

Estoque de necromassa em floresta não manejada e floresta manejada
na Amazônia CentralStock of necromass in unmanaged forest and logged forest in the
Central AmazonFilipe Campos de Freitas^{1*}, Celso Paulo de Azevedo² e Cintia Rodrigues de Souza²**RESUMO**

O objetivo desse estudo foi avaliar o estoque de necromassa em uma floresta não manejada e em uma floresta manejada comercialmente na Amazônia Central. A coleta de dados foi realizada nos municípios de Rio Preto da Eva e Itacoatiara, ambos no estado do Amazonas, Amazônia Central. Coletou-se os dados de árvores mortas em pé e troncos caídos com diâmetro mínimo de 10 cm. Foram feitas estimativas de volume, peso e carbono para a necromassa medida em campo, assim como a estimativa de carbono considerando os indivíduos mortos identificados em inventário florestal contínuo. A floresta não manejada apresentou $67,0 \pm 29,7$ indivíduos mortos por hectare, volume médio de $44,41 \pm 16,19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, peso igual a $40,80 \pm 11,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $20,67 \pm 8,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o carbono. Na floresta manejada observou-se média de $102,2 \pm 8,2$ indivíduos por hectare, volume total de $72,46 \pm 10,93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, peso igual a $66,19 \pm 9,56 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $32,09 \pm 4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono. Houve diferença estatística significativa na comparação entre a floresta não manejada e a manejada. Quanto à intensidade de exploração, houve diferença apenas para o número de indivíduos mortos. Não se observou diferença entre as estimativas de carbono a partir da taxa de mortalidade e as obtidas em campo. A exploração florestal proporcionou maior estoque de necromassa em relação à floresta não manejada. A intensidade de exploração não exerceu influência significativa no estoque de necromassa. Considerando apenas troncos caídos e árvores mortas em pé, as estimativas geradas a partir da taxa de mortalidade são suficientes para conhecer o estoque de necromassa.

Palavras-chave: Árvores mortas, carbono, exploração florestal.

Abstract

The objective of the study was to evaluate the dead mass stock in an unmanaged forest and in a managed forest in the Central Amazon Region. The field work was carried out at the towns of Rio Preto da Eva and Itacoatiara, both in Amazonas state, Central Amazonia. Collected were data from standing dead trees and fallen logs with a minimum diameter of 10 cm. Volume, weight and carbon estimates were made for field measured dead mass as well as carbon estimation considering dead individuals identified in a continuous forest inventory. The unmanaged forest presented 67.0 ± 29.7 dead trees per hectare, volume of $44.41 \pm 16.19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, weight of $40.80 \pm 11.17 \text{ Mg ha}^{-1}$ and $20.67 \pm 8.20 \text{ Mg ha}^{-1}$ for carbon. In the managed forest 102.2 ± 8.2 dead trees per hectare, total volume of $72.46 \pm 10.93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, weight of $66.19 \pm 9.56 \text{ Mg ha}^{-1}$ and $32.09 \pm 4.64 \text{ Mg ha}^{-1}$ of carbon was observed. There was a difference in the comparison between the unmanaged and managed forest. For the intensity of exploration, there was difference just for the number of dead trees. There was no difference between the carbon estimates from the mortality rate and those obtained in the field. The forest exploration provided a higher stock of dead mass in relation to the unmanaged forest. The intensity of exploration did not have a significant influence on the dead mass stock. Considering only fallen logs and dead standing trees, the estimates generated from the mortality rate are sufficient to know the dead mass stock.

Keywords: Dead trees, carbon, forest exploration.

1. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras – UFPA. Lavras / MG, Brasil. * Autor correspondente: filipe.freitas19@gmail.com

2. Unidade Amazônia Ocidental, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Manaus / AM, Brasil. * Autor correspondente: filipe.freitas19@gmail.com

INTRODUÇÃO

Necromassa refere-se à matéria orgânica morta presente nos ecossistemas florestais, provenientes de elementos vegetais (árvores mortas em pé ou caídas, galhos e pedaços de troncos mortos) em estágios iniciais ou avançados de decomposição (BROWN, 1997), podendo representar até 25% da biomassa acima do solo presente em florestas na Amazônia (RICE et al., 2004). Em florestas naturais, a necromassa é encontrada em abundância na forma de árvores mortas em pé, troncos caídos e galhos grossos. Além dos estoques de carbono, a necromassa assume outros papéis ecológicos, como habitat para espécies da fauna, manutenção da produtividade do ecossistema (HARMON et al., 1986) e dos teores de matéria orgânica e nutrientes do solo (FERREIRA et al., 2001). Entretanto, estudos florestais direcionados para sua quantificação ainda não estão consolidados como aqueles que objetivam os componentes vivos da vegetação.

Em florestas submetidas a algum nível de manejo florestal, sustentável ou não, espera-se que a produção de necromassa seja maior quando comparada a uma floresta sem manejo, intacta, devido às atividades exploratórias desenvolvidas, tais como: abertura de infraestrutura (estradas, trilhas, pátios), corte e arraste de árvores. Concomitante a isto, uma floresta sob manejo florestal sustentável, o qual incorpora a aplicação de técnicas que minimizam os impactos da exploração na floresta, pode proporcionar condições para o crescimento do povoamento remanescente, a partir da dinâmica de sucessão dos indivíduos, favorecidas pela utilização destas técnicas, minimizando assim a quantidade de necromassa produzida em relação ao manejo florestal não sustentável.

A participação da necromassa em ecossistemas florestais tem mostrado grande importância quanto ao carbono estocado nestes. A não quantificação da necromassa pode levar a uma subestimativa de até 45% do carbono disponível em florestas tropicais (PALACE et al., 2008). Inserir esse componente da vegetação em inventários florestais e estabelecer métodos mais precisos para sua quantificação contribui para melhor compreensão da participação das florestas na dinâmica de carbono e nas mudanças climáticas. Desta forma, o presente estudo objetivou avaliar o estoque de necromassa duas florestas no estado do Amazonas sob os seguintes aspectos: diferenças entre floresta não manejada e floresta manejada, influência da intensidade de exploração, estimativa do estoque a partir da mortalidade calculada em inventários contínuos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em duas florestas distintas (Figura 1): (i) floresta sem exploração florestal; (ii) floresta submetida a manejo florestal sustentável. A primeira faz parte do Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (CEDAS), pertencente à Embrapa Amazônia Ocidental, localizada no município de Rio Preto da Eva/AM, entre as coordenadas geográficas 2°30'36" S, 2°30'42" S, 60°01'29" W e 60°01'46" W. Abrange uma área de 400 hectares destinadas a estudos florestais e ecológicos (SOUZA et al., 2012). A segunda área pertence à empresa Mil Madeiras Preciosas, localizada no município de Itacoatiara/AM, delimitada pelas coordenadas geográficas 02° 30' S, 03° 00' S, 59° 00' W e 58°30' W (SOUZA et al., 2017). A área de abrangência do estudo na floresta manejada contemplou três Unidades de Produção Anual, denominadas UPAs B, C e D, as quais receberam a exploração florestal nos anos de 1996, 1997 e 1998, respectivamente.

As duas áreas estão localizadas em terra firme constituídas por floresta ombrófila densa, caracterizada por indivíduos arbóreos de grande porte, com lianas lenhosas e epífitas (IBGE, 2012). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo "Am" (tropical chuvoso monçônico). A precipitação média anual varia entre 1.355 e 2.839 mm, com temperatura média variando entre 25,6 °C e 27,6 °C e umidade relativa do ar entre 84% e 90%, em média. Os meses mais chuvosos vão de dezembro a maio e os mais secos de agosto a novembro. Os solos predominantes na área são o latossolo amarelo com textura muito argilosa e os hidromórficos, cobertos predominantemente pela vegetação da floresta densa de terras baixas, com dossel emergente (IBGE, 1999).

Quanto à composição florística, no CEDAS as espécies florestais de maior ocorrência são *Protium hebetatum* Daly, *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori, *Licania oblongifolia* Standl., *Pouteria minima* T.D.Penn., *Ocotea cernua* (Nees) Mez s.l., *Scleronema micranthum* Ducke, *Licania apelata* (E.Mey.) Fritsch e *Eschweilera collina* Eyma (SILVA et al., 2016). Na Mil Madeiras há uma maior ocorrência das

ÁREA DE ESTUDO - AMAZONAS, BRASIL

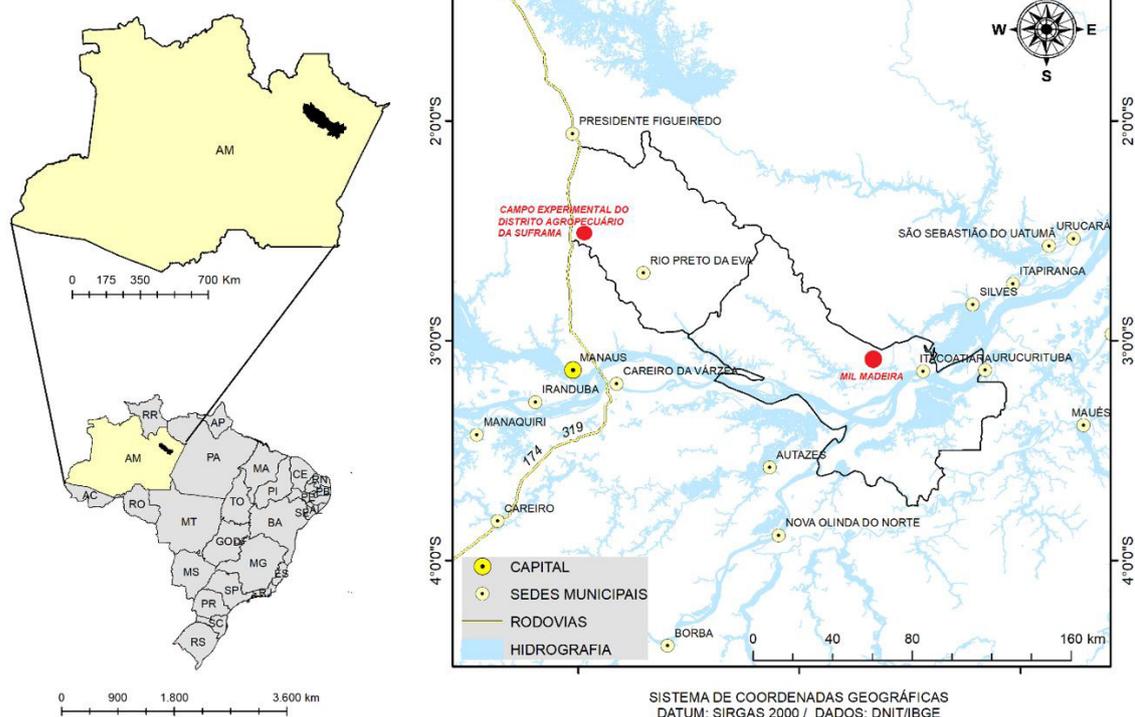


Figura 1. Localização das áreas de estudo: Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (CEDAS), pertencente à Embrapa Amazônia Ocidental. Rodovia BR – 174, Km 938, Rio Preto da Eva – AM; Mil Madeiras. Rodovia AM – 363, Km 01, Itacoatiara – AM.

Figure 1. Location of the study areas: Experimental Field of the Distrito Agropecuário da Suframa (CEDAS), belonging to Embrapa Amazônia Ocidental. Highway BR – 174, Km 938, Rio Preto da Eva – AM; Mil Madeiras. Highway AM – 363, Km 01, Itacoatiara – AM.

espécies *Ocotea neesiana* (Miq.) Kosterm, *Licaria aritu* Ducke, *Scleronema micranthum* Ducke, *Protium puncticulatum* J.F. Macbr. e *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez (SILVA, 2015).

Unidades amostrais

Foram utilizadas 20 parcelas permanentes para a coleta de dados, sendo cinco no CEDAS e 15 na Mil Madeiras (cinco em cada UPA). As parcelas permanentes, em ambas as áreas, possuem dimensões de 100 m x 100 m e são utilizadas para o acompanhamento da dinâmica da floresta através de inventário florestal contínuo. As intensidades de exploração florestal nas parcelas permanentes na Mil Madeiras foram: UPA B – 41,77 m³ ha⁻¹; UPA C – 16,03 m³ ha⁻¹; UPA D – 23,87 m³ ha⁻¹.

Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada nos meses de novembro de 2015 e julho de 2016 na área do CEDAS e nos meses de dezembro de 2015 e janeiro de 2016 na Mil Madeiras.

Necromassa lenhosa caída

Foram medidos troncos caídos cuja base, ou o toco, foram identificados dentro dos limites da parcela. O diâmetro mínimo de inclusão foi de 10 cm, em medições a 1,30 m da base do tronco (DAP). Foi realizada a cubagem rigorosa adotando-se método proposto por Lima (2010) e utilizados por Aguiar et al. (2017) e Higuchi et al. (2015), o qual combina os métodos de Smalian (medição dos diâmetros na base e no topo de cada seção) e Hohenald (divisão relativa do comprimento em 10 seções). Tomaram-se medidas de altura comercial (até a primeira bifurcação, ou primeiros galhos) e altura total (quando foi identificado resíduo de copa ou galhos). O volume foi calculado a partir da seguinte expressão:

$$V_n = \frac{\pi}{4} \times \left\{ \left(\frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} \right) + D_1^2 + \dots + D_9^2 \right\} \times \frac{L}{10} \quad [1]$$

Em que: V_n = Volume de necromassa; D_0 = Diâmetro na base do tronco; D_{10} = Diâmetro no topo do tronco; $D_{1, \dots, 9}$ = Diâmetro das seções ao longo do tronco; L = Comprimento do tronco.

Necromassa lenhosa em pé

Foram medidas árvores mortas em pé encontradas dentro das unidades amostrais com DAP mínimo de 10 cm. Com auxílio de trena foi medida a altura residual dos fustes de até quatro metros. Em resíduos de troncos menores que 1,30 m, foram medidos o diâmetro central do indivíduo e sua altura residual.

A estimativa do volume da necromassa em pé foi realizada a partir dos modelos relacionados abaixo:

a) Para floresta não manejada – CEDAS:

$$V_n = 0,001176 \times \text{DAP}^{1,9987} \quad (R^2 = 0,89; S_{yx} = 2,02\%) \quad (\text{LIMA, 2010}) \quad [2];$$

$$V_n = 0,000018 \times \text{DAP}^{2,047238} \times L^{1,40475} \quad (R^2 = 0,98; S_{yx} = 18,38\%) \quad [3] (\text{modelo ajustado com dados da cubagem rigorosa dos troncos caídos}).$$

b) Para floresta manejada – Mil Madeiras (LIMA, 2010):

$$V_n = 0,001176 \times \text{DAP}^{1,9987} \quad (R^2 = 0,89; S_{yx} = 2,02\%) \quad (\text{Se } \text{DAP} < 45 \text{ cm}) \quad [4];$$

$$V_n = 0,000512 \times \text{DAP}^{2,164882} \quad (R^2 = 0,79; S_{yx} = 1,79\%) \quad (\text{Se } \text{DAP} \geq 45 \text{ cm}) \quad [5];$$

$$V_n = 0,000073 \times \text{DAP}^{2,04364} \times L^{0,864179} \quad (R^2 = 0,94; S_{yx} = 0,95\%) \quad [6].$$

Em que: V_n = Volume da necromassa; DAP = Diâmetro à altura do peito; L = Comprimento do tronco.

Grau de decomposição

Quanto à decomposição, as peças de madeira foram classificadas de forma tátil-visual em três classes de decomposição, conforme descrição proposta por Barbosa et al. (2009): Classe 1 - Deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; Classe 2 - Peças com leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; Classe 3 - Peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.

Estimativa do peso e carbono da necromassa

As estimativas de peso e carbono da necromassa foram obtidas a partir das equações propostas por Silva (2007):

$$\text{PF} = 2,2737 \times D^{1,9156} \quad (R^2 = 0,85; S_{yx} = 4,2\%) \quad [7]$$

$$\text{PF} = 0,0039 \times D^{1,5268} \times H_t^{2,2973} \quad (R^2 = 0,93; S_{yx} = 2,99\%) \quad [8]$$

$$\text{PF} = 1,5370 \times D^{1,7527} \times H_c^{0,3719} \quad (R^2 = 0,86; S_{yx} = 4,1\%) \quad [9]$$

$$\text{PS} = \text{PF} \times 0,592 \quad [10]$$

$$\text{C} = \text{PS} \times 0,485 \quad [11]$$

Em que: D = diâmetro à altura do peito (DAP); H_t = altura total da árvore; H_c = altura comercial da árvore; PF = biomassa fresca acima do nível do solo; PS = biomassa seca acima do nível do solo; C = carbono da vegetação acima do nível do solo.

Mortalidade

Foram utilizados dados referentes a inventários florestais realizados nos anos de 2005 e 2014, para a área não manejada, e 2001 e 2014 para a área manejada. A estimativa de carbono dos indivíduos mortos foi feita segundo Silva (2007). A taxa de mortalidade de cada área foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$M(\%) = \frac{\text{Número de árvores mortas em } t_2}{\text{Número total de árvores em } t_1} \times 100 \quad [12]$$

Em que: $M(\%)$ = Taxa de mortalidade; t_1 = Primeira medição; t_2 = Segunda medição.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de probabilidade de erro de 5% ($\alpha = 0,05$). A análise descritiva dos dados foi feita considerando a amostragem inteiramente casualizada (PÉLLICO NETO; BRENA, 1997). O teste de normalidade dos dados foi realizado a partir do teste de Shapiro-Wilk. Para verificar a homocedasticidade das variâncias, foram realizados os testes F para comparação entre duas médias e Bartlett para comparação entre tratamentos.

A comparação entre as médias dos estoques de necromassa na área não manejada e área manejada, assim como a comparação entre as médias das estimativas a partir da taxa de mortalidade dos inventários contínuos e as medições em campo, foram realizadas utilizando-se o teste t de Student. Para avaliar o efeito dos diferentes níveis de intensidade de exploração na necromassa, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA) inteiramente casualizada. A comparação entre médias foi realizada pelo teste de Tukey, sendo considerados quatro tratamentos: testemunha (sem exploração – CEDAS); três tratamentos com diferentes níveis de intensidade de exploração (UPAs B, C e D).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as estimativas médias totais do número de indivíduos mortos, volume de necromassa, peso e carbono da necromassa total por hectare e as estimativas para indivíduos mortos em pé e caídos no CEDAS e na Mil Madeiras.

Tabela 1: Número de indivíduos mortos (NI), volume de necromassa, peso e carbono na necromassa no CEDAS e na Mil Madeiras.

Table 1: Number of dead trees, volume of necromass, weight and Carbon in the necromass at CEDAS and Mil Madeiras

Local		NI (ha ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Peso (Mg ha ⁻¹)	Carbono (Mg ha ⁻¹)
CEDAS	Em pé	26,8 ± 11,7	20,52 ± 7,77	20,67 ± 8,20	10,03 ± 3,98
	Caído	40,2 ± 19,1	23,89 ± 11,86	20,13 ± 6,14	9,76 ± 2,98
	Total	67,0 ± 29,7	44,41 ± 16,19	40,80 ± 11,17	19,79 ± 5,42
Mil Madeiras	Em pé	44,3 ± 4,7	33,79 ± 6,90	37,22 ± 6,28	18,05 ± 3,24
	Caído	57,9 ± 5,0	38,67 ± 6,96	28,97 ± 4,60	14,04 ± 2,23
	Total	102,2 ± 8,2	72,46 ± 10,93	66,19 ± 9,56	32,09 ± 4,64

No CEDAS foram medidos um total de 335 árvores ou resíduos de troncos mortos. Não foi verificada diferença significativa para nenhuma variável entre as médias das estimativas da necromassa em pé e caída (número de indivíduos: $P = 0,14$; volume: $P = 0,53$; peso e carbono: $P = 0,89$). Na Mil Madeiras foram medidos um total de 1.533 árvores ou resíduos de troncos mortos. Houve diferença significativa entre as médias do número de indivíduos ($P = 0,0002$) e peso da necromassa ($P = 0,04$) em pé e caídos, mas não houve diferença para o volume de necromassa ($P = 0,33$). O carbono, sendo uma variável proporcional ao peso, apresenta o mesmo resultado estatístico que esta.

Apesar de não apresentar diferença estatística, a necromassa caída no CEDAS apresenta média 60% superior à necromassa em pé. Na Mil Madeiras esse percentual diminui para 57% e é verificado diferença estatística. Nesta situação é importante citar os erros de amostragem alcançados em cada área. Para o CEDAS verificou-se um erro de 44%, enquanto para a Mil Madeiras esse valor é de 8%, dentro do limite comumente considerado baixo para levantamentos florestais. Desta forma, é recomendável aumentar a amostragem no CEDAS, a fim de diminuir o erro amostral, para uma melhor comparação entre as médias.

Quanto ao volume de necromassa na Mil Madeiras, de acordo com Souza et al. (2017), a empresa adota um sistema de manejo florestal que utiliza técnicas de baixo impacto, dentre as quais estão o planejamento de estradas, pátios e corte direcional de árvores, desta forma mesmo ocasionando um número maior de indivíduos caídos, estes tendem a apresentar diâmetros menores, influenciando em um menor volume.

O volume de necromassa verificado representa entre 8,7% a 14,6% do volume estimado para árvores vivas no CEDAS. Para o carbono essa variação está entre 9,4% e 12,8% (SILVA et al., 2015; SOUZA et al., 2012). Souza et al. 2012 apresentou estimativa para peso fresco da biomassa de $639,05 \pm 55,75 \text{ Mg ha}^{-1}$, considerado a relação entre peso fresco e peso seco adotada, o peso seco da necromassa representa 10% do peso da biomassa. Na Mil Madeiras a necromassa representa 18,4% do volume da biomassa (SOUZA et al., 2017), enquanto para o peso e carbono essa proporção é de 20% e 19%, respectivamente (VASCONCELOS et al., 2016).

Segundo Brown (1997), estima-se que a necromassa pode representar de 5 a 40% da biomassa presente. Nos estados do Pará e Mato Grosso e no Peru, é verificada proporção entre necromassa e biomassa de 11% a 26%, considerando tanto florestas manejadas quanto não manejadas (CHAO et al., 2009; KELLER et al., 2004; PALACE et al., 2007; RICE et al., 2004). Considerando que a necromassa depende principalmente de taxas de mortalidade e decomposição (BAKER et al., 2007), uma vez que a relação entre árvores mortas e vivas está em uma faixa próxima a outras áreas na Amazônia, acredita-se que as florestas do CEDAS e da Mil Madeiras apresentam semelhança quanto a esta dinâmica.

De forma geral, o estoque de necromassa no CEDAS e na Mil Madeiras, tanto em volume quando em peso (ver Tabela 1), são menores que os apresentados em outros estudos realizados na região amazônica. Na Amazônia peruana são encontrados volume de necromassa variando de $42,8 \pm 20,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ até $109,43 \pm 82,66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e peso médio entre $10,3 \pm 6,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $45,8 \pm 7,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (BAKER et al., 2007; CHAO et al., 2008; 2009). Nos estados do Pará e Mato Grosso há estudos que estimam volume médio de necromassa entre $82,84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $204,8 \pm 50,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e quanto ao peso da necromassa encontram-se valores variando de $48,5 \pm 5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ a 118 Mg ha^{-1} (CRUZ FILHO; SILVA, 2009; KELLER et al., 2004; PALACE et al., 2007; RICE et al., 2004).

Segundo Navarrete et al. (2016), na região amazônica há uma tendência para o estoque de necromassa ser maior nas regiões leste e nordeste e ocorrer uma diminuição em direção à região oeste. Seguindo esse gradiente de decréscimo leste-oeste, esperava-se que o estoque de necromassa nas áreas do CEDAS e da Mil Madeiras apresentasse valores medianos entre os dois extremos, uma vez que as áreas em questão estão localizadas na região central da Amazônia, entretanto isso não foi observado. Baker et al. (2007) levantam três possibilidades para explicar baixos estoques de necromassa: (i) aplicação de metodologias diferentes; (ii) baixa taxa de entrada e (iii) alta taxa de decomposição. Quanto à primeira possibilidade, são observados estudos que consideram o diâmetro de inclusão menor que 10 cm, além da inserção de galhos (KELLER et al., 2004; PALACE et al., 2008; 2007), assim como a inclusão de palmeiras e lianas na coleta de dados (CHAO et al., 2009; 2008), o que proporciona uma maior amplitude de indivíduos para coleta de dados. Para as outras duas possibilidades há a necessidade de um acompanhamento em função do tempo para estimar as taxas, impossibilitando a comparação neste momento.

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas de volume, peso e carbono da necromassa por classe de decomposição nas áreas do CEDAS e da Mil Madeiras.

Tabela 2: Volume de necromassa, peso e carbono da necromassa por classe de decomposição no CEDAS e na Mil Madeiras.
Table 2: Volume of necromass; weight and Carbon in the necromass per decomposition class at CEDAS and Mil Madeiras.

Local	Classe de Decomposição	Volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Peso (Mg ha^{-1})	Carbono (Mg ha^{-1})
CEDAS	1	$5,63 \pm 5,81$	$4,56 \pm 5,35$	$2,21 \pm 2,60$
	2	$12,34 \pm 4,63$	$10,84 \pm 4,38$	$5,26 \pm 2,12$
	3	$26,44 \pm 13,80$	$25,40 \pm 7,44$	$12,32 \pm 3,61$
	Total	$44,41 \pm 16,19$	$40,80 \pm 11,17$	$19,79 \pm 5,42$
Mil Madeiras	1	$7,08 \pm 2,70$	$6,61 \pm 2,55$	$3,20 \pm 1,24$
	2	$25,32 \pm 6,29$	$19,44 \pm 4,94$	$9,42 \pm 2,40$
	3	$40,06 \pm 6,44$	$40,14 \pm 6,80$	$19,47 \pm 3,30$
	Total	$72,46 \pm 10,93$	$66,19 \pm 9,56$	$32,09 \pm 4,64$

No CEDAS, 60% do volume total de necromassa apresenta alto grau de decomposição (classe 3), para as estimativas de peso e carbono este valor chega a 62%. Na Mil Madeiras, a necromassa na classe 3 representou 55% do volume total, e 61% das estimativas totais de peso e carbono.

Para as duas áreas a proporção verificada em alto grau de decomposição está abaixo do relatado em outros estudos. Em florestas não manejadas no estado do Pará e no Peru é verificado que entre 70% e 95% da necromassa apresenta alto grau de decomposição (BAKER et al., 2007; CRUZ FILHO; SILVA, 2009; KELLER et al., 2004). Em florestas sob manejo florestal esta proporção varia de 45% a 87% das estimativas totais (CRUZ FILHO; SILVA, 2009; KELLER et al., 2004). Em contraposição, Chao et al. (2008) observaram maior estoque em classes de baixo grau de decomposição, entretanto estes autores associam este fato à ocorrência de tempestades na área de abrangência do estudo, ocasionando a morte de árvores em um período mais próximo à coleta de dados.

A decomposição da madeira é um processo geralmente lento e varia de acordo com diversos aspectos: clima, composição do solo, fauna, espécie da planta, tamanho da peça de madeira (PALACE et al., 2012). O estoque de necromassa observado está, em sua maioria, em estágio avançado de decomposição. Considerando este aspecto, independente da proporção, estas florestas tendem mais à liberação de carbono a partir da decomposição da necromassa que à sua retenção.

Necromassa em área não manejada e área manejada

A área da Mil Madeiras apresentou número médio de indivíduos por hectare 52,5% maior que o CEDAS (Tabela 1), sendo observada diferença estatística significativa ($P = 0,001$). Esta diferença é um dos resultados do “efeito dominó” que ocorre com a derrubada de uma árvore alvo da exploração florestal. Mesmo com a aplicação de técnicas de corte que buscam a diminuição do impacto sobre a vegetação, a derrubada de árvores de grande porte influencia na queda de outras menores ao seu redor. Segundo Amaral et al. (1998), a queda de uma árvore pode atingir cerca de outras 14 árvores adjacentes. Em florestas não manejadas o efeito dominó pode acontecer de forma pontual, principalmente a partir de tempestades, as quais ocasionam a queda imediata da árvore (HIGUCHI et al., 2011). Entretanto, mesmo nesta situação, somente uma tempestade isolada em grande escala para equiparar o número de indivíduos mortos em uma floresta não manejada com uma floresta sob manejo florestal.

Também foi observada diferença significativa para o volume ($P = 0,01$) e peso da necromassa ($P = 0,006$) entre a área do CEDAS e da Mil Madeiras, onde é observado volume de necromassa 63,2% superior e peso 62,2% maior (Tabela 1).

A necromassa presente em uma floresta depende da produção e da decomposição da madeira morta (PALACE et al., 2008). A produção superior em uma floresta manejada é esperada devido ao efeito dominó das árvores exploradas nas árvores adjacentes, abertura de estradas, pátios, assim como a eliminação de indivíduos sem interesse comercial para favorecer o crescimento dos indivíduos remanescentes. Comparando-se o estoque de necromassa em florestas amazônicas é comum constatar esta diferença estatística, apontando para um estoque, no mínimo, 50% superior em florestas sob manejo florestal, como os resultados apresentados por Cruz Filho e Silva (2009), Keller et al. (2004) e Palace et al. (2008; 2007).

Influência dos diferentes níveis de exploração florestal

O número de indivíduos mortos em pé, caídos e total, por tratamento, são apresentados na Tabela 3. Houve diferença significativa para as três variáveis ($P = 0,02$ necromassa em pé; $P = 0,04$ necromassa caída; $P = 0,01$ necromassa total). O teste de Tukey indicou diferença estatística entre

Tabela 3: Número de indivíduos mortos por hectare em função da intensidade de exploração.

Table 3: Number of dead trees per hectare according to the intensity of exploration.

Tratamento	Em pé (ha ⁻¹)	Caído (ha ⁻¹)	Total (ha ⁻¹)
1 (UPA B)	45,20 ± 9,18 a	60,80 ± 13,09 a	106,00 ± 18,68 a
3 (UPA D)	45,20 ± 11,82 a	58,80 ± 14,62 a b	104,00 ± 25,20 a
2 (UPA C)	42,60 ± 12,74 a b	54,00 ± 3,51 a b	96,60 ± 10,41 a b
Testemunha (CEDAS)	26,80 ± 11,73 b	40,20 ± 19,14 b	67,00 ± 29,68 b

Intensidade de exploração: Testemunha – sem exploração; Tratamento 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Tratamento 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Tratamento 3 – 23,87 m³ ha⁻¹. Médias com mesma letra não se diferenciam estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ($P = 95\%$).

Intensity of exploration: Testemunha – without exploration; Treatment 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Treatment 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Treatment 3 – 23,87 m³ ha⁻¹. Means with the same letter do not differ statistically according to the Tukey test ($P = 95\%$).

o tratamento 1 (UPA B) e a testemunha para o número médio de indivíduos mortos em pé, caído e total e entre o tratamento 3 (UPA D) e a testemunha para número médio de indivíduos mortos em pé e total.

As parcelas permanentes medidas na UPA B apresentam maior intensidade de exploração que as demais. Na ocasião da exploração, nesta UPA houve o corte de um grande número de indivíduos de *Acariquara (Minquartia guianensis Aubl.)*, algo que não aconteceu nas demais unidades. Isto deve motivar o fato desta ser a única unidade de produção que difere estatisticamente da testemunha em todos os compartimentos da necromassa.

O tratamento 2 (UPA C) é o único que não apresenta diferença estatística para a testemunha em nenhum compartimento, sendo que esta unidade de produção é a que apresenta a menor intensidade de exploração. Apesar de não ser possível afirmar que há diferença estatística entre as intensidades de exploração, nota-se que esta variável influenciou no estoque de necromassa entre os tratamentos.

Na Figura 2 é apresentada a distribuição diamétrica dos indivíduos mortos em cada tratamento. Verifica-se que na UPA B a quantidade de troncos com diâmetros entre 10 e 20 cm é superior aos demais tratamentos. No CEDAS não há ocorrência de indivíduos mortos com diâmetro superior a 70 cm.

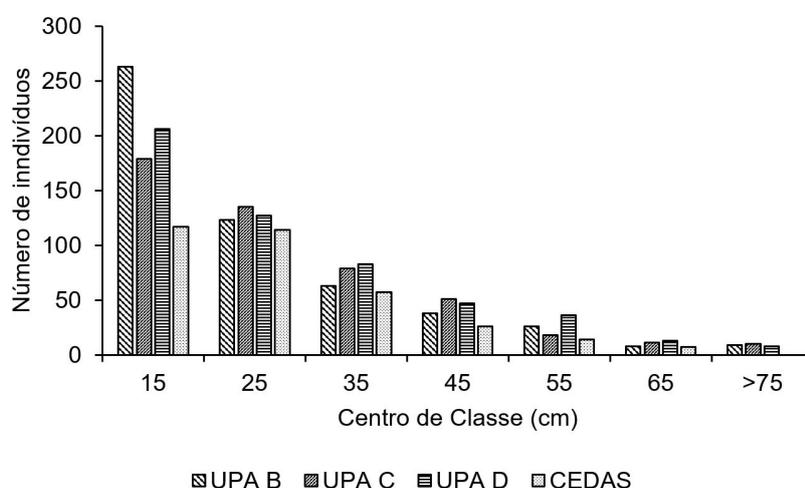


Figura 2: Distribuição diamétrica dos indivíduos mortos em cada tratamento.
Figure 2: Diametric distribution of dead trees in each treatment.

As estimativas de volume, peso e carbono da necromassa total por tratamento são apresentadas na Tabela 4. Não houve diferença significativa para nenhuma variável ($P = 0,07$ volume de necromassa; $P = 0,06$ peso da necromassa; $P = 0,06$ carbono na necromassa).

A UPA B, apesar de apresentar maior média para número de indivíduos mortos, não possui o maior volume médio total. A maior quantidade de troncos na primeira classe diamétrica deve ter influenciado para este resultado. Por outro lado, a UPA C, mesmo apresentando menor número médio de indivíduos e menor intensidade de exploração, passou a apresentar o maior volume de necromassa entre os tratamentos. Desta forma, esperava-se que a UPA C apresentasse uma quantidade de indivíduos superior aos demais tratamentos nas classes a partir de 50 cm de diâmetro, entretanto isto não foi observado (Figura 2).

Tabela 4: Volume, peso e carbono da necromassa por tratamento.
Table 4: Volume, weight and carbon of necromass per treatment.

Treatmento	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Peso (Mg ha ⁻¹)	Carbono (Mg ³ ha ⁻¹)
Testemunha (CEDAS)	44,41 ± 16,19	40,80 ± 11,17	19,79 ± 5,42
1 (UPA B)	69,99 ± 22,23	62,25 ± 19,35	30,19 ± 9,38
2 (UPA C)	77,27 ± 20,79	68,39 ± 16,08	33,17 ± 7,80
3 (UPA D)	70,13 ± 33,31	67,89 ± 30,49	32,93 ± 14,79

Intensidade de exploração: Testemunha – sem exploração; Tratamento 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Tratamento 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Tratamento 3 – 23,87 m³ ha⁻¹.
 Intensity of exploration: “Testemunha – without exploration; Treatment 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Treatment 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Treatment 3 – 23,87 m³ ha⁻¹.”

Mesmo não apresentando diferença estatística entre os tratamentos, há uma considerável diferença entre os volumes estimados nas unidades de produção da Mil Madeiras em relação ao CEDAS. Pode-se considerar a possibilidade da necromassa pertencer a espécies diferentes, o que influenciaria na decomposição. Entretanto, em amostragem realizada nas duas áreas em questão, Silva (2015) observou cerca de 150 espécies que ocorrem nas duas áreas. Para este caso é importante considerar também o tamanho da amostragem tomada (PALACE et al., 2007; PAULETTO, 2006). Levando em conta que os erros amostrais para todas as variáveis apresentam valores elevados, variando de 23,5% a 47,5%, isto impossibilita uma estimativa mais precisa dos dados.

Pauletto (2006) não verificou diferença significativa entre o volume de necromassa estimado em áreas com diferentes intensidades de exploração. Mesmo não havendo diferença estatística, a autora cita que as diferentes intensidades de corte afetaram no volume da necromassa. Keller et al. (2004), verificaram diferença entre três tratamentos, sendo uma floresta não explorada e duas exploradas em diferentes intensidades, sendo uma com planejamento da exploração, outra sem. A floresta explorada sem planejamento apresentou o estoque de necromassa mais elevado que as demais.

Keller et al. (2004) encontraram diferença significativa no peso de necromassa em três tratamentos. A exploração florestal sem planejamento proporcionou um peso de madeira morta quase três vezes maior que a exploração com planejamento. Resultado semelhante foi encontrado por Gerwing (2002), o qual considerou uma área não explorada e duas exploradas sob diferentes intensidades: moderada ($35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e pesada ($69 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Nas UPAs B, C e D as intensidades de exploração e os estoques de necromassa são semelhantes. Se não considerarmos a possibilidade de eventos isolados causarem a morte de um grande número de árvores, este nível de intensidade de exploração adotado pela empresa não acarretará em grandes diferenças no estoque de necromassa em outras unidades de produção. Estes resultados mostram a importância da utilização do manejo florestal na exploração dos recursos madeireiros, uma vez que na unidade com maior intensidade de exploração, a qual resultou em uma maior quantidade de indivíduos mortos, o impacto da exploração foi direcionado para indivíduos de menor porte, diminuindo os efeitos negativos na floresta.

Mortalidade

No CEDAS a taxa de mortalidade foi de 9,2%. A estimativa do carbono nas árvores mortas na segunda medição apresentou média de $15,46 \pm 3,20 \text{ Mg ha}^{-1}$. Não houve diferença significativa entre esta estimativa e os valores verificados em campo ($P = 0,09$). Para a Mil Madeiras a taxa de mortalidade calculada foi de 19,3%. A estimativa do carbono nas árvores mortas na segunda medição apresentou média de $29,42 \pm 6,91 \text{ Mg ha}^{-1}$, não havendo diferença significativa ($P = 0,50$) entre esta estimativa e os valores em campo. Assim, é possível avaliar a necromassa de uma floresta baseando-se nas estimativas de mortalidade obtidas nos inventários florestais.

Este resultado difere do encontrado na literatura. Segundo Palace et al. (2012), as estimativas de peso e volume de árvores mortas calculadas com base na mortalidade subestimam o estoque real presente na floresta. Palace et al. (2008) verificaram uma subestimativa de 30% a 50% do estoque de necromassa verificados em sua coleta de dados quando comparados com estimativas feitas com as taxas de mortalidade. Como já citado, na literatura há diferenças metodológicas na coleta de dados da necromassa, a metodologia aplicada no presente levantamento considerou apenas os dados de árvores inteiras mortas, não contabilizando galhos (finos ou grossos), pedaços de troncos e outros produtos originados por algum distúrbio não letal à árvore, variáveis que podem não ser captadas pela taxa de mortalidade calculada em uma floresta.

CONCLUSÕES

As atividades de manejo florestal proporcionam maior estoque de necromassa em relação à floresta não manejada. A diferença na intensidade de exploração não exerce influência no estoque de necromassa. Considerando apenas troncos caídos e árvores mortas em pé, as estimativas de necromassa geradas a partir da taxa de mortalidade dos inventários florestais contínuos são suficientes para conhecer o estoque de necromassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, D. R.; LIMA, A.; GAMA, J. R. V.; ANDRADE, D. F. C. Adjustment of volumetric equations from fallen trees for analysis of the logging effect in the Tapajós National Forest, Pará, Brazil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 11, n. 10, p. 48 – 59, 2017.
- AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. Custos e benefícios do manejo florestal. In: **Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia**. Belém: Imazon. p. 103-113, 1998.
- BAKER, T. R.; CORONADO, E. N. H.; PHILIPS, P. L.; MARTIN, J.; VAN DER HEIJDEN, G. M.; GARCIA, M.; SILVA, E. J. Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. **Oecologia**, v. 152, n. 3, p. 495 – 504, 2007.
- BARBOSA, R. I.; SILVA, L. F. S. G.; CAVALCANTE, C. O. **Protocolo necromassa: estoque e produção de liteira grossa**. Boa Vista: Programa em Pesquisa em Biodiversidade na Amazônia, PPBio Amazônia, 2009. 24p.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997.
- CHAO, K. J.; PHILOPS, O. L.; BAKER, T. R.; PEACOCK, J.; GONZALEZ, G. L.; MARTÍNEZ, R. V.; MONTEAGUDO, A.; LEZAMA, A. T. After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. **Biogeosciences**, v. 6, p. 1615 – 1626, fev. 2009.
- CHAO, K. J.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R. Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 38, p. 795 – 805, 2008.
- CRUZ FILHO, D.; SILVA, J. N. M. Avaliação da quantidade de resíduos lenhosos em floresta não explorada e explorada com técnicas de redução de impactos, utilizando amostragem por linha interceptadora, no Médio Moju, Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 527 – 532, 2009.
- FERREIRA, S. J. F.; CRESTANA, S.; LUIZAO, F. J.; FONSECA, S. A. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 3, p. 381 – 396, 2001.
- GERWING, J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 157, p. 131 – 141, 2002.
- HARMON, M. E.; FRANKLIN, J. F.; SWARSON, F. S.; SOLLINS, P. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 133- 263, 1986.
- HIGUCHI, F. G.; NAAJIMA, N. Y.; MACHADO, S. A.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, N. The use of Natural Fallen Trees in Mature Tropical Amazonian Forest for Volumetric Regression Analysis and Volume Equations Adjustment. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, n. 31, p. 342 – 348, 2015.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, F. G.; CHAMBERS, J. Q. A floresta amazônica e a água da chuva. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 427 – 434. 2011.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2012.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa digital temático de vegetação-Banco de dados SIPAM**, 1999.
- KELLER, M.; PALACA, M.; ASNER, G. P.; PEREIRA, T.; SILVA, J. N. M. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 784 – 795, 2004.
- LIMA, A. J. N. **Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do estado do Amazonas**. 2010, 183 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.
- NAVARRETE, D.; STICH, S.; ARAGÃO, L. E.; PEDRONI, L.; DUQUE, A. Conversion from forests to pasture in the Colombian Amazon leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices. **Journal of Environmental Management**, v. 171, p. 42 – 51, 2016.

PALACE, M.; KELLER, M.; HURTT, G.; FROLKIN, S. **A review of above ground necromass in Tropical Forests**. 2012. Disponível em: < <https://www.intechopen.com/books/tropical-forests/a-review-of-above-ground-necromass-in-tropical-forests> >. Acesso em: 26 mar. 2012.

PALACE, M.; KELLER, M.; SILVA, H. Necromass production: studies in undisturbed and logged amazon forests. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, p. 873 – 884, 2008.

PALACE, M.; KELLER, M.; ASNER, G.P.; SILVA, J. N. M.; PASSOS, C. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 238, p. 309 – 318, 2007.

PAULETTO, D. **Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste de Mato Grosso**. 2006, 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Amazonas / Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

PÉLLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.

RICE, A. H.; PYLE, E. H.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L.; PALACE, M.; KELLER, M.; CAMARGO, P. B.; PORTILHO, K.; MARQUES, D. F.; WOFSEY, S. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth amazonian forest. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, Supplement, p. S55–S71, 2004.

SILVA, A. R. **Composição, estrutura horizontal e espacial de 16 ha de floresta densa de terra-firme no estado do Amazonas**. 2015, 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007, 152 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2007.

SILVA, K. E.; MARTINS, S. V.; RIBEIRO, C. A. A.; SANTOS, N. T.; AZAVEDO, C. P. Structure of 15 hectares permanent plots of terra firme dense forest in Central Amazon. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 603 – 615, 2016.

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

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P. A.; ROSSI, L. M. B.; SILVA, K. E.; SANTOS, J. HIGUCHI, N. Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 501 – 506, 2012.

VASCONCELOS, R. S.; AZEVEDO, C. P.; SOUZA, C. R.; VASCONCELOS NETO, E. L.; CARREIRE, M. B. F. Dinâmica do carbono em uma floresta manejada comercialmente no Amazonas **Floresta**, v. 46, n. 1, p. 55 – 63, abr. / jun. 2016.

Recebido em: 25/10/2017

Aceito em: 17/05/2018