabalho.

A primeira etapa consistiu em estimar a biomassa aérea arbórea (acima do solo) das áreas de estudo por meio de método indireto com elaboração de equação alométrica. Para tanto, foram realizadas medições de altura total, altura comercial (até o primeiro fuste) e CAP (circunferência a 1,30m de altura do solo) somente no componente arbóreo nas áreas que apresentavam tais indivíduos, não havendo avaliação, portanto, na área AÇAÍ. A área FLORESTA também não foi avaliada devido a não poder ser feita a identificação das espécies. Em virtude do tamanho pequeno das áreas SAF.A e SAF.AM e do número reduzido de indivíduos arbóreos identificados, todas as árvores com DAP (diâmetro a 1,30m de altura do solo) > 5 cm foram amostradas.

Juntamente com as medições, os indivíduos arbóreos das áreas SAF.A e SAF.AM foram identificados. Em posse dos dados, primeiro houve uma conversão do valor de CAP para DAP e posteriormente aplicou-se a equação alométrica proposta por Silva (2007) para qualquer sítio da Amazônia, sem que haja aquisição de grande amostragem, conforme exposta abaixo.

$$B = 0,5521 * DAP^{1,6629} * H^{0,7224} \quad (1)$$

Onde B = biomassa aérea arbórea; DAP = diâmetro a altura de 1,30 do solo; e H = altura total.

Depois de aplicada a equação e estimada a biomassa aérea para cada indivíduo arbóreo amostrado, calculou-se a biomassa de carbono sequestrado tendo como base dado apresentado por Eggleston *et al.* (2006), onde 47% da biomassa da planta é composta por carbono em seus tecidos.

2.4.3 Matéria prima madeireira

Como terceiro indicador de prestação de serviço ecossistêmico, foi medido o volume comercial das espécies arbóreas presentes nas áreas SAF.A e SAF.AM, haja vista que o foco da plantação destes indivíduos é a comercialização de suas toras. Para tanto, os dados de DAP e altura comercial oriundos da primeira etapa da metodologia empregada na estimativa de sequestro de carbono foram reutilizados, desta vez para calcular o volume em m³.

Tal volume foi calculado conforme metodologia exposta por Imaña-Encinas *et al.* (2009), onde utiliza-se o valor de DAP para calcular a área basal (g) da árvore, conforme Equação (2) a seguir. A seguir, deve-se converter o resultado de cm² para m² e multiplicar pela altura comercial (Hc) a fim de estimar o volume em m³ de madeira comercializável.

$$g = DAP^2 \cdot \pi / 4 \quad (2)$$

2.4.4 Biodiversidade

Facilmente compreendida e identificável, a biodiversidade figura entre as principais variáveis responsáveis pela manutenção do SE “habitat”, definido por TEEB Foundations (2010). No Brasil, a perda de biodiversidade possivelmente é o impacto ambiental de maior reconhecimento pela população, haja vista o processo histórico de colonização e mudanças do uso da terra no território nacional, os quais reduziram a valores mínimos a Mata Atlântica. Impactos na biodiversidade amazônica brasileira ocorrem principalmente como reflexo do aumento da densidade populacional na região desde a década de 1980 e conversão de áreas naturais para cultivos de espécies anuais a fim de suprir a demanda por alimentos.

Antigamente o meio científico considerava que funções ecossistêmicas somente

poderiam existir em sua plenitude em ambientes naturais em estágio “clímax” de desenvolvimento e sem ação antrópica. Atualmente, autores reconhecem que ambientes naturais se adaptam dinamicamente como forma de superar distúrbios em seu meio (Bengtsson *et al.*, 2000). Tal fato auxilia os estudos de SAFs, os quais são áreas que tentam recriar ambientes naturais e suas interações. Haja vista que determinadas funções ecossistêmicas dependem da diversidade e riqueza de espécies da flora, apresentando melhores resultados conforme o aumento desta diversidade, faz-se necessária a avaliação da biodiversidade presente nas áreas de estudo selecionadas.

A quantificação da biodiversidade iniciou com a identificação das espécies arbóreas e frutíferas nas áreas SAF.A, SAF.AM e AÇAÍ. Com os dados tabulados de número de espécies por área, pode-se calcular a diversidade de espécies a partir do Índice de Shannon, conforme feito por Bolfe & Batistella (2011). Tais autores ressaltam que este índice normalmente apresenta resultados entre 1,5 e 3,5, apresentando valor máximo quando há igualdade no número de espécies. O cálculo do índice é demonstrado na Equação 3 a seguir.

$$H' = -\sum \ln.p_i \quad (3)$$

Onde: i) $p_i = n/N$; ii) n é o número de indivíduos de uma determinada espécie; e iii) N é o número total de indivíduos presentes na área.

3. Resultados e Discussão

3.1 Qualidade do solo

Os resultados das amostras de solo para as quatro áreas avaliadas encontram-se na Tabela 1. O SAF.AM foi a área que apresentou pH na profundidade de 0-20cm mais próximo da neutralidade (média de 5,67) e a área FLORESTA, a que serviu de testemunho para comparação com as outras áreas em todos os atributos do solo, apresentou pH mais ácido (4,17). A presença de P na profundidade de 0-20cm, por sua vez, foi maior no solo do SAF multiestratificado (6,33 mg/dm³) e menor na FLORESTA (3 mg/dm³), contudo, cabe ressaltar que a área SAF.AM apresentou o maior valor em virtude de um dado *outline* em um dos pontos coletados (15 mg/dm³); logo, a segunda área com maior quantitativo de P foi SAF.A (5,67 mg/dm³).

O parâmetro K na profundidade de 0-20cm apresentou maiores resultados no SAF.A (25,33 mg/dm³) e menores AÇAÍ (11,43 mg/dm³). Os resultados de Na nesta mesma

profundidade, por sua vez, apontam que a FLORESTA apresenta maior concentração (61 mg/dm³) enquanto que o SAF.AM apresenta a menor delas (7 mg/dm³).

Tabela 1. Resultados da amostragem de solo nas áreas de estudo.

Ponto de amostragem	pH	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Na (mg/dm ³)	Carbono Orgânico Total (g/kg)
SAF.A Ponto 1	5,5	5	38	71	5,54
SAF.A Ponto 2	5,6	4	17	44	5,88
SAF.A Ponto 3	4,9	8	21	62	8,06
Média	5,33	5,67	25,33	59	6,49
SAF.AMPonto 1	5,5	2	19	7	10,16
SAF.AMPonto 2	6,1	15	13	7	9,11
SAF.AMPonto 3	5,4	2	17	7	7,46
Média	5,67	6,33	16,33	7	8,91
AÇAÍPonto 1	4,7	3,9	12,1	20	10,19
AÇAÍPonto 2	4,9	3,1	10,1	10	9,26
AÇAÍPonto 3	5,1	2,8	12,1	10	6,25
Média	4,90	3,27	11,43	13,33	8,57
FLORESTA Ponto 1	4,3	3	19	65	9,50
FLORESTA Ponto 2	4,1	3	19	67	6,25
FLORESTA Ponto 3	4,1	3	17	51	8,02
Média	4,17	3	18,33	61	7,92

Fonte: Autores (2017).

A área de SAF.AM configurou-se como aquela com maior quantidade de carbono orgânico total estocando na profundidade de 0-20cm com 8,91 g/kg, enquanto que o SAF.A apresentou os menores valores (6,49 g/kg). O maior estoque identificado nas áreas SAF.AM e AÇAÍ quando comparadas com FLORESTA pode ter sido causado, em primeiro lugar, pelo histórico da área, onde a queima da vegetação anterior 6 anos antes pode ter liberado carbono para estocagem em seus solos. A proximidade e o fato de pertencerem a um mesmo proprietário reforçam esta hipótese, haja vista que a área SAF.A, única com estoques de carbono menores do que a FLORESTA, é a área mais afastada de todas.

Ressalta-se que dos 5 indicadores, o SAF.AM apresentou maiores valores em 3 deles (pH, P e Cot). A área AÇAÍ apresentou em um dos casos o menor valor entre os 5 indicadores (11,43 mg/dm³ de K) e em outros 2 casos apresentou valor pouco acima daqueles mínimos estimados (pH 4,9 e 3,27 mg/dm³ de P estocado). Mais ainda, ambos os SAFs apresentaram melhor qualidade do solo em relação ao AÇAÍ para os indicadores de pH, P e K. A área AÇAÍ somente apresentou valor alto para Cot, o qual foi superior ao SAF.A e FLORESTA. Tais resultados indicam prestação de SE de qualidade do solo pelos SAFs analisados quando comparados com monocultura de açaí.

3.2 Sequestro de carbono pelo estrato arbóreo

Os resultados dos cálculos de biomassa aérea e carbono estocado encontram-se nas Tabelas 2 e 3, tratando das áreas SAF.A e SAF.AM, respectivamente. O SAF.A apresentou um total de 1,95 Mg de carbono estocado em sua área; o jatobá seguido da andiroba foram as espécies que mais contribuíram, com o total de 0,7 Mg e 0,48 Mg, respectivamente. Contudo, analisando-se a estocagem média por indivíduo arbóreo, percebe-se que o jatobá e ingá foram os que mais estocaram, ambos com 0,07 Mg de carbono por indivíduo, mas as outras espécies mantiveram valores aproximados, a exemplo do cedro (0,04 MgC), espécie com menor estoque por indivíduo.

Tabela 2. Biomassa aérea e carbono estocado no sistema agroflorestal em aleias.

SAF.A							
Nome Comum	Espécie	Nº de indivíduos	Altura Total média (m)	DAP médio (cm)	Biomassa total por espécie (kg)	Carbono total estocado por espécie (Mg)	Carbono estocado por indivíduo (Mg)
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> (Aubl.)	10	7,2	9,51	1013,63	0,48	0,05
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	5	4,46	10,19	388,56	0,18	0,04
Ingá	<i>Ingaedulis Martius</i>	5	4,8	15,09	771,73	0,36	0,07
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	10	5,5	13,60	1492,78	0,70	0,07
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King	5	5,46	10,38	489,97	0,23	0,05
Total		35			4156,68	1,95	

Fonte: Autores (2017).

O SAF.AM, por sua vez, apresentou uma maior estocagem de carbono com 4,18 MgC no estrato arbóreo. Desta vez, contudo, as contribuições de estocagem por espécie e por indivíduo foram mais díspares. O freijó (1,57 Mg) e o mogno (1,21 Mg) foram as espécies com maior estocagem de carbono, haja vista que também são as espécies com mais indivíduos plantados na área. Cabe ressaltar que o freijó com apenas 6 indivíduos apresentou maior resultado que o mogno, com 11. A andiroba e o cedro, por sua vez, foram as espécies com menor estoque de carbono (0,02 Mg e 0,08, respectivamente), em parte por apresentarem somente 1 unidade plantada cada uma. Analisando-se o sequestro de carbono por indivíduo, o

freijó e ipê amarelo apresentaram maiores valores (0,26 Mg e 0,23 Mg), enquanto que novamente a andiroba e cedro apresentaram os menores. Nesta área, a diferença de sequestro de carbono entre as espécies foi mais acentuada ao averiguar os valores máximo e mínimo.

Tabela 3. Biomassa aérea e carbono estocado no sistema agroflorestal em aleia multiestratificada.

SAF.AM								
Nome Comum	Espécie	Nº de indivíduos	Altura de Total média (m)	DAP médio (cm)	Biomassa total por espécie (kg)	Carbono total estocado por espécie (Mg)	Carbono estocado por indivíduo (Mg)	
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> (Aubl.)	1	5	7,70	52,65	0,02	0,02	
Angelim Pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	1	9	13,69	209,38	0,10	0,10	
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	1	9	17,83	324,87	0,15	0,15	
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1	8,5	12,83	180,38	0,08	0,08	
Freijó	<i>Cordia alliodora</i> L.	6	9,5	23,80	3339,01	1,57	0,26	
Ipê Amarelo	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) s. Grose	1	8	23,87	484,99	0,23	0,23	
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	5	8,1	19,20	1745,13	0,82	0,16	
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King	11	8,14	14,49	2564,45	1,21	0,11	
Total		27			8900,86	4,18		

Fonte: Autores (2017).

Para uma melhor comparação da quantidade de carbono sequestrado entre as áreas analisadas, converteram-se os principais resultados para uma área de um hectare, conforme exposto na Tabela 4. Como esperado, a área SAF.AM apresentou maior carbono estocado no extrato arbóreo em virtude de sua maior densidade de indivíduos, além de ser uma área um ano mais antiga, o que resultou num maior tempo para as espécies se desenvolverem.

Porém, outros fatores podem ter influenciado na grande disparidade entre os resultados. Um deles identificado é o fato de a baixa estocagem por indivíduo na área SAF.A, variando de 0,04 Mg a 0,07 Mg de carbono, enquanto que no SAF.AM a maioria dos indivíduos apresenta estoque acima de 0,10 Mg de carbono. O menor desenvolvimento das espécies na área SAF.A não pode, a princípio, ser justificada pelos atributos analisados do solo, haja vista que apresenta valores pouco abaixo de pH, P e Cot aos do SAF.AM; e outros atributos com valores maiores (K e Na), conforme Tabela 2. O possível motivo pode residir no quantitativo de Na (61 mg/dm^3) no SAF.A, levando a salinização deste solo.

Tabela 4. Biomassa aérea e carbono estocado por hectare.

Área	Indivíduos/ha	Biomassa (kg/ha)	Carbono estocado (Mg/ha)
SAF.A	51	3.750,78	1,77
SAF.AM	108	35.603,56	16,72

Fonte: Autores (2017).

3.3 Matéria prima madeireira

A estimativa de volume comercial das toras das espécies arbóreas nos sistemas agroflorestais estudados apresentaram comportamento semelhante à biomassa e carbono estocado, conforme visto nas Tabelas 5 e 6. O SAF.A atualmente apresenta o volume comercial total de $1,18\text{m}^3$, tendo o jatobá e andiroba como as espécies com maior volume, principalmente pelo número de indivíduos. Unitariamente, o volume não apresentou grande disparidade, variando de $0,02\text{m}^3$ a $0,04\text{m}^3$.

O SAF.AM apresenta volume comercial total de $4,46\text{m}^3$. O freijó e o mogno contribuíram mais com este resultado, principalmente também pelo quantitativo de indivíduos

plantados. Ao analisar o volume comercial individual, o freijó e o ipê amarelo apresentaram as maiores médias e andiroba e cedro obtiveram as menores, assim como no sequestro de carbono.

Tabela 5. Área basal e volume comercial do sistema agroflorestal em aleias.

SAF.A							
Nome Comum	Espécie		Nº de indivíduos	Altura Comercial média (m)	Área basal G (m ²)	Volume comercial (m ³)	Volume por indivíduo (m ³)
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> (Aubl.)		10	4,3	0,07	0,32	0,03
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.		5	2,26	0,04	0,09	0,02
Ingá	<i>Ingaedulis Martius</i>		5	2,1	0,10	0,20	0,04
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.		10	2,68	0,15	0,41	0,04
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King		5	3,16	0,04	0,15	0,03
Total			35		0,41	1,18	

Fonte: Autores (2017).

Tabela 6. Área basal e volume comercial do sistema agroflorestal em aleias multiestratificado.

SAF.AM							
Nome Comum	Espécie	Nº de indivíduos	de	Altura Comercial média (m)	Área basal G (m ²)	Volume comercial (m ³)	Volume por indivíduo (m ³)
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> (Aubl.)	1		5	0,00	0,02	0,02
Angelim Pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	1		9	0,01	0,12	0,12
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	1		9	0,02	0,15	0,15
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1		8,5	0,01	0,08	0,08
Freijó	<i>Cordia alliodora</i> L.	6		9,5	0,28	1,79	0,30
Ipê Amarelo	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) s. Grose	1		8	0,04	0,27	0,27
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	5		8,1	0,15	0,76	0,15
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King	11		8,14	0,19	1,27	0,12
Total		27			0,72	4,46	

Fonte: Autores (2017).

Convertendo-se os resultados para valores em hectare, vistos na Tabela 7, percebe-se que o SAF.AM, com pouco mais que o dobro de indivíduos, apresentou volume comercial 10

vezes maior. Fatores podem explicar tal fato são: i) SAF.A apresentar um ano a menos de desenvolvimento; ii) menor crescimento das espécies arbóreas no SAF.A em virtude da possível salinização do solo; e iii) menor altura comercial em virtude de muitas bifurcações e ramificações.

Tabela 7. Área basal e volume comercial por hectare das áreas estudadas.

Área	Nº Indivíduos/ha	Área Basal (m ² /ha)	Volume Comercial (m ³ /ha)
SAF.A	51	0,59	1,71
SAF.AM	108	2,88	17,84

Fonte: Autores (2017).

3.4 Biodiversidade

A análise de biodiversidade, exposta na Tabela 8, resultou na área SAF.AM apresentando o maior valor, seguida do SAF.A e AÇAÍ. Enquanto que o resultado da área AÇAÍ era esperado ser mínimo em virtude de ser monocultura, cabe ressaltar a pouca diferença entre as áreas SAF.AM e SAF.A, mesmo que a primeira quase quatro vezes mais indivíduos e cinco espécies a mais que a segunda. Tais SAFs apresentam valores distantes daqueles definidos para ecossistemas naturais relativamentediversificados, cujos valores encontram-se entre 3 e 4 (GAZEL FILHO *et al.*, 2005). Florestas primárias amazônicas de terra firma apresentam, por exemplo, valores entre 3,58 (Bastos, 1948) e 4,30 (Pires *et al.*, 1953).

Comparando com SAFs de 4 e 8 anos de idade apresentados por Froufe & Seoane (2011), os quais apresentam mais espécies (16 e 20, respectivamente) e densidade de indivíduos (1400 ind/ha e 1533 ind/ha, respectivamente) que os investigados neste trabalho, ainda sim os resultados não ficaram muito abaixo, haja vista que o índice de diversidade de Shannon dos SAFs analisados por estes autores são iguais a 1,72 e 1,58, respectivamente. Comparando-se desta vez com os resultados alcançados por estes autores para áreas de capoeira de 5, 20 e 30 anos, cujos valores são 2,63, 2,88 e 2,68 respectivamente, conclui-se que as áreas SAF.A e SAF.AM ainda não podem ser igualadas a áreas de regeneração natural.

Tabela 8. Índice de diversidade de Shannon para as áreas de estudo.

Nome Comum	Nome Científico	SAF.AM	SAF.A	AÇAÍ
Espécies arbóreas				
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> (Aubl.)	1	10	0
Angelim Pedra	<i>Hymenolobium</i> <i>petraeum</i> Ducke	1	0	0
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	1	0	0
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1	5	0
Freijó		6	0	0
Ingá	<i>Inga edulis</i> Martius	0	5	0
Ipê Amarelo	<i>Handroanthus</i> <i>serratifolius</i> (Vahl) s. Grose	1	0	0
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	5	10	0
Mogno	<i>Swietenia</i> <i>macrophylla</i> King	11	5	0
Espécies frutíferas				
Açaí	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	140	8	42
Cacau	<i>Theobroma cacao</i> L.	63	38	0
Cupuaçu	<i>Theobroma</i> <i>grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K. Schum	73	0	0
Pupunha	<i>Bactris</i>	12	0	0

gasipaes (Kunth)

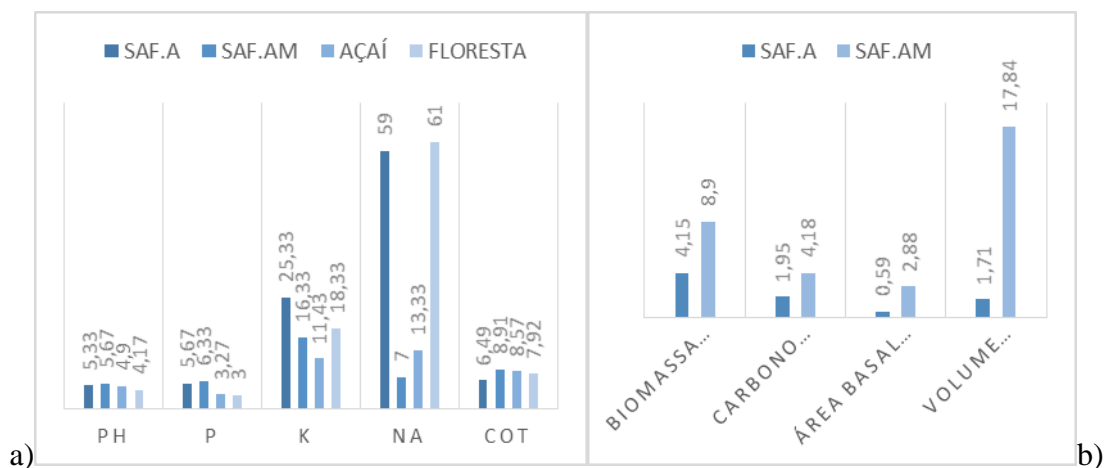
Total	315	81	42
Índice de Shannon (H')	1,495	1,444	0,341

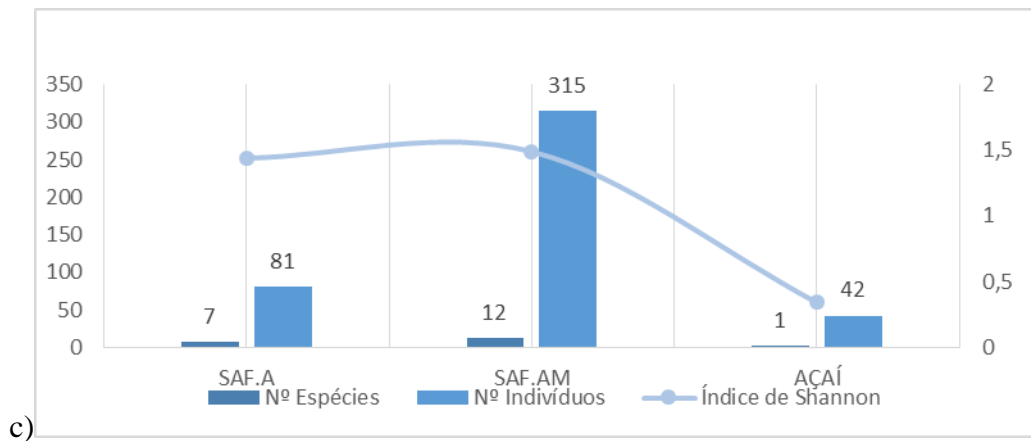
Fonte: Autores (2017).

A justificativa para um valor relativamente baixo de biodiversidade pode residir pela alta concentração de açazeiros em ambas as áreas e outras espécies frutíferas no SAF.AM, conforme explanado por Garzel Filho *et al.* (2005). Froufe & Seoane (2011) afirmam ainda que os valores de H' normalmente situam-se entre 1,3 e 3, o que torna os resultados dos SAF.A e SAF.AM dentro do aceitável. Desta forma, e tendo por base que o valor de H' destas áreas foi 4 vezes maior que o da monocultura de açaí, pode-se afirmar que estes sistemas agroflorestais apresentam o SE de incremento de biodiversidade, mesmo que em baixa intensidade. Tal intensidade poderia ser incrementada caso não houvesse controle contra o crescimento de espécies herbáceas e arbustivas, o que acontece frequentemente no SAF.A e semestralmente ou anualmente no SAF.AM.

A Figura 2 apresenta um resumo dos resultados das análises realizadas e a comparação entre as áreas.

Figura 2. Resultados finais da prestação de serviços ecossistêmicos pelas áreas estudadas.





Fonte: Autores (2017). Legenda: a) Qualidade do solo; b) Biomassa aérea, sequestro de carbono por biomassa, área basal e volume comercial madeireiro; c) Índice de biodiversidade de Shannon-Weiner.

4. Considerações Finais

A análise de solo das áreas de estudo aponta possível prestação de serviço ecossistêmico de manutenção da qualidade do solo com relação a alguns elementos por ambos os SAFs, principalmente diminuição da acidez do solo (pH) e ciclagem do fósforo, quando comparado com monocultura de AÇAÍ, mas análises de outros elementos químicos e físicos são necessárias para confirmar o aumento de fertilidade.

A presença do elemento arbóreo por si só já garante a prestação de sequestro de carbono na biomassa aérea e matéria prima madeireira e o elemento multiestrata, juntamente com maior densidade de indivíduos arbóreos, adicionou maior prestação destes serviços pelo SAF.AM. Contudo, fatores como idade menor da área, salinização do solo, menor densidade de indivíduos, menor desenvolvimento em termos de DAP e altura total, maior presença de ramificações diminuindo a altura comercial podem ter levado a uma grande inferioridade na prestação destes serviços pelo SAF.A.

A biodiversidade, por sua vez, encontra-se dentro dos limites aceitáveis (1,3 a 3) para ecossistemas não naturais ou não clímax e foi 4 vezes maior que a área de monocultura analisada. Os SAFs analisados, contudo, não podem ser equiparados a áreas de regeneração natural. Tais valores possivelmente não são maiores em virtude do eventual controle contra espécies herbáceas e arbustivas que por ventura cresçam na área.

Por fim, sugere-se que trabalhos futuros aprofundem o uso de indicadores de prestação de serviços ecossistêmicos numa maior quantidade de SAFs de estudo e em outros biomas. Desta forma será possível identificar indicadores quais tipos de SAFs prestam mais serviços ecossistêmicos, quais indicadores são mais robustos e em quais biomas deve-se realizar

adaptações necessárias.

Referências

Alavalapati, J. R. R., Shrestha, R. K., Stainback, G. A. & Matta, J. R. (2004). Agroforestry development: An environmental economic perspective. *Agroforestry Systems*, 61, 299-310.

Bastos, A. M. (1948). As matas de Santa Maria do Vila Nova. *Anuário Brasileiro de Economia Florestal*, 1(1): 281-8.

Bhagwat, A. S., Willis, K. J., Birks, J. B. & Whittaker, R.J. (2008). Agroforestry: A refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, 23 (5), 261-267.

Bengtsson, J., Nilsson, S. G., Franc, A. & Menozzi, P. (2000). Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of european forests. *Forest Ecology and Management*, 132, 39-50.

Bolfe, E. L., & Batistella, M. (2011). Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (10), 1139-1147.

Castro, A. P., Fraxe, T. J. P., Santiago, J. L. Matos, R. B. & Pinto, I. C. (2009). Os sistemas agroflorestais como alternativas de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. *Acta Amazonia*, 39 (2), 279-288.

CPTEC – Centro de Previsão De Tempo e Estudos Climáticos. (24 jan. 2017). *Monitoramento Brasil*. Recuperado de: <<http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>>.

Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (15 set. 2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4: Agriculture, forestry, and other land use*. Recuperado de: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. (2a ed.). Brasília, DF: Autor.

Froufe, L. C. M., & Seoane, C. E. S. (2011). Levantamento fitossociológico comparativo entre sistemas agroflorestais multiestratos e capoeiras como ferramenta para execução de reserva legal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31 (67), 203-225.

Garcia-Barrius, L. & Ong, C. K. (2004). Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61, 221-236.

Garzel Filho, A. B., Yared, J. A. G., Mourão Junior, M., Silva, M. F., Brienza Junior, S., Ferreira, G. & Eremita Da Silva, P. T. R. (2005). *Diversidade e similaridade entre a vegetação de quintais Agroflorestais em Mazagão, AP*. Recuperado de: <<http://www.sct.embrapa.br/cdagro/tema01/01tema11.pdf>>.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira: Sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos*. (2a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Autor.

Imaña-Encinas, J., Rezende, A. V., Imaña, C. R. & Santana, O. A. (2009). *Contribuição dendrométrica nos levantamentos fitossociológicos*. Brasília, DF: Universidade de Brasília.

Maia, S. M. F., Xavier, F. A. S., Oliveira, T. S., Mendonça, E. S. & Araujo Filho, J. A. (2006). Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido Cearense. *Revista Árvore*, 30 (5), 837-848.

Motta, R. S. (1997). *Manual para valoração econômica de recursos ambientais*. Rio de Janeiro, RJ: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

Parron, L. M., Rachwal, M. F. G., & Maia, C. M. B. F. (2015). Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. In: Parron, L. M., Garcia, J. R., Oliveira, E. B., Brown, G. G., Prado, R. B. (Orgs.), *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: EMBRAPA.

Pires, J. M., Dobzhansky, T. & Black, G. A. (1953). An estimate of the number of species of trees in an amazonian forest community. *Botanical Gazette*, 114 (4), 467-477.

Prodanov, C. C., Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. Novo Hamburgo, RS: Universidade Feevale.

Santos, M. J. C. & Paiva, S. N. (2002). Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: Estudo de caso. *Ciência Florestal*, 12 (1), 135-141.

Silva, R. R. (2007). *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

Teeb Foundations. (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*, London: Earthscan.

Valeri, S. V., Politano, W, Seno, K. C. A., & Barreto, A. L. N. M. (2003) *Manejo e recuperação florestal*. Jaboticabal, SP: Funep.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Renan Coelho de Vasconcellos – 75%

Norma Ely Santos Beltrão – 15%

Soraya Souza Martins – 6%

Manoel Tavares de Paula – 4%