



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCOS PAULO FERREIRA DE ALBUQUERQUE

**ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO E FLUXO
DE GASES-TRAÇO EM PLANTIOS FLORESTAIS EM PARAGOMINAS, PARÁ**

**BELÉM-PA
2017**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCOS PAULO FERREIRA DE ALBUQUERQUE

**ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO E FLUXO
DE GASES-TRAÇO EM PLANTIOS FLORESTAIS EM PARAGOMINAS, PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

**BELÉM-PA
2017**

Albuquerque, Marcos Paulo Ferreira de

Estoque de liteira e de carbono e nitrogênio do solo e fluxo de gases-traço em plantios florestais em Paragominas - Pará. / Marcos Paulo Ferreira de Albuquerque. Belém, 2017.

X f.: il.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2017.

Orientador: Steel Silva Vasconcelos

1. Amazônia Oriental 2. matéria orgânica do solo 3. gases-traço 4. reflorestamento I. Vasconcelos, Steel Silva - Orient. II. Título.

CDD – xxxx



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCOS PAULO FERREIRA DA ALBUQUERQUE

**ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO E FLUXO
DE GASES-TRAÇO EM PLANTIOS FLORESTAIS EM PARAGOMINAS, PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do título de Doutor.

Aprovado em _____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

**Dr. Steel Silva Vasconcelos - Orientador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Dr. Cláudio José Reis de Carvalho - 1º examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Dr. Rodrigo Silva do Vale - 2º examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

**Dra. Juliana Feitosa Felizzola - 3º examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão - 4º examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA**

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelas graças concedidas e por iluminar o caminho que trilhei para chegar até aqui;

Ao meu orientador Dr. Steel Silva Vasconcelos, pelos ensinamentos repassados e pela orientação no desenvolvimento deste trabalho;

Aos técnicos e analistas Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis – (LASS – EMBRAPA), que, no desempenho de suas funções, colaboraram para a o desenvolvimento desta pesquisa;

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia e ao corpo docente, pela oportunidade e formação concedida;

À minha namorada RAFAELA MILHOMENS NOGUEIRA, pelo companheirismo e atenção;

À minha amada mãe RITA LÚCIA FERREIRA DE ALBUQUERQUE, por todo apoio e incentivo para a conclusão deste trabalho;

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Dedico

À minha família e amigos,

em especial à minha mãe Rita Lúcia Ferreira de Albuquerque e à minha irmã

Telma Lúcia Ferreira de Albuquerque

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
REFERÊNCIAS	13
2 ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO E FLUXO DE GASES-TRAÇO EM PLANTIO DE EUCALIPTO EM PARAGOMINAS, PARÁ	15
RESUMO	15
ABSTRACT	16
2.1 Introdução	17
2.2 Material e métodos	18
2.2.1 Caracterização da área experimental	18
2.2.2 Dados climáticos	21
2.2.3 Aporte de material formador de liteira (<i>litterfall</i>)	21
2.2.4 Estoque de liteira (<i>litter</i>)	23
2.2.5 Taxa de decomposição da liteira	24
2.2.6 Estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo	25
2.2.7 Determinação do fluxo de óxido nitroso (N ₂ O) e metano (CH ₄) do solo	25
2.2.8 Determinação das concentrações de nitrato (NO ₃ ⁻) e amônio (NH ₄ ⁺) do solo	27
2.2.9 Análise estatística	27
2.3 Resultados	29
2.3.1 Aporte de material formador de liteira (<i>litterfall</i>)	29
2.3.2 Correlação entre aporte de material formador de liteira e variáveis climáticas	34
2.3.3 Estoque de liteira (<i>litter</i>)	36
2.3.4 Taxa de decomposição da liteira	40
2.3.5 Densidade do solo	40
2.3.6 Teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N)	41
2.3.7 Teores de nitrato (NO ₃ ⁻) e amônio (NH ₄ ⁺) do solo	44
2.3.8 Fluxo de óxido nitroso (N ₂ O) e metano (CH ₄) do solo	47
2.4 Discussão	48
2.4.1 <i>Litter</i> , <i>litterfall</i> e decomposição da liteira	48
2.4.2 Densidade do solo	50
2.4.3 Teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo	51
2.4.4 Teores de nitrato (NO ₃ ⁻) e amônio (NH ₄ ⁺) do solo	53

2.4.5 Fluxo de óxido nitroso (N ₂ O) e metano (CH ₄) do solo	55
2.5 Conclusão	56
REFERÊNCIAS	56
3 ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus urograndis</i> E <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> EM PARAGOMINAS, PARÁ	60
RESUMO	60
ABSTRACT	61
3.1 Introdução	62
3.2 Material e métodos	63
3.2.1 Caracterização da área experimental	63
3.2.2 Dados climáticos	67
3.2.3 Aporte de material formador de liteira (<i>litterfall</i>)	67
3.2.4 Estoque de liteira (<i>litter</i>)	69
3.2.5 Taxa de decomposição da liteira	70
3.2.6 Estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo	70
3.2.7 Análise estatística	71
3.3 Resultados e discussão	72
3.3.1 Aporte de material formador de liteira (<i>litterfall</i>)	72
3.3.2 Correlação entre aporte de material formador de liteira e variáveis climáticas	76
3.3.3 Estoque de liteira (<i>litter</i>)	79
3.3.4 Taxa de decomposição da liteira	82
3.3.5 Densidade do solo	82
3.3.6 Teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo	83
3.5 Conclusão	85
REFERÊNCIAS	85

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As mudanças climáticas ocorridas nos últimos anos podem ser atribuídas a processos naturais internos/externos ao ecossistema, mudanças antropogênicas que alterem a composição da atmosfera e a própria mudança no uso da terra. Pesquisas mostram que as emissões globais de gases do efeito estufa (GEE) com potencial de aquecimento global, como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), aumentaram nas últimas três décadas (entre 1970 e 2004) como resultado do impacto de atividades humanas, passando de 28,7 para 49 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (Rogner et al., 2007). O aumento das emissões desses gases causa mudanças no clima em escalas regional e global, observadas a longo prazo principalmente pelo aumento da temperatura terrestre e em alterações nas camadas de gelo Ártico, além de mudanças mais generalizadas na salinidade do oceano, na quantidade de precipitação, nos padrões de vento e nos aspectos climáticos, como secas, precipitação extrema, ondas de calor e na intensidade de ciclones tropicais (IPCC, 2007b).

O uso de combustíveis fósseis e a mudança no uso da terra (desflorestamento, queima de biomassa, decomposição de biomassa decorrente da exploração madeireira e do desflorestamento, decomposição e queima de turfa), são as principais atividades que contribuem para o aumento das concentrações de CO_2 na atmosfera, sendo que essas emissões aumentaram em aproximadamente 80% no período entre 1970 e 2004, representando 77% do total de GEE emitidos por atividades antrópicas (IPCC, 2007a). No Brasil, grande parte das emissões líquidas de CO_2 são provenientes da mudança no uso da terra, principalmente aquela relacionada à conversão das florestas em empreendimentos agropecuários (PNMC, 2008).

Plantios florestais desempenham um importante papel na redução das concentrações de CO_2 na atmosfera, já que ecossistemas florestais apresentam grande capacidade de fixar carbono, pelo processo da fotossíntese, na biomassa acima e abaixo do solo. Em alguns casos, esses plantios podem atuar como “sumidouros”, desde que o seu crescimento supere as perdas de biomassa por podas, cortes ou incêndios (Canadell; Raupach, 2008; Dungait et al., 2012; IPCC, 2001; 2007c; Lal et al., 1995). Essas características podem ser melhor exploradas utilizando-se espécies melhoradas geneticamente, de rápido crescimento e que possam produzir uma maior quantidade de biomassa durante um período de rotação relativamente longo, em comparação a culturas

anuais, e que possam servir como uma viável atividade econômica para produtores. (ZINN et al., 2002; 2005).

Considerando a relevância e importância do tema, pesquisas locais com espécies de eucalipto e paricá, em diferentes condições edafoclimáticas, são necessárias para melhor compreendermos as influências causadas pela mudança no uso da terra, bem como os possíveis benefícios que plantios florestais possam promover ao solo e ao ambiente. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a produção e aporte de liteira, carbono e nitrogênio do solo e as emissões de óxido nitroso e metano em plantio de *Eucalyptus urograndis*, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e área de floresta primária em Paragominas/PA.

REFERÊNCIAS

CANADELL, J. G.; RAUPACH, M.R. Managing forests for climate change mitigation. **Science**, v.320: p.1456-1457, 2008.

DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; GREGORY, A. S.; WHITMORE, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology** 18: 1781-1796. 2012.

IPCC, 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; DOKKEN, D. J.; and White, K. S., ed.], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007a: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. DAVE, L. A. MEYER (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007b: Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. 2007.

IPCC.2007c: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B.A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. eds. Soil management and greenhouse effect. Boca Raton, **CRC Lewis Publishers**, p.1-7. 1995.

PNMC - **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima**. Versão para Consulta Pública. Setembro, 2008 - Decreto nº 6.263 de 21 de novembro de 2007, Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf>. Acesso em: 24 fev. de 2013.

Rogner, H.-H., D. Zhou, R. Bradley. P. Crabbé, O. Edenhofer, B. Hare, L. Kuijpers, M. Yamaguchi (2007). "Introduction." Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 28–40, 2005.

ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S.; DA SILVA, J.E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **For. Ecol. Manage.** 166, 285-294, 2002.

2 ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO FLUXO DE GASES-TRAÇO EM PLANTIO DE EUCALIPTO EM PARAGOMINAS, PARÁ

RESUMO

A mudança no uso da terra, principal ação antrópica no Brasil que contribui para o aumento das emissões de GEE, promove perda de matéria orgânica do solo, alteram as atividades microbiológicas inerentes a ciclagem de nutrientes no solo, e altera suas propriedades físicas e químicas. Espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam grande capacidade de se adaptar a solos com baixa fertilidade, como os encontrados em áreas degradadas. Devido a sua grande importância econômica, várias pesquisas relacionadas a quantificação de biomassa e estoque de carbono vem sendo feitas nos últimos anos no Brasil e no mundo. Porém, ainda faltam informações nos locais (região) específicos desses plantios. No município de Paragominas/PA, os plantios florestais com eucalipto vêm crescendo nas últimas décadas em áreas que anteriormente predominavam pastagens. O objetivo desta pesquisa é estimar os estoques de serapilheira, carbono e nitrogênio do solo e as emissões de óxido nitroso e metano em um plantio de *Eucalyptus urograndis* (EP) e área de floresta primária (FP) em Paragominas/PA. O experimento foi conduzido entre agosto de 2013 e setembro de 2014, seguiu o delineamento inteiramente casualizado com número de repetições de acordo com a variável analisada (*litterfall*, *litter*, estoque de C e N do solo, teores de NO_3^- e NH_4^+ e fluxo de CH_4 e N_2O). O aporte total anual liteira (*litterfall*) foi maior na floresta primária (10,17 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que no plantio de eucalipto (6,69 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e foi influenciado pela precipitação nos períodos avaliados. Não houve diferença no estoque de liteira total dos dois sistemas (EP - 5,67 e FP - 6,19 Mg ha^{-1}). O estoque de carbono na profundidade de 0-100 cm de solo foi maior na FP (67,20 Mg ha^{-1}) do que no EP (50,7 Mg ha^{-1}), assim como o estoque de N total (FP - 7,73 Mg ha^{-1} e EP - 4,97 Mg ha^{-1}). Os teores de nitrato e amônio foram maiores na FP, acompanhados pelas maiores emissões de N_2O e CH_4 . A conversão da floresta em pastagem e posteriormente em plantio de eucalipto promoveu mudanças negativas no solo referente a atividade microbiana, decomposição de matéria orgânica e estoques de C e N.

Palavras-chaves: Amazônia Oriental; matéria orgânica do solo, gases-traço; reflorestamento.

ABSTRACT

The change in land use is the main anthropogenic action in Brazil that contributes to the increase of emissions of greenhouse gases, promote the loss of organic matter, alter the microbiological activities inherent to the cycling of nutrients in the soil, and alter their physical and chemical properties. Species of the genus *Eucalyptus* have great ability to adapt to soils with low fertility, such as those found in degraded areas. Due to its great economic importance, several researches related to quantification of biomass and carbon stock have been made in recent years in Brazil and in the world. However, there is still a lack of information to be collected with data that are more in keeping with the specific locations (region) of these plantations. In the municipality of Paragominas / PA, forest plantations with eucalyptus have been growing in the last decades in areas that previously dominated pastures. The objective of this research is to estimate the litter and soil carbon stocks and the emissions of nitrous oxide and methane in a plantation of *Eucalyptus urograndis* and primary forest area in Paragominas / PA. The experiment period was from August 2013 to September 2014 and was evaluated in a completely randomized design with number of replicates according to the analyzed variable (litterfall, litter, soil C and N stock, NO_3^- and NH_4^+ contents and flow (10.26 Mg ha^{-1}) of the Eucalyptus plantation - EP (7.04 Mg ha^{-1}) and was influenced by the precipitation in the evaluated periods; The litter did not show large differences between the total litter stock of the two systems (EP - 5.67 and FP - 6.14 Mg ha^{-1}). The carbon stock in the 0-100 cm soil depth was higher in the FP (7.73 Mg ha^{-1}) than in the EP (4.97 Mg ha^{-1}), as well as in the N stock. Nitrate and ammonium were higher in PF, accompanied by higher emissions of N_2O and CH_4 . The conversion of the forest to pasture and later to eucalyptus plantation promoted negative changes in the soil related to microbial activity, organic matter decomposition and C and N.

Key-words: Eastern Amazon; soil organic matter; trace gases; reforestation

2.1 Introdução

Desde as primeiras discussões sobre mudanças climáticas, as florestas têm sido consideradas importantes para mitigar o efeito estufa (SCHLAMADINGER et al., 2007). As plantações florestais, especialmente aquelas com espécies de crescimento rápido como o eucalipto e suas cultivares, representam uma alternativa viável e de curto prazo para recuperação de áreas degradadas, contribuindo assim para enriquecimento do sistema e na mitigação dos gases do efeito estufa (STERN, 2007; ZHANG et al., 2012).

Os reflorestamentos com eucalipto vêm crescendo cada vez mais no Brasil, sendo atualmente considerado um dos maiores produtores da espécie do mundo. Estimativas mostram que em 2011, os plantios com essa espécie ocupavam uma área de aproximadamente 4.873.952 hectares no Brasil, sendo a região sudeste a maior produtora, representando 54,2% do total; a região norte contribui com 5,5%, sendo a maior concentração dos plantios no Pará e com estimativas de crescimento para os próximos anos (ABRAF, 2012).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam grande capacidade de se adaptar a solos com baixa fertilidade, como é o caso daqueles encontrados em áreas alteradas (SOUZA; DAVIDE, 2001). Seu rápido crescimento e alta produção de biomassa tornam as espécies deste gênero uma boa opção para suprir a demanda por matérias primas-florestais, mesmo utilizando-se uma menor quantidade de terra (WRIGHT et al., 2000).

A liteira é o principal componente responsável por disponibilizar elementos minerais da vegetação para o solo (VITOUSEK e SANFORD, 1986), sendo que o tipo de cobertura vegetal e o clima, influenciam nas suas taxas de deposição e decomposição, interferindo diretamente na ciclagem de nutrientes.

A variabilidade espaciotemporal do litterfall depende fortemente das espécies e do povoamento florestal (Binkley 1996) além da condição nutricional da espécie durante o estágio de crescimento (Diaz-Maroto e Vila-Lameiro, 2005). Em ecossistemas florestais, a dinâmica do litterfall mostra-se altamente dependente de fatores ecológicos, tais como o tipo de floresta, a composição de espécies, a densidade de árvores, solo, luz, as estruturas, idade da floresta, altitude, a latitude e a estação (Rodríguez et al., 2013; Lu & Liu 2012; Watanabe et al., 2013). Alterações antropogênicas, físicas ou ambientais (por exemplo, como pastoreio, desmatamento, incêndio, vento e furacões) podem induzir maiores aportes de serapilheira (Blanco et al., 2008, 2012). Entretanto, as informações acerca do aporte de nutrientes desta

espécie, e sua contribuição nos processos biogeoquímicos dentro de um sistema, são insipientes, principalmente no estado do Pará.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os estoques de carbono e nitrogênio do solo sob plantio de eucalipto e floresta primária, bem como estimar as produções e acúmulo de liteira e as emissões de gases-traço promovido por estes sistemas no município de Paragominas, Pará

2.2 Material e métodos

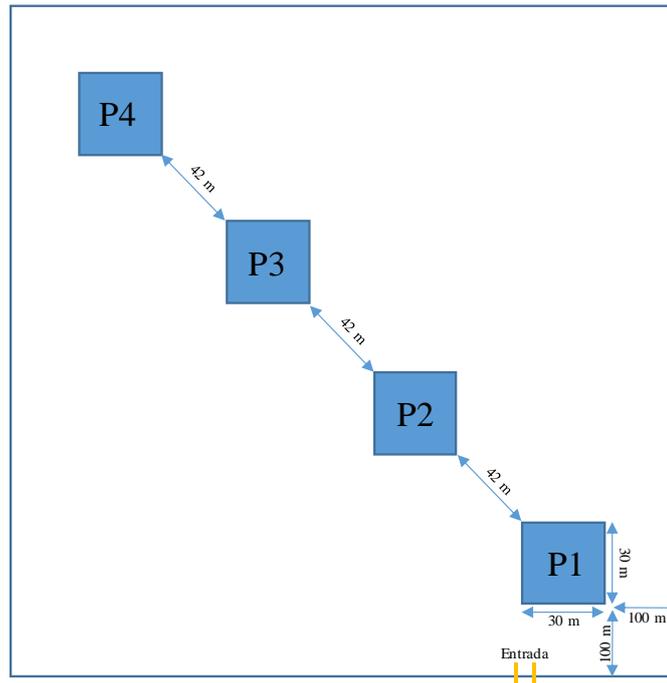
2.2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada na fazenda Piquiá, pertencente ao grupo Sidepar S/A (3°19'21" S e 47°11'12" O; altitude de 98 m), localizada a aproximadamente 51 km do centro do município de Paragominas, Pará. O clima predominante no município é tropical quente e úmido (Aw) segundo a classificação de Köppen, com uma estação seca bem definida, no período de julho a novembro, e uma estação chuvosa, de dezembro a junho. As médias anuais de temperatura variam entre 24 e 26,3° C, a umidade relativa do ar aproximadamente 81% e a precipitação pluviométrica anual varia entre 1.700 e 2000 mm (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014; BASTOS et al., 2005 e WATRIN; ROCHA, 1992).

Foi selecionado um plantio de eucalipto (*Eucalyptus urograndis* - clone I144) de 3,5 anos de idade (EP) com espaçamento de 2,70 m x 3,00 m. No talhão (25 ha) foram demarcadas, seguindo um transecto diagonal, quatro parcelas de 30 m x 30 m (900 m²) distanciadas por aproximadamente 42 m (Figura 1).

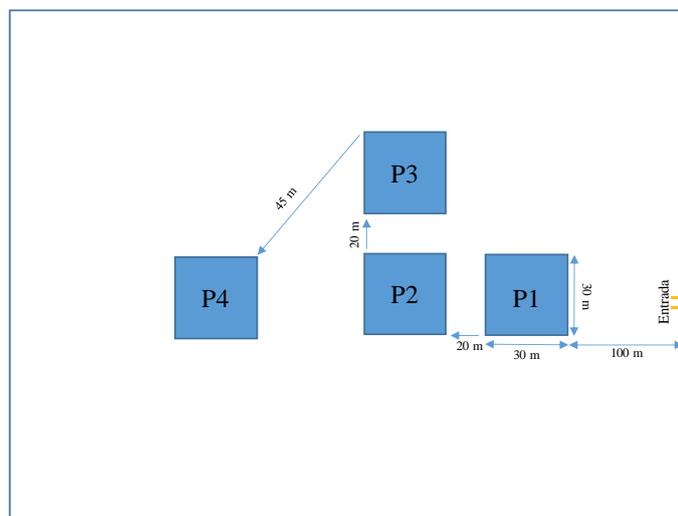
Também foi selecionada uma área de floresta primária (FP) de aproximadamente 348 ha, distante 11 km do plantio de eucalipto. Parcelas de 30 m x 30 m foram demarcadas nos locais mais conservados e sem declividades (Figura 2).

Figura 1 – Distribuição das parcelas experimentais no plantio de eucalipto na fazenda Piquiá, Paragominas, PA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 - Distribuição das parcelas experimentais na floresta primária na fazenda Piquiá, Paragominas, PA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O solo das áreas estudadas é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, o mesmo de maior ocorrência no município (RODRIGUES et al., 2003). Os atributos físicos e químicos estão descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

O plantio de eucalipto foi precedido por cultivo de *Brachiaria brizantha* usada como pastagem. O preparo do solo e o plantio do eucalipto seguiu a sequência: (1) roçagem mecanizada da pastagem, (2) gradagem com grade pesada e subsolagem conjunta com 250 kg

ha⁻¹ de adubo químico (NPK 10-22-15, 2,5% S, 0,4% Cu, 0,4% Zn, e 0,4% B), (3) aplicação de herbicida pós emergente, (4) correção do solo com calcário dolomítico (2.000 kg ha⁻¹), (4) plantio do eucalipto, (5) aplicação de herbicida pré emergente e (6) aplicação em coveta lateral de 150 g por planta de adubo químico (NPK 10-22-15, 2,5% S, 0,4% Cu, 0,4% Zn, e 0,4% B).

As adubações de cobertura foram divididas em três etapas: (1) 167 kg ha⁻¹ de NPK 15-0-20 + 6% S + 1% B, (2) 222 kg ha⁻¹ de NPK 15-0-20 + 6% S + 1% B e (3) 222 kg ha⁻¹ de NPK 10-0-30 + 11,5% S.

O controle de plantas indesejadas no talhão foi realizado de forma mecanizada, manual e química, conforme nível de infestação. Ao longo do ano foram realizadas três adubações químicas de cobertura: duas com nitrogênio, potássio, enxofre e boro e uma com os mesmos nutrientes com exceção do boro.

Tabela 1 – Granulometria do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragominas, PA.

Prof. (cm)	Areia Total (g kg ⁻¹)		Silte (g kg ⁻¹)		Argila total (g kg ⁻¹)		Classe Textural
	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP e FP
0-5	741	643	139	238	120	120	Textura Média
5-10	749	671	132	269	120	60	Textura Média
10-20	744	705	117	175	140	120	Textura Média
20-30	703	630	137	250	160	120	Textura Média
30-50	706	649	95	212	200	140	Textura Média
50-70	663	635	217	166	120	200	Textura Média
70-100	674	578	107	223	220	200	Textura Média

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta. Classificação textural determinada pelo triângulo textural simplificado usado pela EMBRAPA.

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Tabela 2 – Resultado da análise química do solo em três profundidades em plantio de eucalipto e em floresta primária em Paragominas, PA.

Área	Prof. cm	P	K	Na	Al	Ca	Mg	pH (H ₂ O)	H+Al cmol _c dm ⁻³	CTC		Saturação	
										Total/Efetiva	cmol _c dm ⁻³	Base	Al
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			--		cmol _c dm ⁻³		V%	m%
Eucalipto	0-10	16	18	4	0,8	0,4	0,1	4,6	4,95	5,52	1,37	10,27	58,53
	10-20	11	14	7	0,9	0,2	0,1	4,5	3,80	4,16	1,27	8,80	71,09
	20-50	4	8	2	0,8	0,2	0,1	4,5	2,31	2,64	1,13	12,53	70,75
Floresta primária	0-10	10	51	9	0,8	0,4	0,2	4,9	6,77	7,54	1,57	10,22	50,94
	10-20	5	29	7	0,9	0,2	0,1	4,7	4,62	5,02	1,30	8,02	69,08
	20-50	2	18	7	1,0	0,2	0,1	4,4	3,14	3,51	1,38	10,72	72,65

A análise química foi realizada segundo o Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da Embrapa (EMBRAPA, 2009).

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

2.2.2 Dados climáticos

A precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM) do período que compreendeu o estudo, foram obtidas no *website* do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, que disponibiliza os dados coletados a partir de uma estação meteorológica automática localizada em Paragominas, PA.

2.2.3 Aporte de material formador de liteira (*litterfall*)

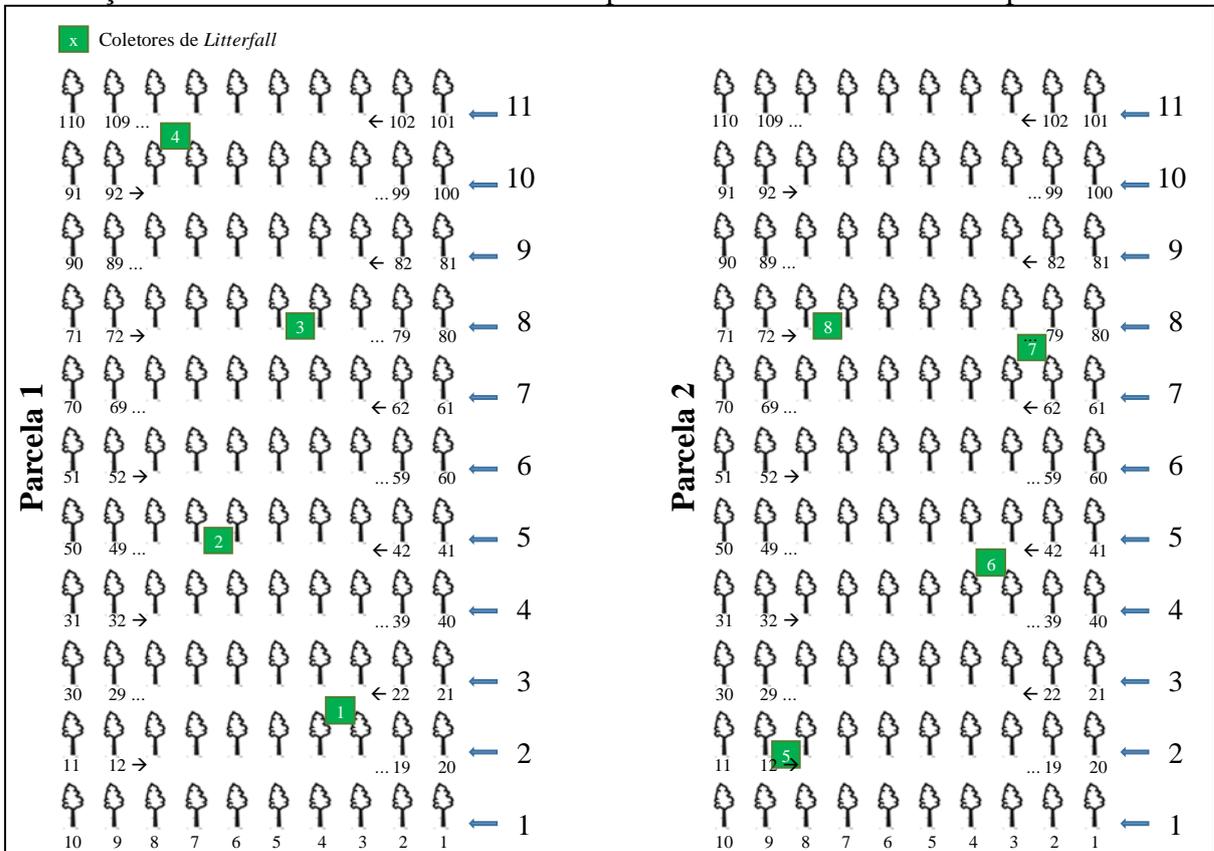
O monitoramento da produção de liteira foi realizado mensalmente entre agosto de 2013 e julho de 2014. Em cada parcela das áreas de estudo foram instalados quatro coletores, construídos com fio de arame galvanizado liso e tela de náilon com malha fina (1,0 mm) nas dimensões de 1,0 m x 1,0 m (Figura 3), que ficaram em locais fixos nas áreas durante todo o período experimental; totalizando 16 amostras por área em cada período de coleta. Nas parcelas do plantio de eucalipto os coletores foram distribuídos aleatoriamente, como exemplificado na Figura 4. Na floresta primária, a distribuição também foi realizada aleatoriamente, porém evitando-se clareiras e locais de difícil acesso.

Figura 3 – Coletor de *litterfall* instalado no plantio de eucalipto.



Fonte: Do autor.

Figura 4 – Localização dos coletores nas parcelas 1 e 2 na área de plantio de eucalipto. Numerações de 1 a 11 identificam as linhas de plantio e de 1 a 110 as árvores presentes.



Fonte: Croqui elaborado pelo autor.

Os materiais retidos nos coletores foram colocados em sacos de papel tipo Kraft[®], devidamente identificados e levados ao Laboratório de Qualidade Ambiental da Universidade do Estado do Pará (câmpus VI, Paragominas). As amostras de *litterfall* foram separadas em duas frações: (1) *litterfall* não-lenhoso (composto por folhas e material reprodutivo) e (2) *litterfall* lenhoso (composto por galhos e cascas), em seguida colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até massa constante para determinação da biomassa seca.

A produção anual de liteira não-lenhosa, lenhosa e total, expressas em Mg ha⁻¹, foi obtida pela soma da massa seca, aportada em cada coletor, dividido pelos 12 períodos de avaliação.

2.2.4 Estoque de liteira (*litter*)

Em agosto de 2013, dezembro de 2013, abril de 2014 e agosto de 2014, foram coletadas amostras de liteira usando-se como gabarito uma grade metálica quadrada (Figura 5) para delimitar uma área de 0,25 m². Todo o material contido dentro da grade foi colocado em sacos de papel tipo Kraft[®] previamente identificados e levados para o Laboratório de Qualidade Ambiental da Universidade do Estado do Pará (câmpus VI, Paragominas) para preparo. As amostras foram coletadas em quatro pontos diferentes em cada parcela, totalizando 16 amostras por área em cada período de coleta.

Figura 5 – Grade metálica delimitando local de coleta de *litter*.



Fonte: Do autor.

O material coletado no plantio de eucalipto e na floresta primária foram separados em duas frações: (1) *litter* não-lenhoso (composto por folhas, material reprodutivo e miscelânea) e (2) *litter* lenhoso (composto por galhos e cascas), em seguida colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até massa constante. Os materiais que se apresentavam fragmentados de difícil identificação (frações com diâmetro inferior a 2 mm) foram denominados de “miscelânea”. Devido à predominância de fragmentos de folhas na miscelânea, ela foi agrupada na classe não-lenhosa. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até massa constante para determinação da biomassa seca.

A média anual de liteira acumulada não-lenhosa, lenhosa e total, expressa em Mg ha⁻¹, foi obtida pela soma da massa seca do *litter*, acumulado em cada ponto de coleta, e dividido pelo número (quatro) de avaliações ao longo do tempo.

2.2.5 Taxa de decomposição da liteira

A partir dos dados de aporte de liteira e seu estoque no solo, calculou-se indiretamente a taxa de decomposição da liteira utilizando-se a equação proposta por Olson (1963): $K = L/X$, em que K é o coeficiente de decomposição, L a produção anual de liteira e X a média anual da liteira acumulada. O tempo necessário para que ocorra decomposição de 50% da

serapilheira foi calculada pela equação de Shanks e Olson, (1961): $T_{0,5} = -\ln 0,5/K$. Essas equações também foram usadas em outros estudos semelhantes (ARATO et al., 2003; FERNANDES; SCARAMUZZA, 2007; LOPES et al., 2009; PAGANO, 1989; SCORIZA et al., 2012).

2.2.6 Estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo

Em junho de 2014, no centro de cada parcela, foram escavadas trincheiras de 1,20 m de comprimento, 0,70 m de largura e 1,10 m de profundidade. Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo foram retiradas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 30-50, 50-70 e 70-100 cm, em três faces internas da trincheira, utilizando-se anéis de Kopeck com bordas cortantes e volumes internos conhecidos. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011).

Para determinação dos teores de C e N do solo foram coletadas cinco amostras simples com trado tipo caneco, em torno de cada trincheira, para formar uma amostra composta, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 30-50, 50-70 e 70-100 cm. O material coletado foi seco e peneirado em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Aproximadamente 20 g de TFSA foram triturados em almofariz de ágata e tamisados em peneira de 0,25 mm (100 mesh). Uma alíquota de aproximadamente 0,20 g foi usada para determinação dos teores de C e N total por combustão via seca (1350° C) em analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. Os estoques de C e N totais do solo foram calculados segundo Veldkamp (1994), utilizando-se para cada profundidade a equação adaptada:

$$E_{C/N} = (T_{C/N} \times \rho_s \times E)/10$$

em que,

$E_{C/N}$ = estoque de carbono ou nitrogênio orgânico total ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

$T_{C/N}$ = teor de carbono ou nitrogênio na amostra ($g \text{ kg}^{-1}$ solo);

ρ_s = densidade do solo ($g \text{ cm}^{-3}$);

E = espessura da camada de solo (cm).

O denominador (10) na equação foi usado para que os resultados de $E_{C/N}$ fossem expressos em $Mg \text{ ha}^{-1}$.

2.2.7 Determinação do fluxo de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) do solo

As coletas de amostras de ar para análise da concentração de N_2O e CH_4 foram realizadas com sistema de câmara estática, composta de base e tampa, com formatos retangulares (Figura 6). A câmara consistiu em uma base de metal (espessura de 1 mm) com medidas de 37,50 cm x 57,00 cm, inseridas no solo em aproximadamente 5 cm. No momento da amostragem, a parte superior da câmara, uma bandeja plástica com 9 cm de altura e com as mesmas dimensões de largura e espessura da base de metal, foi encaixada em uma canaleta com cerca de 2 cm de largura na parte superior de base contendo água para garantir a vedação do sistema.

Figura 6 – Câmara para coleta de amostras de ar do solo composta por base metálica e tampa plástica.



Fonte: Do autor.

Foram distribuídas aleatoriamente duas bases por parcela nas áreas de EP e FP. As amostragens foram realizadas mensalmente, de agosto de 2013 a setembro de 2014. As bases das câmaras permaneceram no local durante todo o experimento para minimizar possíveis perturbações ao solo. A coleta de ar foi realizada com seringas de polipropileno com volume de 20 mL. As amostras foram transferidas, em campo, para frascos de vidro vedados com septos de borracha e previamente evacuados a aproximadamente -70 kPa com bomba de vácuo manual. Os frascos foram transportados em caixa térmica contendo gelo artificial seco. Em cada câmara foram coletadas amostras de ar do solo em quatro tempos: logo após instalação da tampa plástica sobre a base (tempo zero) e após 10, 20 e 30 minutos. Nestes mesmos intervalos foi medida a temperatura interna de cada câmara com termômetro digital LCD 2 previamente instalados.

As amostragens de ar foram acompanhadas por medições de temperatura do solo, medidas com um termômetro de solo digital (Marca: Martel electronics; Modelo: Beta Probe

TI), no início e no final da coleta da coleta; altura da câmara, medida com régua milimetrada nos quatro pontos centrais de cada vértice, para cálculo do seu volume; e temperatura do ar atmosférico no início e no final da coleta de ar, medida com psicrômetro previamente instalado em campo.

As concentrações de N₂O e CH₄ foram determinadas por cromatografia gasosa, usando cromatógrafo a gás modelo CP 3800 VARIAN®, com detector de captura de elétrons (ECD) operando à temperatura de 370° C para detecção de N₂O e um detector de ionização por chama (FID) para determinação das concentrações de CH₄, ambos usando hélio como gás de arraste. Essas determinações foram realizadas em até 72 horas após a amostragem. Precedendo o momento das leituras as amostras foram preservadas em câmara fria à 5° C. Os cálculos das concentrações de N₂O e CH₄ nas amostras foram realizados pelo cromatógrafo a partir da aplicação de curva de calibração, relacionada às áreas dos picos de gases padrões. Para o cálculo da emissão, foi determinada a taxa de variação de concentração do gás, considerando-se o modelo de ajuste linear, de acordo com o Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo (Zanatta et al., 2014), utilizando-se a equação:

$$\text{Fluxo } (\mu\text{g N-N}_2\text{O ou CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = (\Delta C/\Delta t) \times V/A \times (m/V_m)$$

em que,

$\Delta C/\Delta t$ = taxa de variação do gás analisado dentro da câmara por tempo (ppm/hora);

V = volume câmara (L);

A = área da câmara (m²);

m = peso molecular do gás avaliado (g);

V_m = volume molecular do gás avaliado (L).

2.2.8 Determinação das concentrações de nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) do solo

Nas áreas estudadas, com auxílio de trado holandês, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm, próxima a cada câmara instalada nas parcelas (duas câmaras por parcela) nos dois sistemas, formando um total de 8 amostras por área. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados e refrigeradas em caixa térmica com gelo artificial seco até serem processadas no Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental.

Para determinação das concentrações de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ utilizou-se o método proposto por Cantarella; Trivelin, (2001), onde 20 g de subamostras de solo foram colocadas

em recipientes plásticos com adição de 100 mL de solução de KCl 1M. Em seguida os recipientes foram agitados a 150 rpm durante duas horas e deixados em repouso por 24 h. Alíquotas de 20 mL do sobrenadante formado de cada amostra foram retiradas e conservadas sob refrigeração até o momento da análise. As amostragens foram realizadas no final da estação seca do município (dezembro de 2013), durante a estação chuvosa (abril de 2014) e durante a estação seca agosto de 2014.

A determinação das concentrações de N-NO_3^- e N-NH_4^+ foi realizada colorimetricamente por espectrofotometria segundo Yang et al. (1998) e Keeney (1982), respectivamente. A taxa líquida de mineralização (TLM) foi calculada pela diferença entre as concentrações de N-inorgânico (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) antes e após sete dias de incubação em B.O.D a 25° C:

$$\text{TLM} = (\text{NH}_4^{+'} + \text{NO}_3^{-'}) - (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$$

em que,

TLM = taxa líquida de mineralização ($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$);

$\text{NH}_4^{+'}$ e $\text{NO}_3^{-'}$ = concentrações após 7 dias de incubação ($\mu\text{g N g}^{-1}$);

$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ = concentrações iniciais ($\mu\text{g N g}^{-1}$).

A taxa líquida de nitrificação (TLN) foi calculada pela diferença entre as concentrações finais (sete dias de incubação) e iniciais de N-NO_3^- :

$$\text{TLN} = \text{NO}_3^{-'} - \text{NO}_3^-$$

em que,

TLN = taxa líquida de nitrificação ($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$);

$\text{NO}_3^{-'}$ = concentração após 7 dias de incubação ($\mu\text{g N g}^{-1}$);

NO_3^- = concentração inicial ($\mu\text{g N g}^{-1}$).

Também foram coletadas amostras de solos (cinco amostras simples para formar uma composta) nas profundidades de 0-10 cm, em cada parcela, para determinação da umidade gravimétrica. As amostras foram pesadas para determinação do seu peso de massa úmida e em seguida secas em estufa a 105° C durante 48 horas para determinação do peso de massa seca. (EMBRAPA, 2011).

2.2.9 Análise estatística

O experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (plantio de eucalipto e floresta primária, denominados de EP e FP, respectivamente) e número de repetições variada de acordo com a variável analisada: aporte de liteira e aporte anual de liteira (n = 16, número de coletores por tratamento); 16 repetições; estoque de liteira e média anual de liteira acumulada (n = 16, número de pontos de coleta por tratamento); densidade do solo, teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo (n = 4, número de trincheiras em cada tratamento); fluxo de N₂O e CH₄ (n = 8; número de bases instaladas por tratamento); concentração de NO₃⁻ e CH₄⁺ (n = 8, número de coletas de amostras e solo por tratamento); umidade gravimétrica (n = 8, número de coletas de amostra de solo por tratamento); TLM e TLN (n = 8, número de coletas por tratamento) e temperatura do solo (n = 8, número de medições por tratamento)

As análises estatísticas foram realizadas no programa SigmaPlot 11.0. Para testar o efeito dos sistemas e da época de coleta sobre as variáveis aporte de liteira, estoque de liteira, concentração de NO₃⁻ e CH₄⁺, fluxo N₂O e CH₄, TLM e TLN, umidade gravimétrica e temperatura do solo utilizou-se ANOVA de dois fatores com medidas repetidas (*Two-way repeated measures ANOVA*). A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para testar o efeito dos sistemas sobre o aporte anual de liteira, média anual de liteira acumulada, densidade do solo, teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo, utilizou-se o teste t de Student a 5% de probabilidade.

A precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM), correspondente ao período experimental, foram correlacionadas com as médias mensais de *litterfall* total, *litterfall* não-lenhoso e *litterfall* lenhoso utilizando-se o coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

Para atender os requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias, quando necessário, os dados foram transformados em log 10, ln, exponencial ou raiz quadrada. Nas tabelas e figuras são apresentadas as médias e erro padrão dos dados não-transformados.

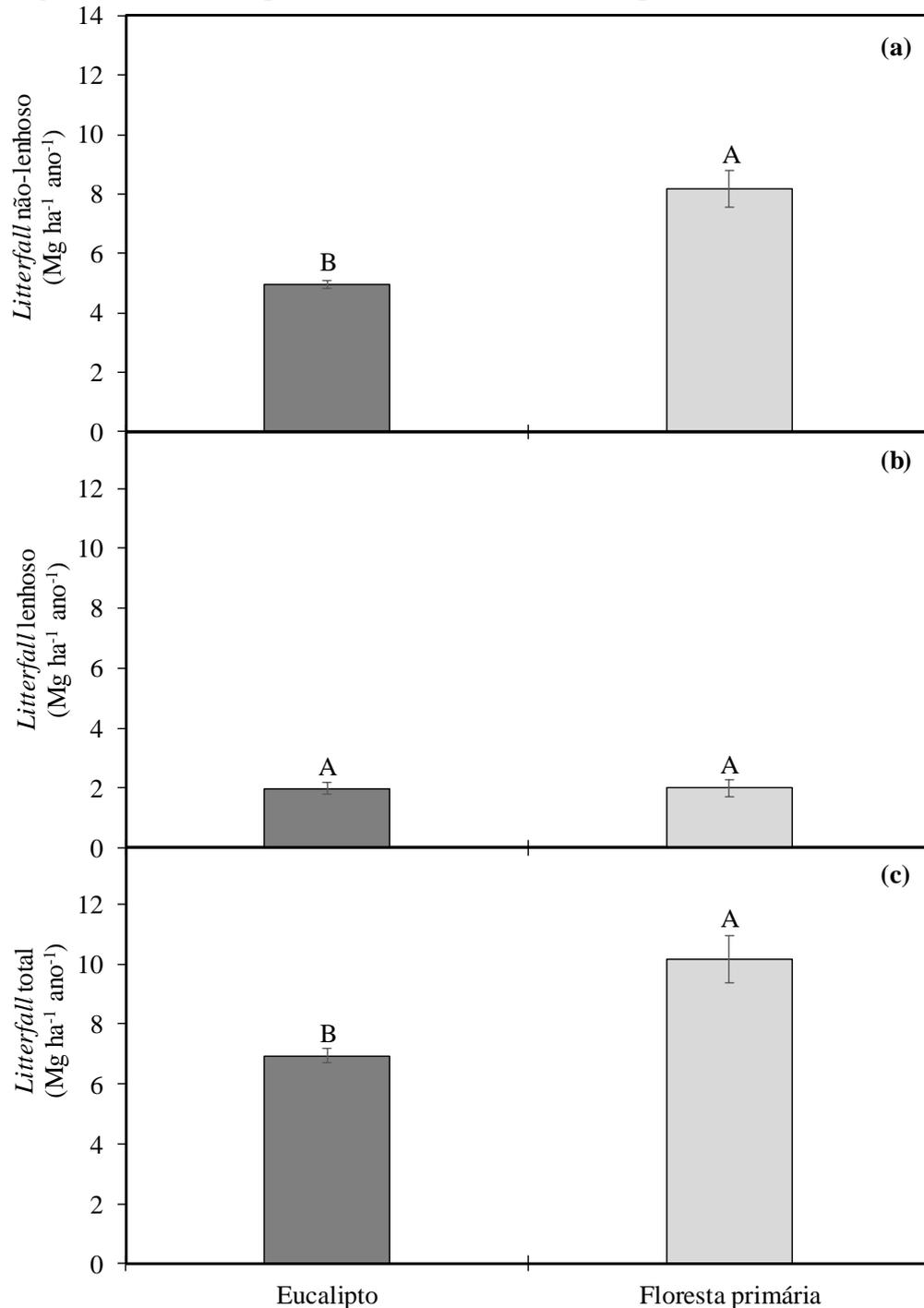
2.3 Resultados

2.3.1 Aporte de material formador de liteira (*litterfall*)

O *litterfall* total anual estimado (figura 7c) foi significativamente diferente entre os

sistemas, sendo maior na FP ($10,17 \pm 0,78 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que no EP ($6,94 \pm 0,25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), $P \leq 0,001$. A fração não-lenhosa apresentou maior contribuição para o total aportado (figura 7a), representando 71,33 % no EP e 80,33% na FP. O aporte de *litterfall* não-lenhoso anual foi maior ($P \leq 0,001$) em FP ($8,17 \pm 0,60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que em EP ($4,95 \pm 0,12 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). O *litterfall* lenhoso anual (figura 7b) não diferiu estatisticamente entre os sistemas avaliados ($P = 0,768$).

Figura 7 – *Litterfall* anual não-lenhoso (a), lenhoso (b) e total (c) em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragominas, PA. Médias \pm erros seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

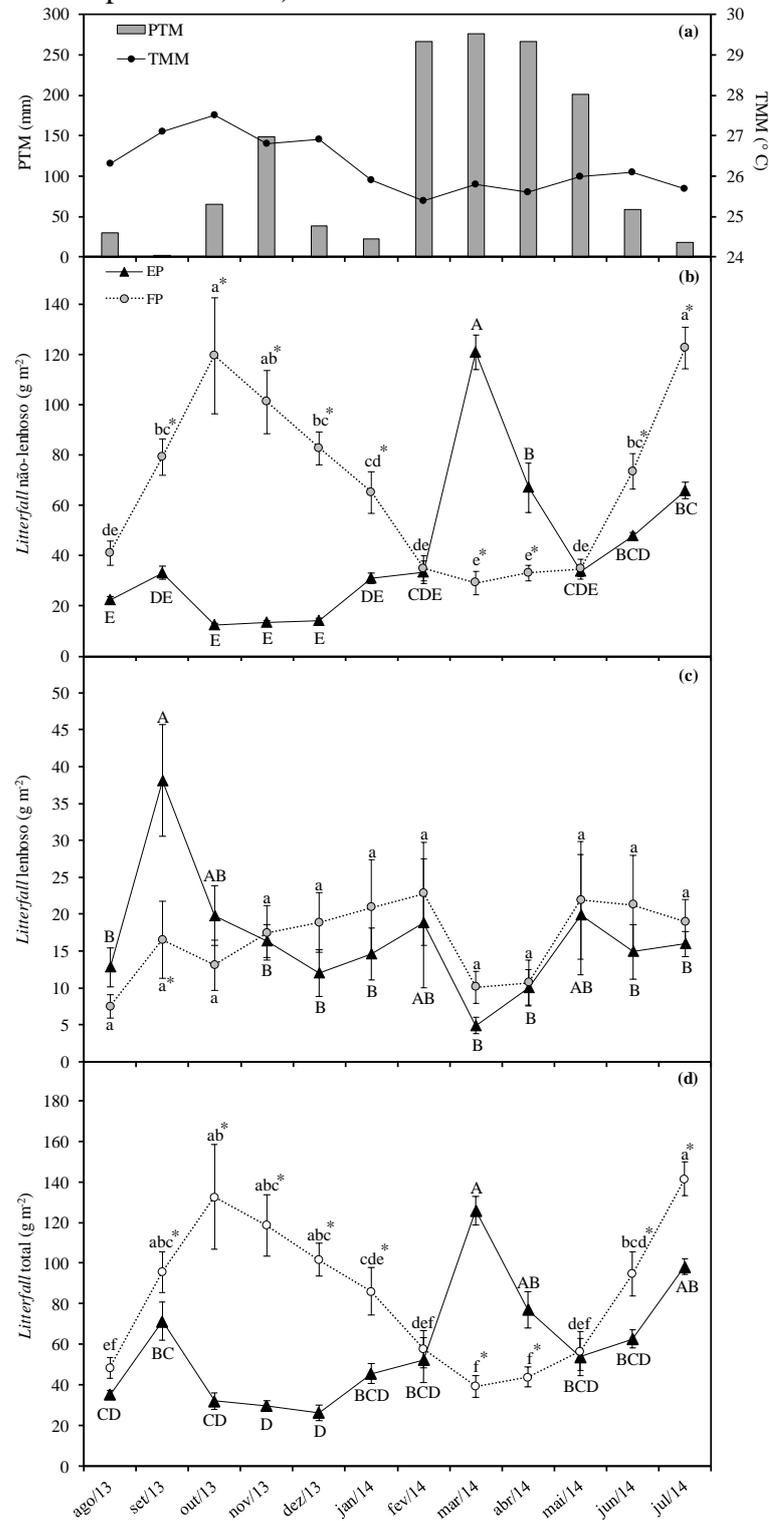


Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

A variação temporal da produção de liteira durante o período experimental está representado na figura 8. Na FP os maiores aportes de *litterfall* total e não-lenhoso ocorreram no período entre set/13 a janeiro/14; neste mesmo período ocorreram os valores mais baixos de precipitação pluviométrica (estação seca). No EP, os maiores aportes de *litterfall* total e

não-lenhoso ocorreram no período com as maiores precipitações registradas, entre fev/14 e jul/14 (estação chuvosa). No período de set/13 a jan/14 e nos meses jun/14 e jul/14 o *litterfall* total e a fração não-lenhoso foram maiores na FP do que no EP ($P \leq 0,05$). O aporte de *litterfall* lenhoso (Figura 8c) variou significativamente entre os sistemas avaliados apenas em set/13 ($P < 0,05$), quando os maiores aportes desta fração foram verificados na FP.

Figura 8 – Médias de precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM) (a), biomassa seca do *Litterfall* não-lenhoso (b), *Litterfall* lenhoso (c) e *Litterfall* total (d) em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragominas, PA. Médias \pm erros seguidas de letras iguais, maiúsculas para o plantio de eucalipto e minúsculas para a floresta primária, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O asterisco (*) indica diferença significativa entre o plantio de eucalipto e a floresta primária, avaliada no mesmo período (Tukey a 5% de probabilidade).



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

2.3.2 Correlação entre aporte de material formador de liteira e variáveis climáticas

O *litterfall* total e suas frações, nos dois sistemas, foram correlacionados a precipitação total mensal (PTM) e a temperatura média mensal do período de avaliação (TMM) (Tabela 3). O *litterfall* total aportado na floresta primária (FP) apresentou correlação negativa e significativa ($r = -0,64$, $P < 0,05$) com a PTM (Figura 9c), da mesma forma que o *litterfall* não-lenhoso ($r = -0,65$, $P < 0,05$). Esta mesma fração sofre influência da temperatura, pois houve correlação positiva significativa com a TMM ($r = 0,59$, $P < 0,05$) (Figura 10a).

O aporte de liteira não-lenhosa do plantio de eucalipto apresentou correlação correlação negativa significativa com a TMM ($r = -0,58$, $P < 0,05$), ou seja, os maiores aporte ocorreram nos períodos de menores temperaturas médias mensais, de março a junho de 2014 (figura 10a).

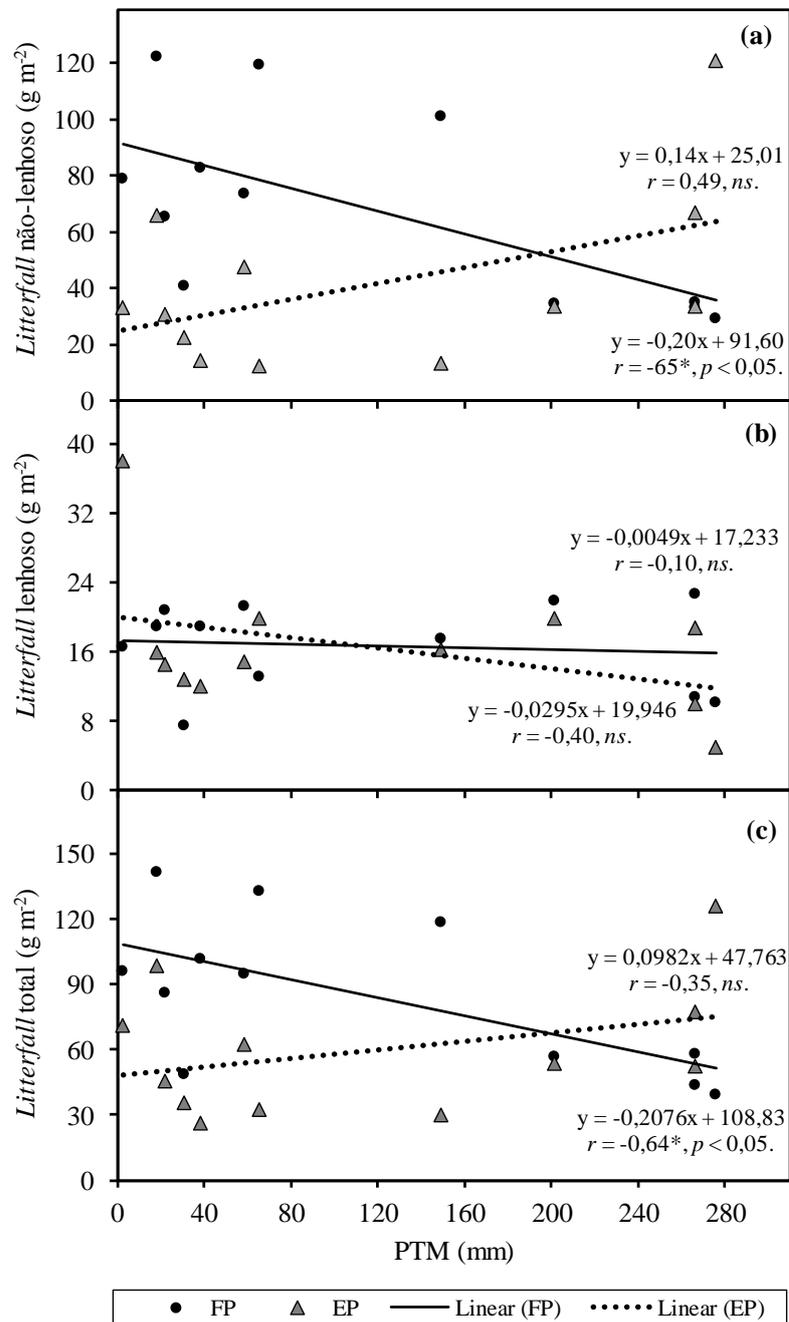
Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Person entre a precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM) e do *litterfall* total e suas frações aportados no plantio de eucalipto e na floresta primária em Paragominas, PA.

Variável climática	Eucalipto			Floresta primária		
	<i>Litterfall</i> não-lenhoso	<i>Litterfall</i> lenhoso	<i>Litterfall</i> total	<i>Litterfall</i> não-lenhoso	<i>Litterfall</i> lenhoso	<i>Litterfall</i> total
PTM	0,49	-0,40	0,35	-0,65*	-0,10	-0,64*
TMM	-0,58*	0,46	-0,52	0,59*	-0,17	0,54

*Correlação significativa a 5% de probabilidade.

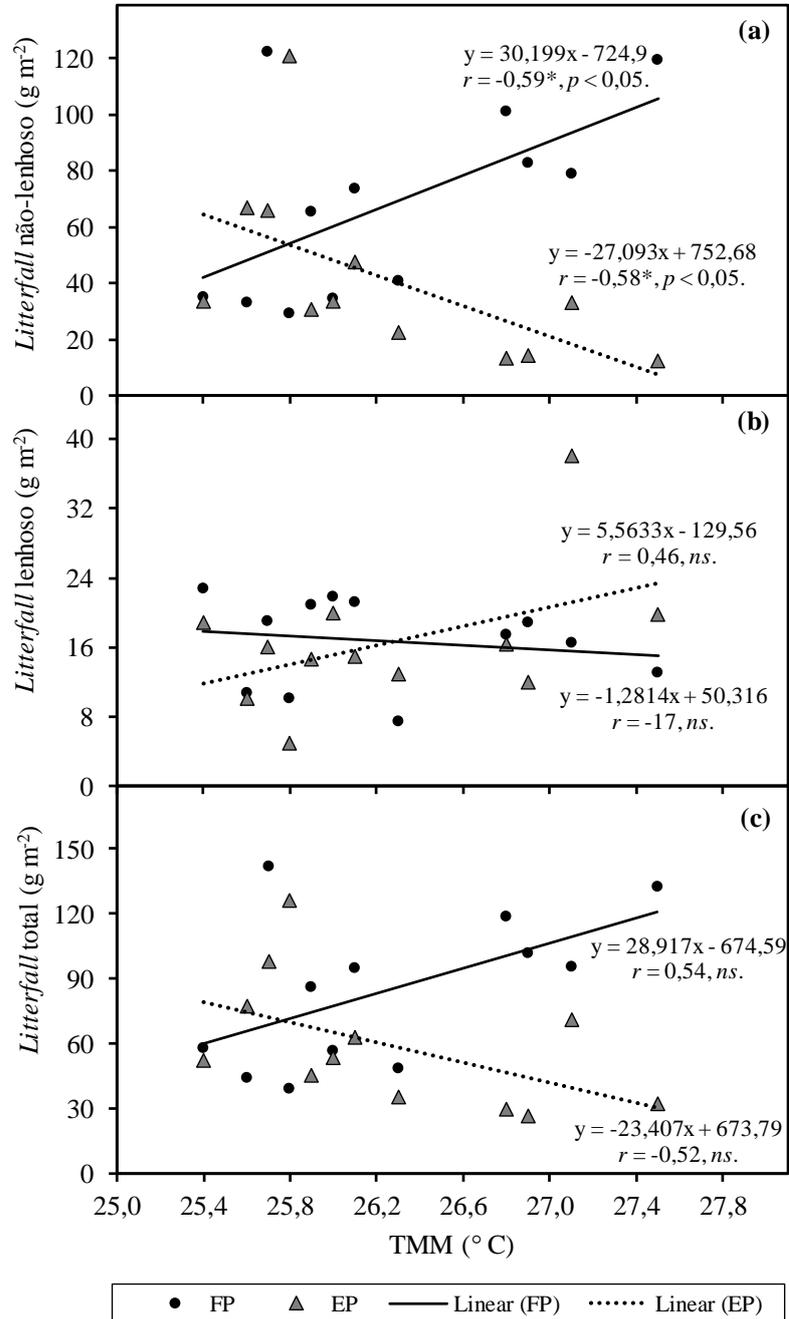
Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

Figura 9 – Análise de regressão linear entre *litterfall* total e suas frações e a precipitação total mensal (PTM) em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP). Valores de r seguidos de asteriscos indicam correlação significativa ($P < 0,05$), *ns* indica correlação não significativa.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

Figura 10 – Análise de regressão linear entre *litterfall* total e suas frações e a temperatura média mensal (TMM) em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragominas, PA. Valores de r seguidos de asteriscos indicam correlação significativa moderada ($P < 0,05$), *ns* indica correlação não significativa.



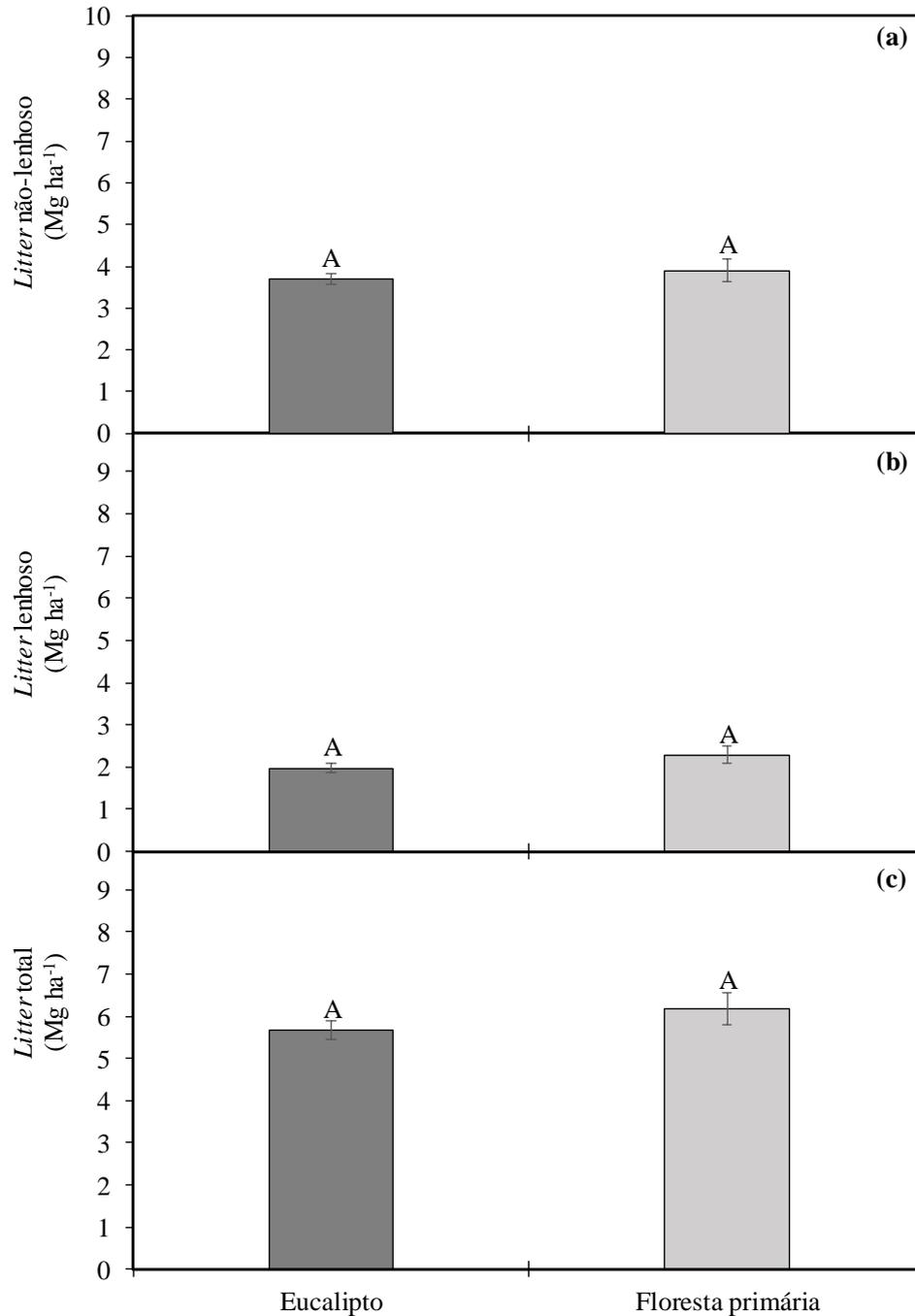
Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

2.3.3 Estoque de liteira (*litter*)

Os valores médios de acúmulo de liteira ao longo do ano, nos dois sistemas, estão apresentados na figura 11. Para ambos os sistemas, o *litter* total e suas frações, não diferiram significativamente pelo teste t de Student a 5 % de probabilidade. De modo geral, a fração

não-lenhosa representa 65,08 % do *litter* total da EP e 63,52 % na FP.

Figura 11 – Média de acúmulo anual de *litter* não-lenhoso (a), lenhoso (b) e total (c) em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragominas, PA. Médias \pm erros seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

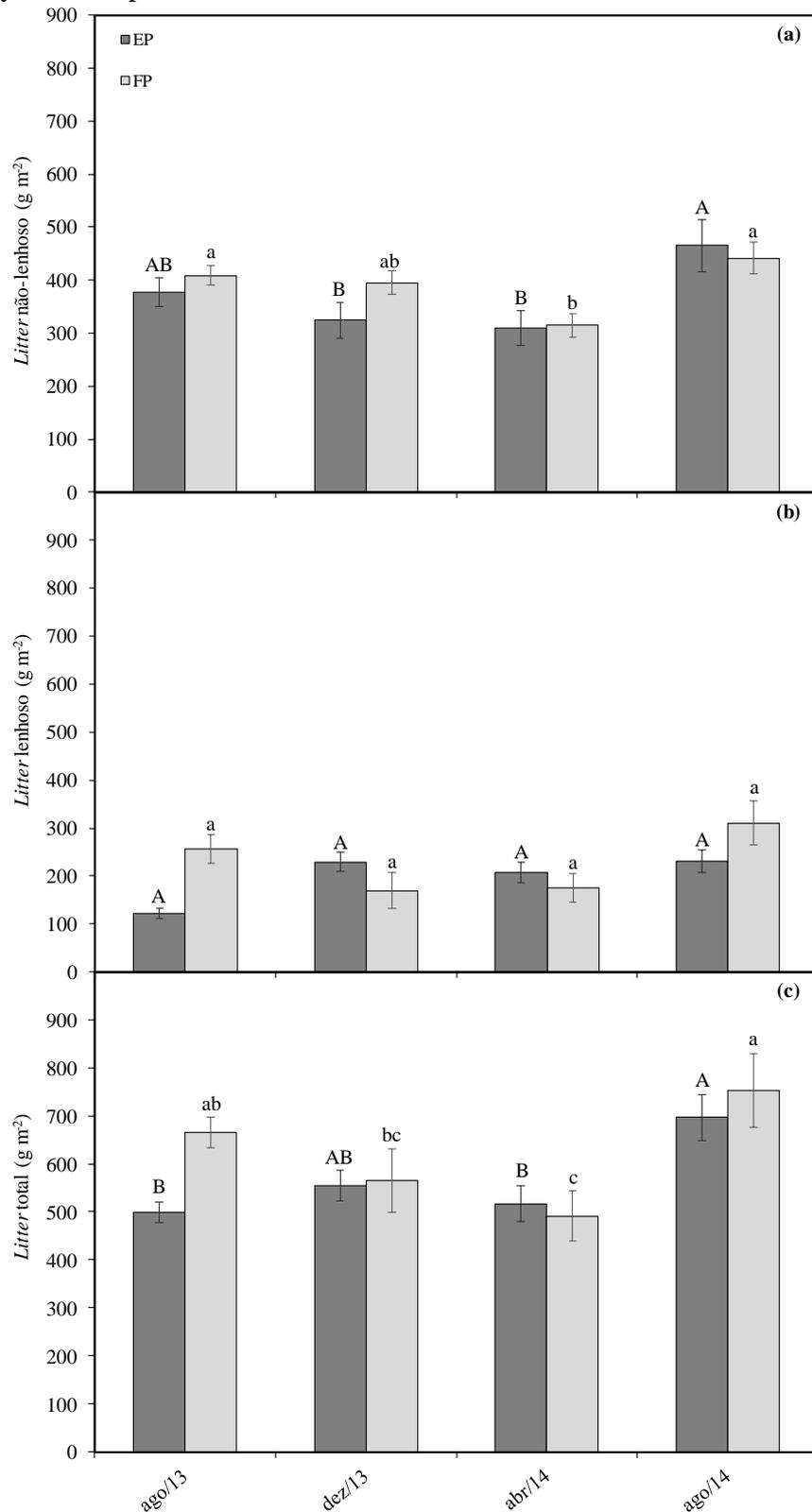


Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

O estoque de liteira lenhosa (figura 12b), não variou significativamente entre EP e FP. No entanto, houve diferença significativa ($P \leq 0,001$) no *litter* não-lenhoso (figura 12a), ocorrendo em ago/14 ($465,21 \pm 29,63 \text{ g m}^{-2}$) maior acúmulo no plantio de eucalipto e, em

abr/14, menor acúmulo na floresta primária ($315,21 \pm 33,04 \text{ g m}^{-2}$). O *litter* total (figura 12c) acumulado em EP e FP foram maiores em ago/14 ($696,28 \pm 48,79$ e $752,42 \pm 76,54 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente). Comparando-se os resultados entre os sistemas dentro de cada período avaliado, não houve variação entre as médias.

Figura 12 – Acúmulo de liteira não-lenhosa (a), lenhosa (b) e total (c) em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em paragominas, PA. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para EP e minúsculas para FP, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Diferença significativa entre EP e FP, avaliada em um mesmo período, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

2.3.4 Taxa de decomposição da liteira

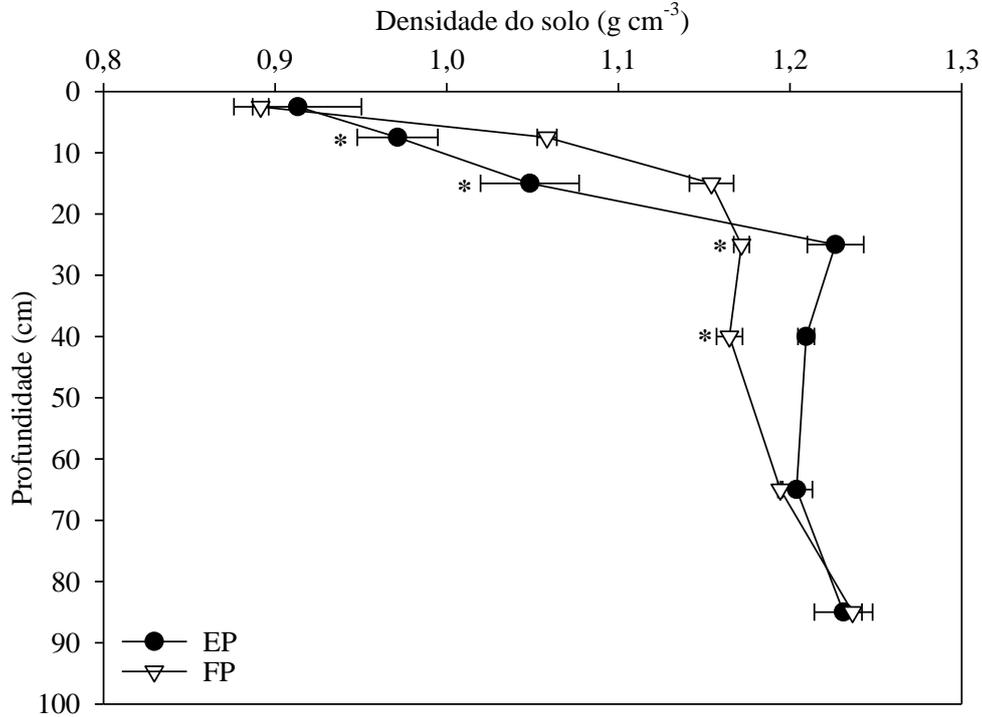
Com os resultados de produção de liteira produzida anualmente e média anual de liteira acumulada foi possível calcular a taxa de decomposição da liteira sob condições de equilíbrio dinâmico.

Considerando o *litter e litterfall* total, a taxa de decomposição da liteira (K) foi de 1,17 para o plantio de eucalipto e 1,64 para a floresta primária. Para esses valores K, o tempo necessário para que 50 % da liteira seja renovada foi estimada em 0,85 ano para o EP e 0,61 ano para a FP.

2.3.5 Densidade do solo

Na profundidade de 0-5 cm a densidade do solo não variou significativamente entre os sistemas (Figura 13) ($P = 0,584$). Nas profundidades de 5-10 ($0,97 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$, $P = 0,011$) e 10-20 cm ($1,05 \pm 0,03 \text{ g cm}^{-3}$, $P = 0,015$) do EP, a densidade do solo foi menor do que na FP (5-10 / $1,06 \pm 0,01$ e 10-20 / $1,15 \pm 0,01 \text{ g cm}^{-3}$), apresentando comportamento inverso em 20-30 e 30-50 cm. Nas demais profundidades não houve diferença significativa entre os sistemas.

Figura 13 – Densidade do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP). Asteriscos indicam diferença estatística, pelo teste t de Student ($P < 0,05$), entre as médias em cada profundidade (média \pm erro-padrão, $n = 4$).

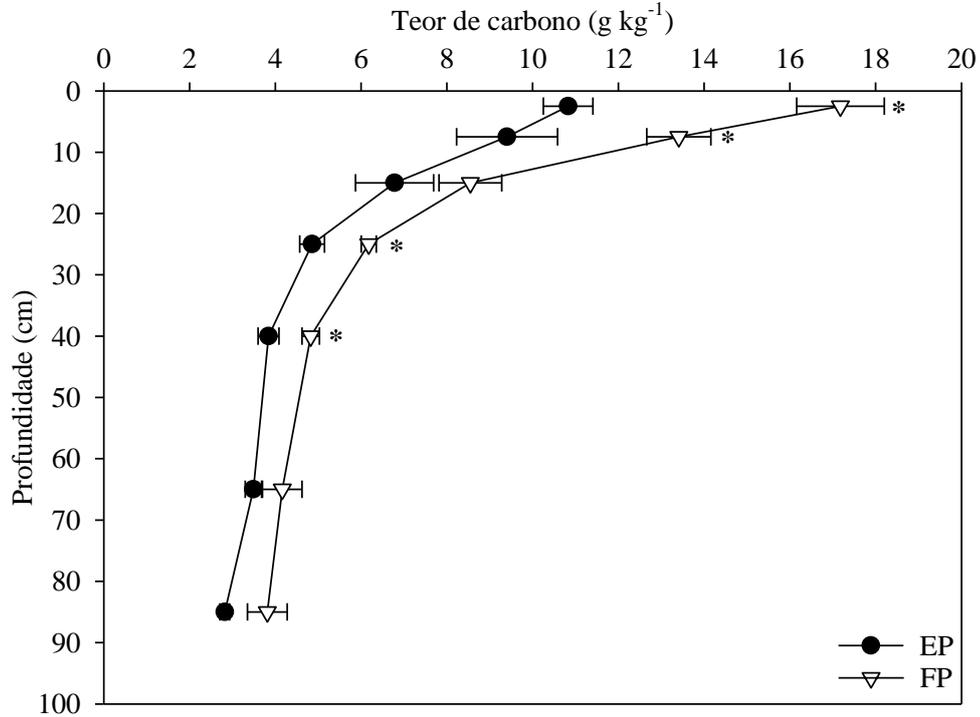


Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

2.3.6 Teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N)

Na FP os teores de C foram superiores nas profundidades de 0-5 ($17,18 \pm 1,0 \text{ g kg}^{-1}$), 5-10 ($13,41 \pm 0,75 \text{ g kg}^{-1}$), 20-30 ($6,18 \pm 0,18 \text{ g kg}^{-1}$) e 30-50 cm ($4,83 \pm 0,20 \text{ g kg}^{-1}$) comparados ao EP ($10,83 \pm 0,58 \text{ g kg}^{-1}$, $9,40 \pm 1,18 \text{ g kg}^{-1}$, $4,86 \pm 0,29 \text{ g kg}^{-1}$ e $3,84 \pm 0,19 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente) (Figura 14). Considerando a profundidade de 0-100 cm, o teor de C total do solo no EP é 24,6% menor do que na FP, sendo essa redução mais evidenciada na profundidade de 0-10 cm (33,43%). No geral, 84,99 % e 86,27 % estão concentrados nas camadas de 0-50 cm de solo no EP e FP, respectivamente.

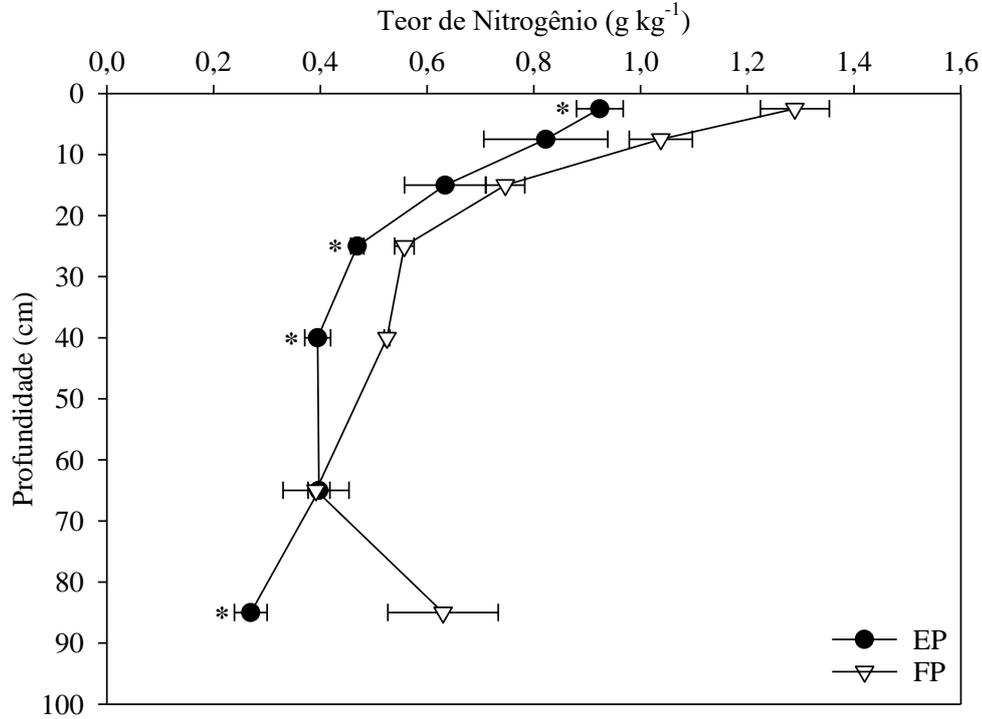
Figura 14 – Teor de carbono do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP). *Diferença estatística significativa, pelo teste t de Student ($P < 0,05$), entre as médias em cada profundidade (média \pm erro-padrão, $n = 4$).



Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Comparações entre os teores de N no solo (Figura 15), mostraram que houve diferenças significativas entre os dois sistemas, sendo que no solo sobre floresta primária, esses teores foram maiores do que no plantio de eucalipto nas profundidades 0-5 cm (FP - $1,29 \pm 0,06$ e EP - $0,92 \pm 0,04$ g kg⁻¹), 20-30 cm (FP - $0,56 \pm 0,02$ e EP - $0,47 \pm 0,01$ g kg⁻¹) e 70-10 cm (FP - $0,63 \pm 0,10$ e EP - $0,27 \pm 0,03$ g kg⁻¹). Considerando o teor de N total nos sistemas (0-100 cm), a FP apresentou maiores valores comparadas ao EP.

Figura 15 – Teor de nitrogênio do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP). *Diferença estatística significativa, pelo teste t de Student ($P < 5\%$), entre as médias em cada profundidade (média \pm erro, $n = 4$).



Na floresta primária os estoques de C do solo foram significativamente maiores do que no plantio de eucalipto nas camadas 0-5, 5-10, 20-30 e 30-50 cm (Tabela 4). As camadas superficiais (0-30 cm) representam 47,41 % do C estocado neste solo em relação ao total (0-100 cm); no plantio de eucalipto estas mesmas camadas representam 44,01 %. O estoque de N seguiu padrão semelhante ao de C, sendo encontrados valores maiores na FP do que no EP nas profundidades 0-5, 20-30, 30-50 e 70-100 cm. Na FP 34,16 % do estoque de N total está na profundidade de 0-30 cm, no EP esta mesma profundidade apresenta valores que representam 40,96 % do total de N estocado. De modo geral, os estoques de C e N (0-100 cm) foram maiores no sistema floresta primária do que no plantio de eucalipto.

Tabela 4 – Estoque de carbono e nitrogênio solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragomias, PA.

Prof. (cm)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)		Estoque de N (Mg ha ⁻¹)	
	Eucalipto	Floresta	Eucalipto	Floresta
0-5	4,94 ± 0,26*	7,66 ± 0,46	0,42 ± 0,02*	0,57 ± 0,03
5-10	4,57 ± 0,57*	6,51 ± 0,36	0,40 ± 0,06	0,50 ± 0,03
10-20	7,11 ± 0,96	9,55 ± 0,79	0,66 ± 0,08	0,83 ± 0,04
20-30	5,69 ± 0,34*	8,15 ± 0,28	0,55 ± 0,01*	0,73 ± 0,02
30-50	9,22 ± 0,58*	11,24 ± 0,48	0,95 ± 0,06*	1,22 ± 0,01
50-70	8,74 ± 0,48	9,94 ± 1,10	0,99 ± 0,05	0,94 ± 0,15
70-100	10,42 ± 0,41	14,15 ± 1,72	1,00 ± 0,11*	2,93 ± 0,67
0-100	50,70	67,20	4,97	7,73

*Diferença estatística, pelo teste *t* de Student ($p < 5\%$), entre as médias dos sistemas em cada profundidade (média ± erro-padrão, $n = 4$).

2.3.7 Teores de nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺)

Dos períodos avaliados, ago/14 foi o mês em que houve os maiores teores de NH₄⁺ na FP (7,20 ± 0,70 µg N g⁻¹). No EP os maiores teores ocorreram em abr/14 (3,94 ± 0,55 µg N g⁻¹) e ago/14 (3,17 ± 0,28 µg N g⁻¹). Entre os sistemas ocorreram diferenças significativas nos meses de dez/14 e ago/14, sendo os teores maiores no solo sobre FP (Figura 16a).

O teores de NO₃⁻ do solo (Figura 16b) foram maiores no mês de abr/14 em ambos os sistemas (14,18 ± 1,39 em EP e 29,21 ± 1,71 µg N g⁻¹ em FP) e apresentaram diferenças significativas com valores superiores entre eles.

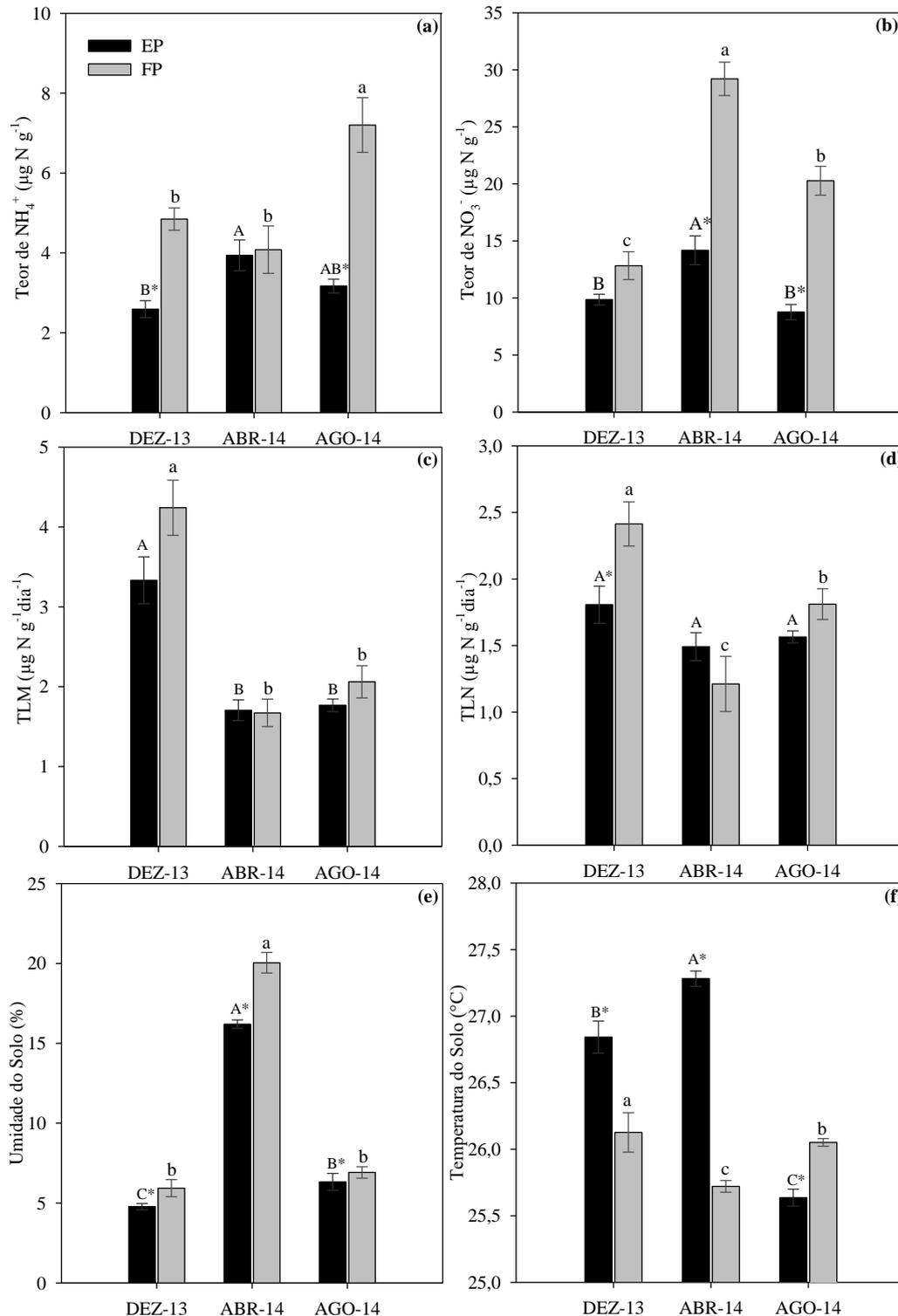
Tanto a TLM quanto a TLN (Figura 16c e 16d) foram superiores no mês de dez/13 em FP (4,24 ± 0,40 e 2,41 ± 0,23 µg N g⁻¹ dia⁻¹), porém no EP não houve diferenças significativas entre os períodos avaliados. Não houve diferenças significativas na TLM entre os sistemas em todos os meses avaliados, já a TLN, apenas no mês de dez/13, foi superior na floresta primária em comparação ao plantio de eucalipto. Nos demais períodos de avaliação não houve diferenças estatísticas entre os sistemas.

A umidade do solo (Figura 16e) no EP (16,20 ± 0,51 %) e FP (20,05 ± 0,80 %) foram maiores em abr/14 e em todos os períodos avaliados houveram diferenças significativas entre

os sistemas, com valores superiores na FP.

Quanto a variação na temperatura do solo (Figura 16f) no EP foi diferente em todos os meses avaliados, sendo maior em abr/14 ($27,28 \pm 0,06$ °C). Em ago/14, em média, a temperatura do solo em FP foi superior que EP.

Figura 16 – Teores de amônio (NO_3^-) - (a), teores de nitrato (NH_4^+)- (b), taxa líquida de mineralização (TLM) - (c), taxa líquida de nitrificação (TLN) - (d), umidade - (e) e temperatura - (f) em solos em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP). Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para EP e minúsculas para FP, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Asteriscos indicam diferenças significativas entre os sistemas dentro de cada período.



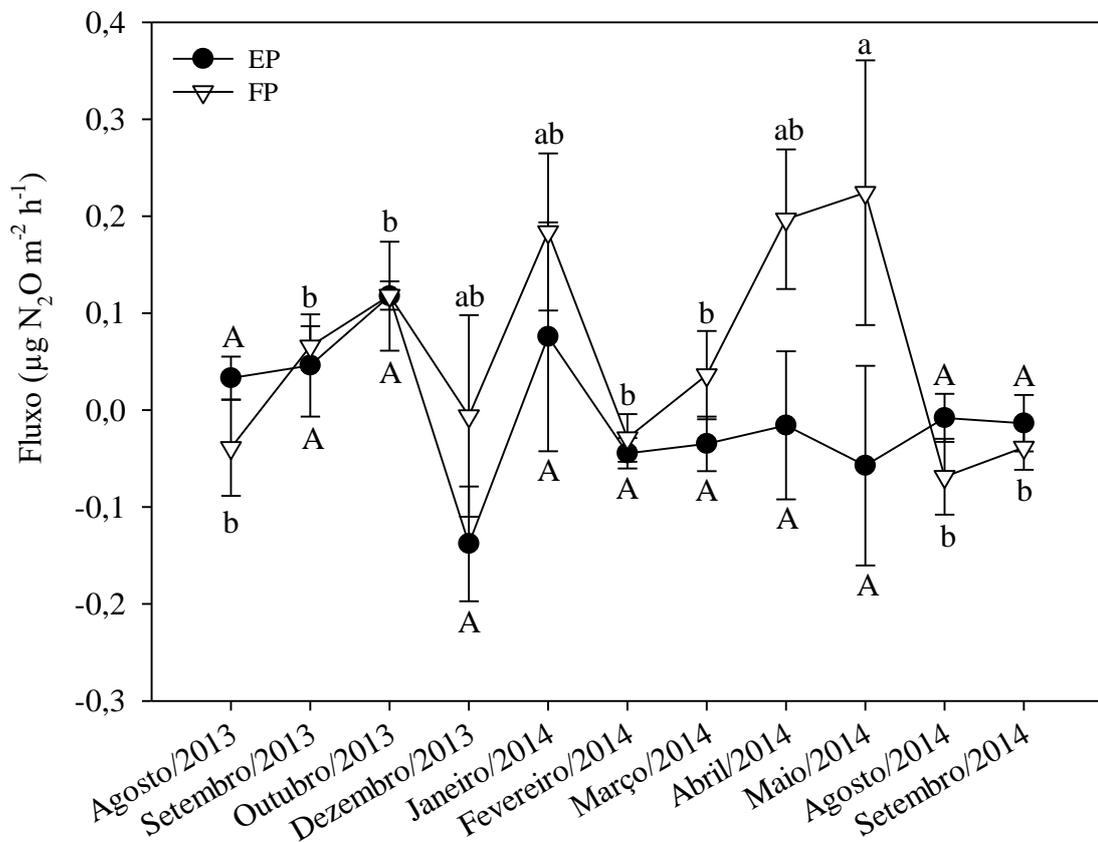
Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

2.3.8 Fluxo de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4)

Os resultados de óxido nitroso nos meses de jun/14 e jul/14 foram discrepantes em relação aos demais ($3,03 \pm 4,43$ e $3,36 \pm 3,96 \mu\text{g N} - \text{N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ respectivamente), por isso não foram adicionados no gráfico da figura 17. Em novembro de 2013 não foi possível realizar as coletas.

O fluxo de N_2O no EP não apresentou diferenças significativas entre todos os meses avaliados. Na FP as maior emissão ocorreu no mês de maio de 2014 ($0,22 \pm 0,11 \mu\text{g N} - \text{N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). O fluxo total de nitrogênio proveniente do óxido nitroso, considerando os onze meses foi de $0,64 \mu\text{g N} - \text{N}_2\text{O m}^{-2}$ na floresta primária e $-0,04 \mu\text{g N} - \text{N}_2\text{O m}^{-2}$ no plantio de eucalipto.

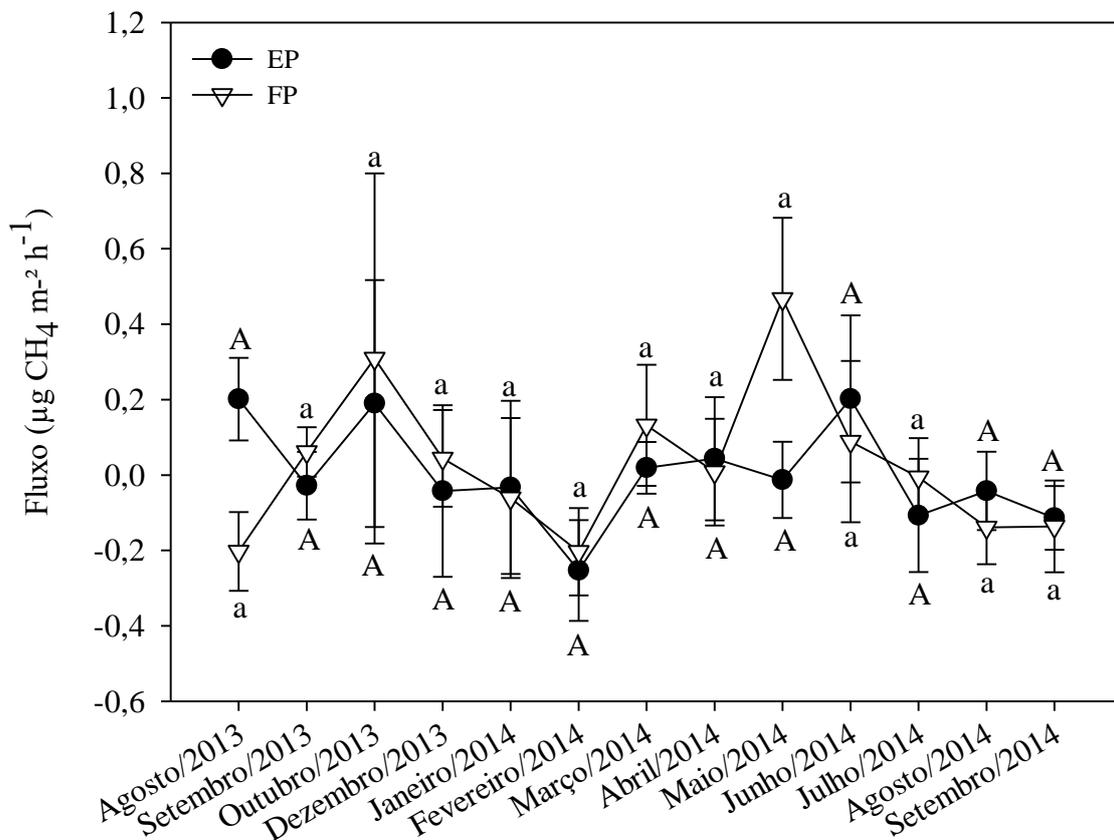
Figura 17 – Fluxo de óxido nitroso (N_2O) do solo em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP) em Paragominas, PA. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para EP e minúsculas para FP, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 – 2014.

O fluxo de CH_4 (figura 18) nos dois sistemas não apresentaram diferenças significativas entre os meses de avaliação, nem entre a FP e o EP. Considerando o total dos doze meses de avaliação, a floresta primária apresentou emissão estimada de $0,36 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2}$ e o plantio de eucalipto $0,02 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2}$.

Figura 18 - Fluxo de metano (CH_4) do solo em plantio de eucalipto (EP) e floresta primária (FP). Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para EP e minúsculas para FP, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

2.4 Discussão

2.4.1 Litter, Litterfall e decomposição da liteira

A produção anual de *litterfall* total (Figura 7) e da fração não-lenhosa da floresta primária foi maior do que no plantio de eucalipto com 3,5 anos de idade. Resultados

semelhantes foram encontrados na floresta nacional de Caxiuanã, onde Silva et al., (2009) estima um aporte total anual entre 9,79 e 8,87 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Esse valor de aporte anual de liteira na FP também é semelhante aos encontrados em florestas tropicais úmidas e subtropicais (Arato et al., 2003), além da semelhança com florestas semidecíduais, apresentando 11,59 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Diniz; Pagano, 1997) e floresta ciliar, 10,50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Carpanezzi, 1980).

Schumacher et al. (2013), em trabalho realizado em eucalipto *E. urophylla* x *E. globulus maidenii*, encontrou valor de produção anual de liteira semelhante ao plantio de eucalipto do presente estudo; assim como para outras espécies do gênero (BALIEIRO et al., 2004; SOUZA; DAVIDE, 2001; ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). Estudo feito por Neto et al. (2013) encontraram valores de *litterfall* total 3,82 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em um plantio com a mesma espécie e idade avaliada neste estudo, porém nas condições climáticas de Minas Gerais, sugerindo que esse aporte varia de acordo com as condições de clima e solo onde o plantio se estabelece. Da mesma forma, Inkkote et al. (2015) encontrou um aporte total anual de 7,39 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em *Eucalyptus dunnii* em Santa Catarina. Essas diferenças entre EP e FP podem estar associadas a maior densidade e quantidades de espécies vegetais diferentes presentes em florestas primárias, se comparado a um monocultivo de eucalipto.

O aporte de material não-lenhoso no EP representou 70,46 % do *litterfall* anual, sendo este valor semelhante ao encontrado por Schumacher et al. (2013) em povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus maidenii*. Os resultados deste mesmo autor indicaram não haver correlação entre o aporte de liteira e a precipitação, o que corrobora com os resultados encontrados no plantio de eucalipto no presente estudo (Tabela 3 e Figura 9a). Já Barlow et al. (2007) encontraram correlação positiva entre aporte mensal de materiais não-lenhosos de *E. urophylla*, com 4-5 anos de idade, e a precipitação mensal em clima com estação seca na Amazônia.

Os períodos menos chuvosos e mais quentes, promoveram menor aporte de materiais não-lenhosos na FP (Tabela 3, Figura 9a e Figura 10a), como essa fração representou 79,46 % *litterfall* anual, essas mesmas variáveis influenciaram na quantidade deste aporte (Figura 7). Sanches et al. (2009) encontraram correlações negativas entre a precipitação e o *litterfall* em uma floresta tropical de transição, da mesma forma que Costa et al. (2014) também encontraram correlações inversas na floresta nacional de Caxiuanã. Fisiologicamente, algumas espécies vegetais, em situação de baixa disponibilidade de água e temperaturas mais elevadas, tendem a aportar maiores quantidades de materiais não-lenhosos, principalmente folhas, como forma de reduzir suas superfícies de transpiração para economizar água. Devido

a variedade de espécies em uma floresta, normalmente estas apresentam caráter sazonal quanto ao aporte de materiais formadores de liteira.

O coeficiente de decomposição da liteira na floresta primária foi maior do que no plantio de eucalipto. Maiores valores de K, indicam maior velocidade de decomposição de literia, e conseqüentemente promove maior ciclagem de nutrientes nos sistemas. Valores de K maiores que 1, normalmente são encontrados em florestas tropicais (PIRES et al., 2006). Em plantações de eucalipto, Zaia e Gama-Rodrigues (2004) encontraram valores de K entre 0,51 e 1, semelhante ao verificado no plantio de eucalipto do estudo (1,17), e associaram essa variação aos teores de lignina nos tecidos. Além disso, sabe-se que a composição química de material vegetal e o clima influenciam na velocidade de decomposição da matéria orgânica.

O tempo necessário para que 50 % da liteira seja decomposta na floresta primária é de 0,42 ano e no plantio de eucalipto 0,59 ano. Essas velocidades de decomposição explicam o fato de o plantio de eucalipto do estudo aportar menor quantidade de liteira durante o ano, mas apresentar estoques de liteira com valor aproximado ao da floresta nativa. Alguns estudos mostram que folhas de eucalipto apresentam características de se decomporem mais lentamente, embora apresentem variações entre espécies (Louzada et al., 1997; Gama-Rodrigues; Barros, 2002). Essa variação pode ser causada por diferenças nas concentrações de nutrientes, nos teores de lignina, relação C/N do material e variação no ambiente onde os plantios se desenvolvem (Guo; Sims, 1999). Este resultado também pode ser explicado pela presença de matérias foliares e lenhosos de outras espécies dentro do plantio de eucalipto, observados durante as coletas, que de certa forma não contribuíram para o *litterfall* total estimado na área.

2.4.2 Densidade do solo

A densidade do solo (Figura 13) na superfície do plantio de eucalipto apresentou valores semelhantes aos da floresta primária, pois além da contribuição da liteira como depósito de matéria orgânica para o solo, observou-se uma grande quantidade de gramíneas e outras plantas herbáceas no talhão avaliado, o que pode ter contribuído para que a densidade neste sistema atingisse valores próximos ao da floresta primária. Além disso, a passagem de máquinas nestes cultivos ocorre com baixa frequência, diminuindo possíveis compactações no solo causada pelo manejo. Já nas profundidades de 5-10 ($0,97 \pm 0,02$ g cm⁻³) e 10-20 cm ($1,05 \pm 0,03$ g cm⁻³) do EP, foram menores do que a densidade do solo da FP. Provavelmente o preparo mecanizado da área (gradagem e subsolagem) para receber o plantio de eucalipto

contribuiu para esses resultados. A gradagem e a subsolagem afetam as propriedades físicas do solo, reduzindo a densidade nas camadas mais superficiais do solo (Cavichiollo et al., 2005). Resultados semelhantes foram encontrados por Gatto et al. (2003), que avaliando o efeito do revolvimento na densidade de um Latossolo Vermelho em plantios de *eucalyptus grandis*, observou menores valores de densidade nas camadas de 0-10 ($0,98 \pm 0,03 \text{ g cm}^{-3}$) e 10-20 cm ($1,07 \pm 0,04 \text{ g cm}^{-3}$) comparadas a área sem ação antrópica.

Na FP a densidade do solo foi menor nas profundidades de 20-30 e 30-50 cm em comparação ao EP. Sabendo-se que a matéria orgânica melhora as propriedades físicas do solo, principalmente reduzindo a densidade dos mesmos, provavelmente os maiores teores de carbono (Figura 14) encontrado nestas camadas contribuíram para este resultado, pois geralmente o carbono do solo está associado à presença de matéria orgânica, além de se tratar de um ecossistema estável com deposição constante ao longo dos anos de material lenhoso e não-lenhoso. Embora no estudo não tenha feito comparações entre as profundidades dentro de um mesmo tratamento, observa-se que nos dois sistemas a densidade aumentou das camadas superficiais às camadas mais profundas, corroborando com os resultados de Parras-Alcántara (2015) avaliando quatro tipos de solos diferentes. Esse comportamento está relacionado a pressão da massa de solo das camadas superiores sobre as inferiores, acompanhada da redução contínua dos teores de matéria orgânica em profundidade no solo (Cavenage et al., 1999).

2.4.3 Teores e estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo

Os teores de C no solo (Figura 14) foram maiores nas camadas superficiais e diminuíram progressivamente em profundidade. Este padrão pode estar associado ao acúmulo de matéria orgânica promovido pelo constante aporte de material vegetal (folhas, galhos, cascas de árvores) na superfície, além da contribuição do acúmulo de raízes apogetrópicas. No entanto, essas influências diminuem à medida que a profundidade aumenta. Comportamento semelhante foi encontrado por Sisti et al. (2004) estudando solo em vegetação nativa e em cultivos com rotação de culturas no sul do país; e por Neves et al. (2004) estudando solos de cerrado nativo e sistemas agrossilvipastoris implantados com eucalipto no estado de Minas Gerais.

Na FP os teores C das camadas superficiais (0-50) foram maiores do que na EP. Considerando que os aportes de liteira (Figura 7) e a taxa de decomposição foram maior na floresta primária avaliada, certamente esses fatores contribuíram para os maiores teores de C

encontrados neste sistema. Denardin et al. (2014), avaliando os teores de C até 50 cm de profundidade em floresta natural e plantio de eucalipto em Chapecó-SC, encontrou tendências semelhantes às descritas na pesquisa.

Os teores totais de C solo (0-100 cm) no EP é 24,6% menor do que na FP. Isso mostra que o plantio de eucalipto com 3,5 anos, precedido por pastagem, não recuperou totalmente os teores de C encontrados quando a área estava sob floresta primária. Esses resultados mostram que interferências antrópicas, principalmente aquelas relacionadas a mudanças no uso da terra com preparo mecanizado do solo, desestrutura os agregados do solo, expõe sua superfície aos impactos das gotas de chuva e aumenta a oxidação de compostos orgânicos, causando redução nos teores de carbono (Neves et al., 2004). A maior parte das teores de C nos dois sistemas estão na camada 0-50 cm de solo, representando 84,99 % e 86,27 % no EP e FP, respectivamente. Semelhanças a esse comportamento foram verificados por Batjes (2014) avaliando os teores de C em diversos tipos de solos, com variações entre 58 e 81 % deste elemento encontrados nesta mesma profundidade.

Como esperado, os teores de N na camada mais superficial do solo (0-5) (Figura 15), foi maior na FP ($0,92 \pm 0,04 \text{ g kg}^{-1}$) do que no EP ($1,29 \pm 0,06 \text{ g kg}^{-1}$), pois a contínua deposição de material orgânico de diferentes qualidades na FP e maiores concentrações de C do solo (Figura 14), associada a altas umidades em florestas tropicais, aceleram os processos microbianos e conseqüentemente a mineralização da matéria orgânica; disponibilizando nitrogênio e outros nutrientes para o sistema (Davidson, 1994). Nas profundidades de 0-20 cm foram encontrados os maiores teores de N nos dois sistemas; semelhante ao encontrado por Wink et al. (2015) em plantios de *Eucalyptus grandis* com 3,5 anos de idade ($2,60 \text{ g kg}^{-1}$) e *Eucalyptus* sp de 20 anos de idade ($2,69 \text{ g kg}^{-1}$) comparando com campo natural ($3,62 \text{ g kg}^{-1}$), e concluiu que a mudança no uso da terra pode promover reduções nos teores deste nutriente.

Os estoques de C e N total do solo (Tabela 4) foram maiores na floresta primária do que no plantio de eucalipto, considerando-se as profundidade de 0-100 cm. Por se tratar de um sistema em equilíbrio, com maior deposição de material formador de serrapilheira ao longo de vários anos e com espécies que apresentam sistemas radiculares profundo e em constante desenvolvimento, este resultado era esperado. Para ambos os sistemas, embora em níveis diferentes, os estoques tenderam a aumentar em profundidade. Este comportamento varia dependendo do tipo de solo. Gatto et al. (2010), em Minas Gerais, estudando os estoques de carbono em diferentes tipos de solos e profundidades sobre plantio de eucalipto, encontrou maiores valores de estoque de carbono nas camadas superficiais, contrastando com os resultados desta pesquisa. Sendo assim, estes resultados podem estar relacionado a

contribuição da argila em profundidade, pois este mineral pode promover “proteção” da matéria orgânica da ação dos microrganismos decompositores, que encontram dificuldade em remove-los quando estão adsorvidos na superfície deste mineral (Christensen, 1996; Sollins et al., 1996), o que pode ser reforçado pelos teores de argilas demonstrados na (Tabela 1).

2.4.4 Teores de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+)

Os teores totais N - inorgânico (Figura 16a e 16b) foram maiores na floresta primária em comparação com o plantio de eucalipto, considerando os três períodos de avaliação. O teor total de amônio no EP foi de $9,70 \mu\text{g N} - \text{NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$ e na FP $16,13 \mu\text{g N} - \text{NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$. O teor de total amônio no EP foi de $32,80 \mu\text{g N} - \text{NO}_3^- \text{ g}^{-1}$ e no FP $62,31 \mu\text{g N} - \text{NO}_3^- \text{ g}^{-1}$. Em ecossistemas florestais, a mineralização da matéria orgânica é considerada alta, mesmo ocorrendo variações relacionadas com as condições climáticas ao longo do ano. Segundo Sainju et al. (2007) o estoque de N mineralizado no solo de um sistema florestal é dependente do balanço entre o aporte de N via aporte de liteira, das perdas por lixiviação e volatilização e/ou da exportação do nutriente via extração madeireira.

O amônio é o primeiro elemento formado no ciclo biológico do N no solo, por isso há uma tendência natural de apresentar maiores concentrações na superfície do solo dessa forma de N, quando comparados a sistemas que produzem menos matéria orgânica. De acordo com Coelho et al., (1991) a maior quantidade de microbiota em solos de sistemas florestais colabora de forma positiva para a redução da lixiviação do NO_3^- . E essa intensa atividade microbiológica associada ao constante aporte de biomassa de diferentes qualidades nesses ecossistemas, promovem maior disponibilidade dessas formas de N no solo (Arunachalam et al. 1998). Sendo assim, os meses de baixa pluviosidade limita a atividade microbiológica, reduzindo a quantidade de N dentro ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas (Shvaleva et al., 2013).

Em monocultivos, sendo sistemas alterados, apresentam a desvantagem de predominar materiais vegetais depositados no solo de qualidade uniforme, como no caso do eucalipto. Essa espécie apresenta uma baixa taxa de decomposição no solo (Guo; Sims, 2001) e associado ao fato de que geralmente são implantados em áreas já alteradas com pastagem, é de se esperar que os teores de N - inorgânico dos solos sobre esses cultivos sejam menores. Adubações químicas podem garantir disponibilidade desses nutrientes para os cultivos, mas como já mencionado, na fazenda onde o estudo foi desenvolvido as adubações ocorrem anualmente, e provavelmente os efeitos das adubações logo cessam, pois o desenvolvimento

do eucalipto é rápido e exige uma grande disponibilidade de N e outros nutrientes no solo.

Os teores de nitrato foram superiores, nos dois sistemas, em ago/14 onde ocorreu a maior precipitação (Figura 7a) e conseqüentemente onde a umidade do solo foi maior (Figura 16e). Umidade, desde de que não excessiva, favorece a atividade dos microrganismos decompositores no solo (Zhang; Zak, 1998), e por esta razão esses teores foram mais elevados em ago/14 do que nos demais períodos avaliados.

Em um estudo comparando diversos sistemas no município de Paragominas, Oliveira et al., (2016) verificou que a floresta secundária apresentou maiores valores nos teores de nitrato maiores do que um sistema de ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) contendo Eucalipto (*Eucalyptus* ssp.) Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Mogno Africano (*Khaya ivorensis*).

Em relação à avaliação dos teores de amônio na profundidades de 0-10 cm, dentro de cada sistema, a floresta primária apresentou valores maiores do que no EP nos meses de Dez/13 e Ago/14. Resultados semelhantes também foram encontrados em pesquisa realizada também no município de Paragominas por El-Husny (2010) e Oliveira et al., (2016), onde os maiores valores de teor de amônio foram verificados no mês de julho. De acordo com Reichardt (1996), solos sob floresta de terra firme, possuem uma natureza nutricional considerada pobre, porém com uma boa capacidade de troca catiônica, promovendo resistência a lixiviação dos nutrientes, aumentando a eficiência na assimilação pela vegetação.

Tanto na FP quanto no EP as formas predominantes de N mineral em todos os meses de avaliação foi o nitrato (dez/13 – EP: 73,70 % e FP: 62,22 %); abr/14 – EP: 72,22 e FP 86,03%) e ago/14 – EP: 63,82 % e FP: 64,47 %). Alguns contrastes a esses resultados foram encontrados em solos de ecossistemas tropicais (Neill et al., 1997; Nardoto, 2000; Sierra; Marbán, 2000).

As maiores TLM e TLN da floresta primária ocorreram em dez/13, não acompanhando os maiores teores de nitrato e amônio neste período. Geramente, temperatura e umidade mais elevada no solo contribuem para uma menor taxa de mineralização e nitrificação, devido a imobilização do N, porém neste estudo o comportamento foi inverso, pois em dez/13 foram registradas temperaturas elevadas no solo dos dois sistemas, bem como baixa umidade também. Esse resultado exibe ainda a condição de que quando o solo sob Floresta possivelmente está em uma taxa líquida de mineralização satisfatória, que é quando mineralização da matéria orgânica é superior à assimilação do N mineral pela população microbiana, pois de acordo com Dynia e Camargo et al. (1999) quando um sistema demanda uma população microbiana é satisfeita as concentrações de nitrogênio mineralizado consegue

aumentar no solo. Taxas de mineralização podem ser reduzidas devido a lixiviação de compostos alifáticos de plantas e pela baixa qualidade dos materiais vegetais (Gallardo & Merino, 1992), resultando em baixa disponibilidade de N mineral no solo e redução na taxa de nitrificação no solo (Shvaleva et al., 2013).

2.4.5 Fluxo de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4)

Comparando o fluxo de óxido nitroso entre os meses avaliados no plantio de eucalipto, não foram observadas variações, segundo análise estatística. Na floresta primária, houve maior emissão no mês de maio de 2014 (Figura 17). Apesar da diferença nos meses anteriores (abr/2014 e mar/14), nota-se que o fluxo tende a aumentar. Essa maior emissão de óxido nitroso está relacionada a maior atividade microbiana, no solo do sistema FP, favorecendo o processo de nitrificação, onde esse gás é liberado para a atmosfera. Essa maior atividade microbiana no período, pode ser confirmada pelo maior teor de nitrato encontrado no mês de abr/14 (Figura 16b), maior precipitação nos meses de março, abril e maio de 2014 (Figura 7a) e pela maior umidade do solo encontrada em abril de 2014 (Figura 16e). Segundo Shvaleva et al., (2013) o nível de deposição de N e NO_3^- no solo pode promover a liberação repentina de N_2O dentro de um sistema.

Considerando os onze meses avaliados, o fluxo total de de óxido nitroso no EP foi menor comparado a FP. Esse maior fluxo na floresta ocorreu devido ao maior aporte de material vegetal de diferentes qualidades sobre o solo, a maior conservação da umidade do e aos maiores teores de nitrato e amônia do solo. As relações entre o fluxo de N_2O do solo sugerem que os processos de desnitrificação do solo contribuíram para a maior emissão de N_2O nos meses abr/14 e mar/14 do que nos demais meses avaliados, quando a nitrificação foi provavelmente o processo dominante.

O fluxo de CH_4 não variou entre o EP e a FP, nem entre os meses avaliados. De qualquer forma, a floresta nativa emitiu maiores quantidades deste gás do que o plantio de eucalipto. Existe uma forte relação entre o sistema, o fluxo de CH_4 dentro do sistema, e o estado da água no solo (Steudler et al., 1996, Mosier et al., 1998, Verchot et al., 2000), mas isso não é uma regra geral (Fernandes et al., 2002). Em condições de solo de alta saturação por água, as condições anóxicas aumentam, e a difusão de CH_4 para os microrganismos na subsuperfície é restrita (Ball et al., 1997).

2.5 Conclusão

O aporte de liteira anual é maior em florestas tropicais primárias do que em plantios de eucalipto (clone I144) com 3,5 anos de idade e é influenciado pela sazonalidade da região. Porém, o estoque de liteira anual nesses dois sistemas não apresentam grandes diferenças devido a baixa taxa de decomposição da biomassa proveniente do eucalipto. O preparo mecanizado para implantação do plantio de eucalipto, diminuiu a densidade do solo nas camadas superficiais, mas promoveu perdas de matéria orgânica no sistema. O estoque de carbono e nitrogênio total do solo foi maior na floresta primária do que no plantio de eucalipto, assim como os teores de N-inorgânico e os fluxos de óxido nitroso e metano.

De modo geral, a conversão da floresta primária em empreendimentos agrícolas com monocultivos não sustentáveis alteram a dinâmica do carbono e nitrogênio do solo sobre essas áreas alteradas.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011/ABRAF. - Brasília: 2012. 150p. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2015.
- ABRAF. anuário Estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília, DF: ABRAF, 2013. 142 p.
- ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, L. G. T. Diagnóstico agrícola do município de Paragominas, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), 2014. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 91).
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. D. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*, v. 27, n. 5, p. 715–721, 2003.
- BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; PEREIRA, M. G.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 6, p. 597-601, jun. 2004.
- BALL B.C.; DOBBIE K.E.; PARKER J.P.; SMITH K.A. The influence of gas transport and porosity on methane oxidation in soils. *Journal of Geophysical Research –Atmospheres*. 1997.
- BARLOW, J.; GARDNER, T.A.; FERREIRA, L.V.; PERES, C.A. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.247, n.1-3, p.91-97, 2007.

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; FIGUEIRÊDO, R. O.; SILVA, G. F. G. Características Agroclimáticas do Município de Paragominas. Embrapa, ISSN 1517-2201, p. 21, 2005.

BINKLEY, D. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. In: Mead DJ, Cornforth IS (eds) Proceedings of tree species and soil workshop. Agronomy Society of New Zealand Special Publication #10. Canterbury, NZ: Lincoln University Press, pp 1–33. 1996.

BLANCO J.A.; IMBERT J.B.; CASTILLO F.J.; Nutrient return via litterfall in two contrasting Pinussylvestris forests in the Pyrenees under different thinning intensities. For Ecol Manag 256:1840–1852. 2008.

BLANCO JA, WEI X, JIANG H, JIE CY, XIN ZH. Impacts of enhanced nitrogen deposition and soil acidification on biomass production and nitrogen leaching in Chinese fir plantations. Can J For Res 42:437–450. 2012.

COELHO. A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. & GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio N em um Latossolo Vermelho –escuro, sob vegetação de cerrado cultivado do com milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 15, p.187-193. 1991.

COUTO, L.; NICHOLAS, I.; LYNN WRIGHT, L. Short Rotation Eucalypt Plantations for Energy in Brazil. IEA bioenergia. 2011. 17p.

De Oliveira P. C. R.; Paula M. T.; El-Husny J. C.; Da Silva R. C. Nitrato e amônio na solução do solo sob diferentes usos agrícolas, no município de Paragominas-PA. Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales. 2016. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2016/03/nitrato.html>

DIAZ-MAROTO I.J.; VILA-LAMEIRO P. Seasonal evolution soil chemical properties and macronutrients in natural forests of Quercus robur L. in Galicia. Spain-Agrochim v.49. 201–211. 2005.

DYNIA, J. F. & CAMARGO, O. A. Retenção de Nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação nitrogenada e calagem. Pesq. agropec. bras. Brasília, v. 34, n. 1, p. 141-144, jan. 1999.

EL-HUSNEY, J. C. Avaliação de indicadores de qualidade de um Latossolo Amarelo em sistema de integração lavoura-pecuária no município de Paragominas, estado do Pará. 2010. 228 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, Belém.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, 2009.p. 370.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 2011. 230p.

FERNANDES, F. C. S.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Produção e decomposição da liteira em fragmento florestal em Campo Verde (MT). Revista de Ciências Agrárias, Belém, n. 47, p.

173-186. 2007.

GALLARDO A.; MERINO J. Nitrogen immobilization to leaf litter at two Mediterranean ecosystems of SW Spain. *Biogeochemistry*. 1992.v.15.pp.213–228.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; LOBATO, F. A. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARRAE, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. Litter productivity and deposition in area of Caatinga. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 3, n. 2, p. 72–79, 2009.

LU W.L.; LIU C.P. Patterns of litterfall and nutrient return at different altitudes in evergreen hardwood forests of central Taiwan. *Ann For Sci* v.69. 877–886. 2012.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, v. 44, n. 2. p.322-331. 1963.

PAGANO, S. N. Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 49, n. 3, p. 633-639, 1989.

PIRES, L. A.; BRITTEZ, R. M.; MARTEL, G.; PAGANO, S. N. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 173-184, 2006

REICHARDT, K. 1996. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2a. ed., USP/ESALQ. Piracicaba, São Paulo. 513pp.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; JÚNIOR, R. C. O.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará. *Embrapa*, v. ISSN 1517-2201, p. 55, 2003.

RODRIGUEZ G. H.; LOZANO R.R.G.; SILVA C. I.; GOMEZMEZA M.V.; CORREA C. M.; PARRA C.A.; CASTILLO M.J.J. Litter fall production and nutrient returns through leaves in a microphyllus desert scrub, northeastern Mexico. *Rev Chapingo Ser Ciencia* 19:249–262. 2013.

SAINJU, U.M.; SINGH, B. P. WHITEHEAD, W. F. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, p. 1622-1631, 2007.

SCHLAMADINGER, B.; BIRD, N.; JOHNS, T.; BROWN, S.; CANADELL, J.; CICCARESE, L.; et al. A synopsis of land use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords. *Environmental Science & Policy*, v.10, n.4, p.271-282., (2007)

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, G. M.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. *Floresta e Ambiente*, v. 2, n. 2, p. 01–18, 2012

SHANKS, R.; OLSON, J. First-year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forests. *Science*, v. 134, p. 194-195, 1961.

- SHVALEVA, A.; SILVA F.C.; COSTA J. M.; CORREIA A.; ANDERSON M.; LOBO-DO-VALE R.; et al. Comparison of methane, nitrous oxide fluxes and CO₂ respiration rates from a mediterranean cork oak ecosystem and improved pasture. *Plant Soil*. Pp.883–898. 2014.
- SOUZA, A.; DAVIDE, A. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de Eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. *Cerne* 7: p.101-113. 2001.
- SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. *Cerne, Lavras*, v. 7, n. 1, p. 101-113, 2001.
- STERN, N. *The economics of climate change: The stern review*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 712p.
- VELDKAMP, E. *Soil Organic Carbon Dynamics in Pastures Established After Deforestation in the Humid Tropics of Costa Rica*. PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen. 1993.
- VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 17, n. 4, p. 137-167, 1986.
- WATANABE, T.; FUKUZAWA, K.; SHIBATA, H. Temporal changes in litterfall, litter decomposition and their chemical composition in *Sasa* dwarf bamboo in a natural forest ecosystem of northern Japan. *J For Res* v.18.p.129–138. 2013.
- WATRIN, O. S.; ROCHA, A. M. A. Levantamento de vegetação natural e uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/Landsat. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), 1992. 40p. (Boletim de Pesquisa, 124).
- WRIGHT, J.A.; DINICOLA, A.; GAITAN, A. Latin American Forest plantations - Opportunities for carbon sequestration, economic, development and financial returns. *Journal of Forestry*, 98: 20-23, 2002.
- ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. *Revista Brasileira Ciência Solo*, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 843-852, 2004.
- ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. de S.; CARVALHO, A. M. de. Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2014. 53p. (Documento 265)
- ZHANG, H.; GUAN, D.; SONG, M. Biomass and carbon storage of *Eucalyptus* and *Acacia* plantations in the Pearl River Delta, South China. *Forest Ecology and Management*, v.277, p.90-97, 2012.

3 ESTOQUES DE LITEIRA E DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM PLANTIOS DE *Eucalyptus urograndis* E *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* EM PARAGOMINAS, PARÁ

RESUMO

Plantios comerciais de paricá e eucalipto, na região amazônica, estão concentrados principalmente no Estado do Pará, especialmente no município de Paragominas. Estas espécies apresentam rápido crescimento e alta capacidade de se adaptarem a solos com baixa fertilidade, o que desperta o interesse de produtores. Objetivou-se neste trabalho estimar a produção e o estoque de liteira em plantios comerciais de eucalipto e paricá, bem como avaliar os estoques de carbono e nitrogênio do solo sob esses cultivos. Foi selecionado um plantio de eucalipto (*E. urograndis*) (EV) com 3,5 anos de idade e um de plantio de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) (PV) com 3,5 anos de idade na fazenda Vale Verde, localizada em Paragominas. Para coleta do material formador de liteira, foram instalados, aleatoriamente, coletores com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixos nas áreas durante todo o período experimental. Para estimativa dos estoques de liteira, em pontos aleatórios das parcelas, foram coletados todos os materiais vegetais contidos em 0,25 m², utilizando-se uma grade metálica de 0,5 x 0,5 m. Amostras de solos foram coletadas para quantificação dos estoques de carbono e nitrogênio do solo. O *litterfall* total anual exibiu resultados significativamente diferente entre os sistemas, sendo maior no PV 8,72 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ do que no EV 5,93 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A fração não-lenhosa desse material apresentou maior contribuição para o total aportado, representando 74,70 % no EP e 86,24% na PV. As maiores quantidades de liteira acumulada no solo foram verificadas no PV. Não houve diferenças nos estoques de carbono e nitrogênio total do solo entre os sistemas.

Palavras-Chave: Mudança no uso da terra; renovação da liteira; reflorestamento; taxa de decomposição

ABSTRACT

Commercial seedlings of paricá and eucalyptus, in the Amazon region, are mainly concentrated in the State of Pará, especially in the municipality of Paragominas. These species show rapid growth and high capacity to adapt to soils with low fertility, which arouses the interest of producers. The objective of this work was to estimate the litter production and stock in commercial eucalyptus and paricá plantations, as well as to evaluate the carbon and nitrogen stocks in the soil under these crops. Eucalyptus plantation (*E. urograndis*) (EV) with 3.5-year-old and a 3.5-year-old planting of paricá (*Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum*) (PV) at the Vale Verde farm, In Paragominas. For collection of litter-forming material, collectors with dimensions of 1.0 m x 1.0 m were fixed at random throughout the experimental period. To estimate litter stocks at random points all material contained within a 0.25 m² metal template was collected. Soil samples were collected for quantification of soil carbon and nitrogen stocks. The total annual litterfall showed significantly different results between the systems, being higher in the PV 8.72 Mg ha⁻¹ year⁻¹ than in the 5.93 Mg ha⁻¹ year⁻¹ EV. The non-woody fraction of this material had a greater contribution to the total contributed, representing 74.70 % in the PE and 86.24 % in the PV. The largest amounts of litter accumulated in the soil were verified in the PV. There were no differences in the carbon and total nitrogen levels of the soil between the systems.

Key-words: Change in land use; renewal of litter; reforestation; decomposition rate

3.1 Introdução

A produção e decomposição da liteira são processos fundamentais, e mais comumente mensurados sendo fluxo de matéria orgânica e nutrientes da vegetação para a superfície do solo, sendo vitais para o funcionamento do ecossistema, principalmente, nas florestas tropicais situadas em solos pobres em nutrientes (GOLLEY 1978). Desempenha um papel importante na ciclagem de nutrientes em sistemas florestais, e é fundamental para a compreensão do funcionamento a longo prazo de uma gestão adequada dos recursos dentro de seus ecossistemas. A produção de liteira e sua composição química são características importantes do ecossistema florestal e que regula o padrão de deposição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais e modificados (FACELLI E PICKETT, 1991, TRIPAYI E SINGH, 1992, PANDEY ET AL. AL., 2007)

O ecossistema da floresta tropical amazônica é conhecido por sua baixa resiliência quando há sua conversão em agroecossistemas convencionais baseados em culturas anuais ou áreas de pastagens, podendo gerar graves problemas de degradação do solo (HÖLSCHER et al. 1996; KATO 1998). Diminuição do estoque de C no solo e aumento da emissão de C para a atmosfera são exemplos de influências dessa conversão de uso da terra no balanço de C no solo (LEMOS et al. 2016), que são ainda mais expressivas quando práticas de conservação do solo não são aplicadas nos sistemas de cultivo (LAL & BRUCE, 1999; LAL, 2005; IPCC, 2007).

A quantidade de liteira depositada é condicionada por fatores como a latitude (BRAY e GORHAM 1964), altitude, precipitação (LONDSDALE 1988) e evapotranspiração (MEENTEMEYER et al. 1982). Além destes aspectos edáficos (VITOUSEK 1984), e biológicos, como a estrutura (SCHLITTLER et al. 1993; WERNECK et al. 2001), idade (LEITÃO FILHO et al. 1993) e composição florística da vegetação (SUNDARAPANDIAN e SWAMY 1999), também podem afetar a produtividade do sistema.

A determinação da dinâmica da liteira e avaliação do estoque ao longo do tempo é uma tarefa central no estudo dos ecossistemas terrestres (MARTIUS et al. 2004), principalmente quando se trata de plantios de espécies florestais para fins de reflorestamento, como o eucalipto e o paricá. Outro aspecto importante a ser levantado é a qualidade da liteira, determinado através dos conteúdos de C e N nesses ecossistemas.

O paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) tem sido muito usado em reflorestamento por ser uma espécie florestal nativa da Amazônia de crescimento rápido e que se adapta bem as condições de solos de baixa fertilidade natural, o que confere a esta espécie grande importância na recuperação de áreas degradadas (GAZEL FILHO et al. 2007). Por ser ainda uma espécie com tratamentos silviculturais relativamente fáceis e bem conhecidos, tornou-se atraente para uso em escala comercial (SILVA et al. 2011).

Plantios comerciais de Paricá na região amazônica estão concentrados principalmente no Estado do Pará, especialmente no município de Paragominas. De acordo com dados da SBS (2006), estima-se que a área plantada com esta espécie seja superior a 50 mil ha. Sua madeira, apresenta coloração branca e tem densidade média de 0,40 g/cm³. Segundo IWAKIRI et al., (2010) é uma espécie de madeira tropical que apresenta um crescimento acelerado, onde podem ser implantados em plantios homogêneos ou consorciados, onde apresentam vantagens de ser resistente ao ataque de pragas e doenças. A sua produtividade média anual é na faixa de 20 a 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, estando na mesma faixa de crescimento das espécies de Pinus que é de 25 a 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, e superior a teca com 15 a 20 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Plantios de eucalipto no Brasil, alcançaram nas últimas décadas uma área aproximada de 4,5 milhões de hectares, representando 66% do total de florestas plantadas do país (ABRAF 2010). O interesse pela cultura se deve a grande quantidade de pesquisas realizadas pelo setor florestal em parcerias com universidades e instituições de pesquisa. Estados que fazem parte da região amazônica têm aumentado suas áreas plantadas com esta espécie devido ao seu crescimento rápido e capacidade de se adaptar a áreas já alteradas (Souza et al. 2004). Atualmente percebe-se a necessidade de se aliviar a pressão sobre as florestas naturais e de minimizar os efeitos causados pela mudança no uso da terra.

Plantios florestais desempenham um importante papel na redução das concentrações de CO₂ na atmosfera. Já que esses ecossistemas apresentam grande capacidade de fixar carbono, pelo processo da fotossíntese, na biomassa acima e abaixo do solo, entender essa dinâmica nas condições edafoclimáticas locais de plantios comerciais comumente utilizados, faz necessário.

Desta forma, o objetivo deste capítulo é estimar a produção e estoque de liteira em plantios comerciais de eucalipto e paricá, bem como suas capacidades de estocar carbono e nitrogênio no solo.

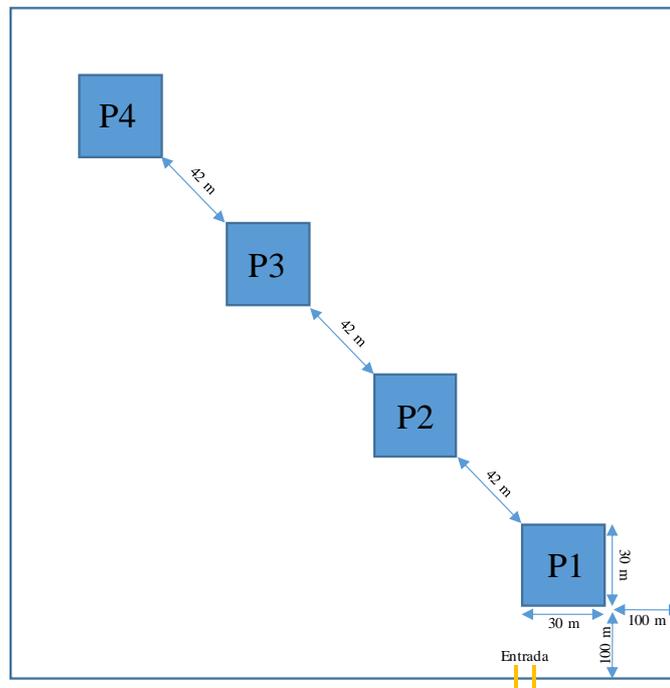
3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada na fazenda Vale Verde, pertencente à família Sacaramussa (3°13' 26" S e 47° 29' 56" O; altitude de 159 m), localizada a aproximadamente 45 km do centro do município de Paragominas, Pará. O clima predominante no município é tropical quente e úmido (Aw) segundo a classificação de Köppen, com uma estação seca bem definida, no período de julho a novembro, e uma estação chuvosa de dezembro a junho. As médias anuais de temperatura variam entre 24 e 26,3° C, umidade relativa do ar em torno de 81% e precipitação pluviométrica entre 1.700 e 2000 mm (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014; BASTOS et al., 2005 e WATRIN; ROCHA, 1992).

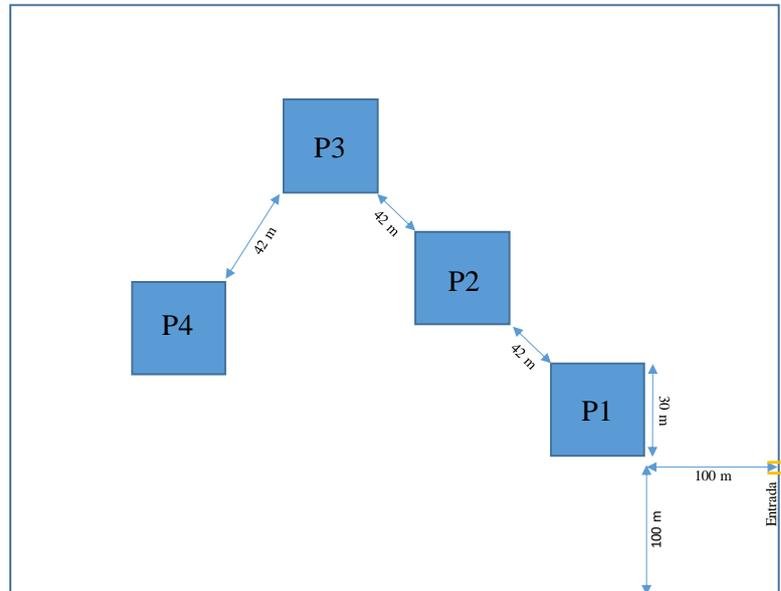
Foi selecionado um plantio de eucalipto (*Eucalyptus urograndis* - clone I144) de 3,5 anos de idade (EV) com espaçamento de 4,00 m x 3,00 m, e um plantio de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) de 3,5 anos de idade (PV) com espaçamento de 4 m x 4 m. Nos talhões (25 ha), em ambos os plantios, foram demarcadas, seguindo um transecto diagonal, quatro parcelas de 30 m x 30 m (900 m²) distanciadas por aproximadamente 42 m (Figura 19 e 20). No plantio de paricá uma das parcelas precisou ser deslocada devido a ocorrência de formigueiros na área.

Figura 19 – Distribuição das parcelas experimentais no plantio de eucalipto na fazenda Vale Verde, PA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Distribuição das parcelas experimentais plantio de paricá na fazenda Vale Verde, Paragominas, PA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O solo das áreas estudadas é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, o mesmo de maior ocorrência no município (RODRIGUES et al., 2003). Os atributos físicos e químicos estão descritos nas tabelas 5 e 6, respectivamente.

O plantio de eucalipto foi plantado entre os restos culturais de um plantio de paricá (ciclo de sete anos), formado em área com *Brachiaria brizantha* usada como pastagem. Para o estabelecimento desse plantio de paricá, o preparo do solo e manejo seguiu a sequência: (1) roçagem mecanizada da pastagem, (2) gradagem com grade pesada e subsolagem conjunta com químicas com macro e micronutrientes, (3) aplicação de herbicida pós emergentes, (4) correção do solo com calcário dolomítico (2.000 kg ha^{-1}), (4) plantio do paricá, (5) aplicação de herbicida pré emergente e (6) aplicação em coveta lateral de adubos químicos com macro e micronutrientes. Após colheita do paricá efetuou-se o plantio de eucalipto entre os restos de cultura (tocos) deixados na área.

O manejo do eucalipto se deu basicamente por adubações de cobertura com macro e micronutrientes ao longo dos anos, conforme necessidade da planta, e controle químico, manual e mecanizado de plantas indesejadas no talhão conforme nível de infestação.

O plantio de paricá do estudo foi precedido por cultivo de *Brachiaria brizantha* utilizada como pastagem. O preparo da área e manejo seguiu as mesmas etapas do plantio de

paricá que precedeu o plantio de eucalipto do estudo, assim como o seu manejo. Para controle de pragas como formigas cortadeiras, lagartas e cigarras foram utilizados defensivos químicos recomendados por especialistas responsáveis pela fazenda.

Tabela 5 – Granulometria do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV) em Paragominas, PA.

Prof. (cm)	Areia Total (g kg ⁻¹)		Silte (g kg ⁻¹)		Argila total (g kg ⁻¹)		Classe Textural
	EV	PV	EV	PV	EV	PV	EV e PV
0-5	47	105	513	436	440	460	Argiloso
5-10	28	80	432	461	540	460	Argiloso
10-20	18	37	302	363	680	600	Muito argilosa
20-30	18	30	343	291	640	680	Muito argilosa
30-50	16	18	265	222	720	760	Muito argilosa
50-70	15	28	286	312	700	660	Muito argilosa
70-100	60	44	361	336	580	620	Muito argilosa

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta. Classificação textural determinada pelo triângulo textural simplificado usado pela EMBRAPA.

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Tabela 6 – Resultado da análise química do solo em três profundidades nos plantios de eucalipto e paricá em Paragominas, PA.

Área	Prof. cm	P	K	Na	Al	Ca	Mg	pH (H ₂ O)	H+Al	CTC Total/Efetiva		Saturação Base Al	
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		V%	m%
Eucalipto	0-10	13	59	13	0,1	4,2	5,8	6,1	3,47	9,48	6,11	63,43	1,64
	10-20	7	27	4	0,4	1,3	1,9	5,1	4,29	6,28	2,39	31,66	16,75
	20-50	2	18	4	0,8	0,6	0,9	4,7	3,80	4,76	1,77	20,30	45,28
Paricá	0-10	3	49	9	0,1	3,7	4,6	5,9	4,29	9,06	4,87	52,62	2,06
	10-20	2	23	4	0,2	2,0	2,5	5,4	4,46	7,03	2,78	36,65	7,20
	20-50	2	18	4	0,6	1,2	1,4	5,0	4,46	5,92	2,07	24,77	29,03

A análise química foi realizada segundo o Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da Embrapa (EMBRAPA, 2009).

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

3.2.2 Dados climáticos

A precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM) do período que compreende o estudo, foram obtidas no *website* do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, que disponibiliza os dados coletados a partir de uma estação meteorológica automática localizada em Paragominas, PA.

3.2.3 Aporte de material formador de liteira (*litterfall*)

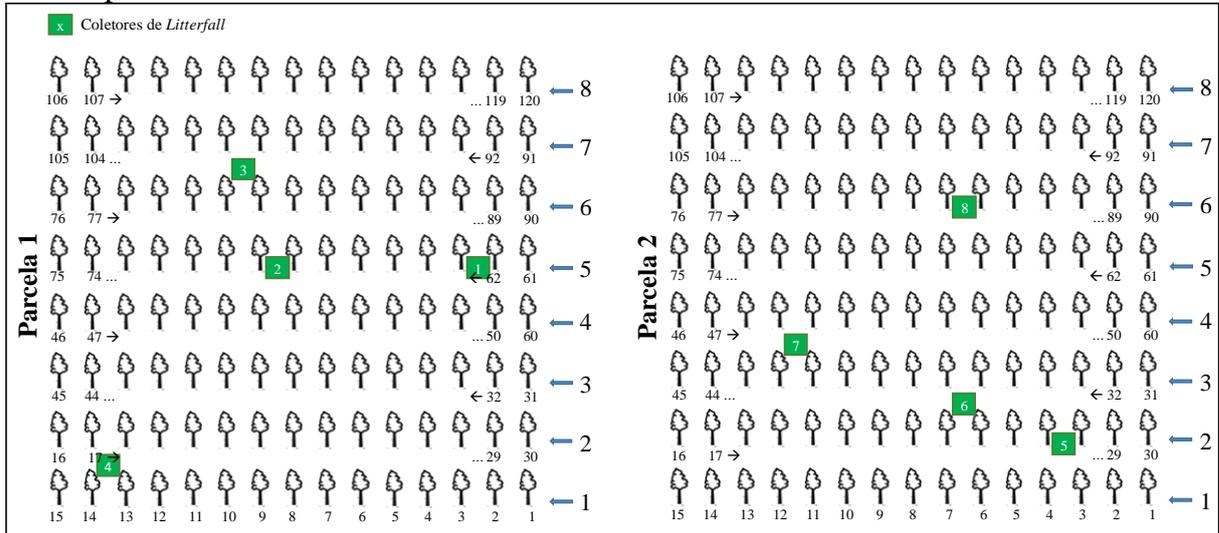
O monitoramento da produção de liteira foi realizado mensalmente entre agosto de 2013 e julho de 2014. Em cada parcela das áreas de estudo foram instalados quatro coletores, construídos com fio de arame galvanizado liso e tela de náilon com malha fina (1,0 mm) nas dimensões de 1,0 m x 1,0 m (Figura 21), que ficaram em locais fixos nas áreas durante todo o período experimental; totalizando 16 amostras por área em cada período de coleta. Os coletores foram distribuídos aleatoriamente, como exemplificado nas figuras 22 e 23.

Figura 21 – Coletor de *litterfall* instalado no plantio de eucalipto.



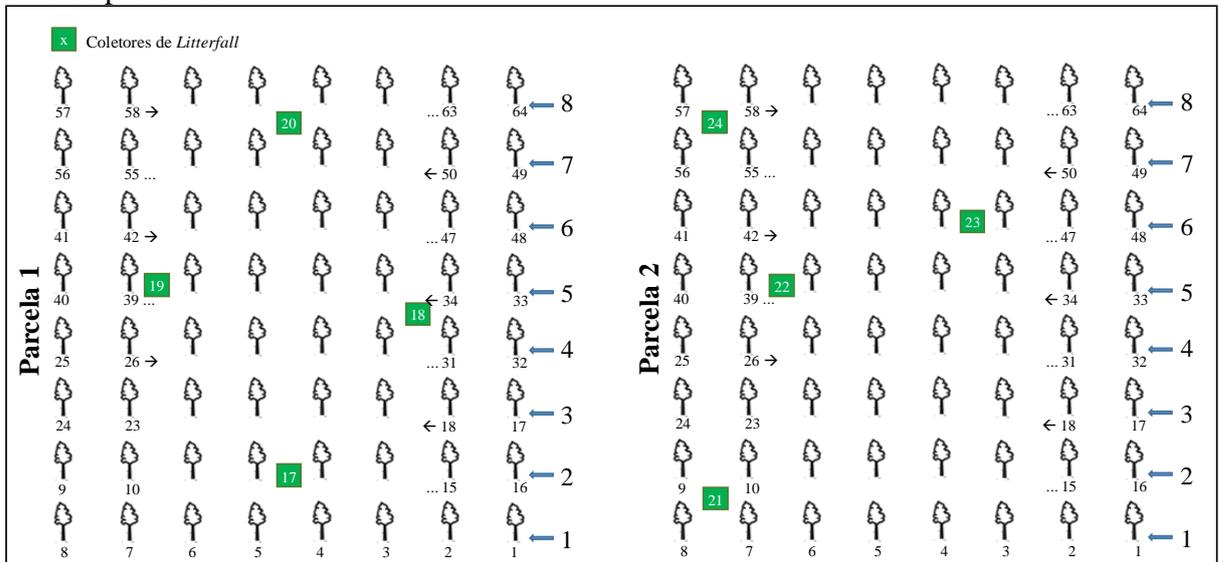
Fonte: Do autor.

Figura 22 - Localização dos coletores nas parcelas 1 e 2 na área de plantio de eucalipto da fazenda Vale Verde. Numerações de 1 a 8 identificam as linhas de plantios e de 1 a 120 as árvores presentes.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23 - Localização dos coletores nas parcelas 1 e 2 na área de plantio de paricá da fazenda Vale Verde. Numerações de 1 a 8 identificam as linhas de plantios e de 1 a 64 as árvores presentes.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os materiais retidos nos coletores foram colocados em sacos de papel tipo Kraft[®], devidamente identificados e levados ao Laboratório de Qualidade Ambiental da Universidade do Estado do Pará (câmpus VI, Paragominas). As amostras de *litterfall* do foram separadas

em duas frações: (1) *litterfall* não-lenhoso (composto por folhas, foliólulos e material reprodutivo) e (2) *litterfall* lenhoso (composto por galhos, cascas, ráquis e ráquis secundária), em seguida colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até massa constante para determinação da biomassa seca. Foliólulos, ráquis e ráquis secundárias são inerentes a materiais aportados no plantio de paricá.

A produção anual de liteira não-lenhosa, lenhosa e total, expressas em Mg ha⁻¹, foi obtida pela soma da massa seca, aportada em cada coletor, dividido pelos 12 períodos de avaliação.

3.2.4 Estoque de liteira (*litter*)

Em agosto de 2013, dezembro de 2013, abril de 2014 e agosto de 2014, foram coletadas amostras de liteira usando-se como gabarito uma grade metálica quadrada (Figura 24) para delimitar uma área de 0,25 m². Todo o material contido dentro da grade foi colocado em sacos de papel tipo Kraft[®] previamente identificados e levados para o Laboratório de Qualidade Ambiental da Universidade do Estado do Pará (câmpus VI, Paragominas) para preparo. As amostras foram coletadas em quatro pontos diferentes em cada parcela, totalizando 16 amostras por área em cada período de coleta.

Figura 24 – Grade metálica delimitando local de coleta de *litter*.



Fonte: Do autor.

Os materiais coletados foram separados em duas frações: (1) *litter* não-lenhoso (composto por folhas ou foliólulos, material reprodutivo, gramíneas e miscelânea) e (2) *litter* lenhoso (composto por galhos, cascas, ráquis e ráquis secundária), em seguida colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até massa constante. Foliólulos, ráquis e ráquis secundária são inerentes a materiais aportados no plantio de paricá. Os materiais que se apresentavam fragmentados de difícil identificação (frações com diâmetro inferior a 2 mm) foram denominados de “miscelânea”. Devido à predominância de fragmentos de folhas na miscelânea, ela foi agrupada na classe não-lenhosa. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante para determinação da biomassa seca.

A média anual de liteira acumulada não-lenhosa, lenhosa e total, expressa em Mg ha⁻¹, foi obtida pela soma da massa seca do *litter*, acumulado em cada ponto de coleta, e dividido pelo número (quatro) de avaliações ao longo do tempo.

3.2.5 Taxa de decomposição da liteira

A partir dos dados de aporte de liteira e seu estoque no solo, calculou-se indiretamente a taxa de decomposição da liteira utilizando-se a equação proposta por Olson (1963): $K = L/X$, em que K é o coeficiente de decomposição, L a produção anual de liteira e X a média anual da liteira acumulada. O tempo necessário para que ocorra decomposição de 50% da serapilheira foi calculada pela equação de Shanks; Olson, (1961): $T_{0,5} = -\ln 0,5/K$. Essas equações também foram usadas em estudos semelhantes (ARATO et al., 2003; FERNANDES; SCARAMUZZA, 2007; LOPES et al., 2009; PAGANO, 1989; SCORIZA et al., 2012).

3.2.6 Estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo

Em junho de 2014, no centro de cada parcela, foram escavadas trincheiras de 1,20 m de comprimento, 0,70 m de largura e 1,10 m de profundidade. Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo foram retiradas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 30-50, 50-70 e 70-100 cm, em três faces internas da trincheira, utilizando-se anéis de Kopeck com bordas cortantes e volumes internos conhecidos. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011).

Para determinação dos teores de C e N do solo foram coletadas cinco amostras simples

com trado tipo caneco, em torno de cada trincheira, para formar uma amostra composta, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 30-50, 50-70 e 70-100 cm. O material coletado foi seco e peneirado em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Aproximadamente 20 g de TFSA foram triturados em almofariz de ágata e tamisados em peneira de 0,25 mm (100 mesh). Uma alíquota de aproximadamente 0,20 g foi usada para determinação dos teores de C e N total por combustão via seca (1350° C) em analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. Os estoques de C e N totais do solo foram calculados segundo Veldkamp (1994), utilizando-se para cada profundidade a equação adaptada:

$$E_{C/N} = (T_{C/N} \times \rho_s \times E)/10$$

em que,

$E_{C/N}$ = estoque de carbono ou nitrogênio orgânico total (Mg ha⁻¹);

$T_{C/N}$ = teor de carbono ou nitrogênio na amostra (g kg⁻¹ solo);

ρ_s = densidade do solo (g cm⁻³);

E = espessura da camada de solo (cm).

O denominador (10) na equação foi usado para que os resultados de $E_{C/N}$ fossem expressos em Mg ha⁻¹.

3.2.7 Análise estatística

O experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (plantio de eucalipto e plantio de paricá, denominados de EV e PV, respectivamente) e 16 repetições (número de coletores por tratamento) para as variáveis aporte de liteira e aporte anual de liteira, 16 repetições (número de pontos de coleta por tratamento) para o estoque de liteira e média anual de liteira acumulada, quatro repetições (número de trincheiras em cada tratamento) para densidade do solo, teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo.

As análises estatísticas foram realizadas no programa SigmaPlot 11.0. Para testar o efeito dos sistemas e da época de coleta sobre as variáveis aporte de liteira e estoque de liteira, utilizou-se ANOVA de dois fatores com medidas repetidas (*Two-way repeated measures ANOVA*). A comparação das médias foi realizada com o teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para testar o efeito dos sistemas sobre o aporte anual de liteira, média anual de liteira acumulada, densidade do solo, e teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo, utilizou-se o

teste t de Student a 5% de probabilidade.

A precipitação total mensal (PTM) e a temperatura média mensal (TMM), correspondentes ao período experimental, foram correlacionadas com as médias mensais de *litterfall* total, *litterfall* não-lenhoso e *litterfall* lenhoso utilizando-se o coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

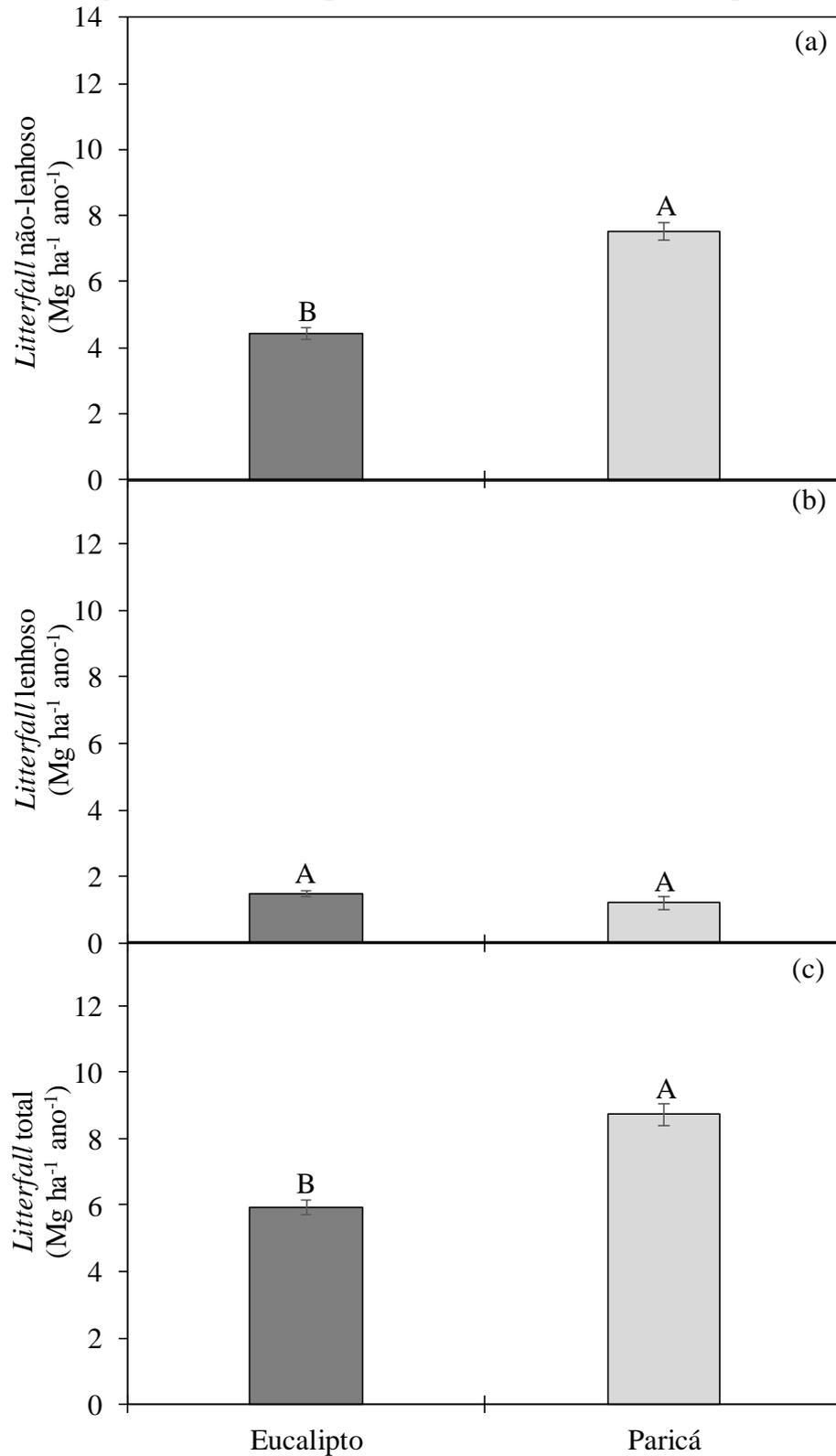
Para atender os requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias, quando necessário, os dados foram transformados em log 10, ln, exponencial ou raiz quadrada. Nas tabelas e figuras são apresentadas as médias e erro padrão dos dados não-transformados.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Aporte de material formador de liteira (*litterfall*)

O *litterfall* total anual estimado (figura 25c) foi significativamente diferente entre os sistemas, sendo maior no PV ($8,72 \pm 0,34 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que no EV ($5,93 \pm 0,22 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), $P \leq 0,001$. A fração não-lenhosa apresentou maior contribuição para o total aportado (figura 25a), representando 74,70 % no EV e 86,24 % no PV. Houve diferenças significativas no *litterfall* não-lenhoso anual entre sistemas ($P \leq 0,001$), onde a PV apresentou maiores aportes anuais ($7,52 \pm 0,26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que o EV ($4,43 \pm 0,19 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Silva et. al 2011 em Aurora do Pará estimou uma produção anual de materiais não lenhosos de $5,92 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O *litterfall* lenhoso anual (figura 25b) não diferiu estatisticamente entre os sistemas avaliados ($P = 0,169$).

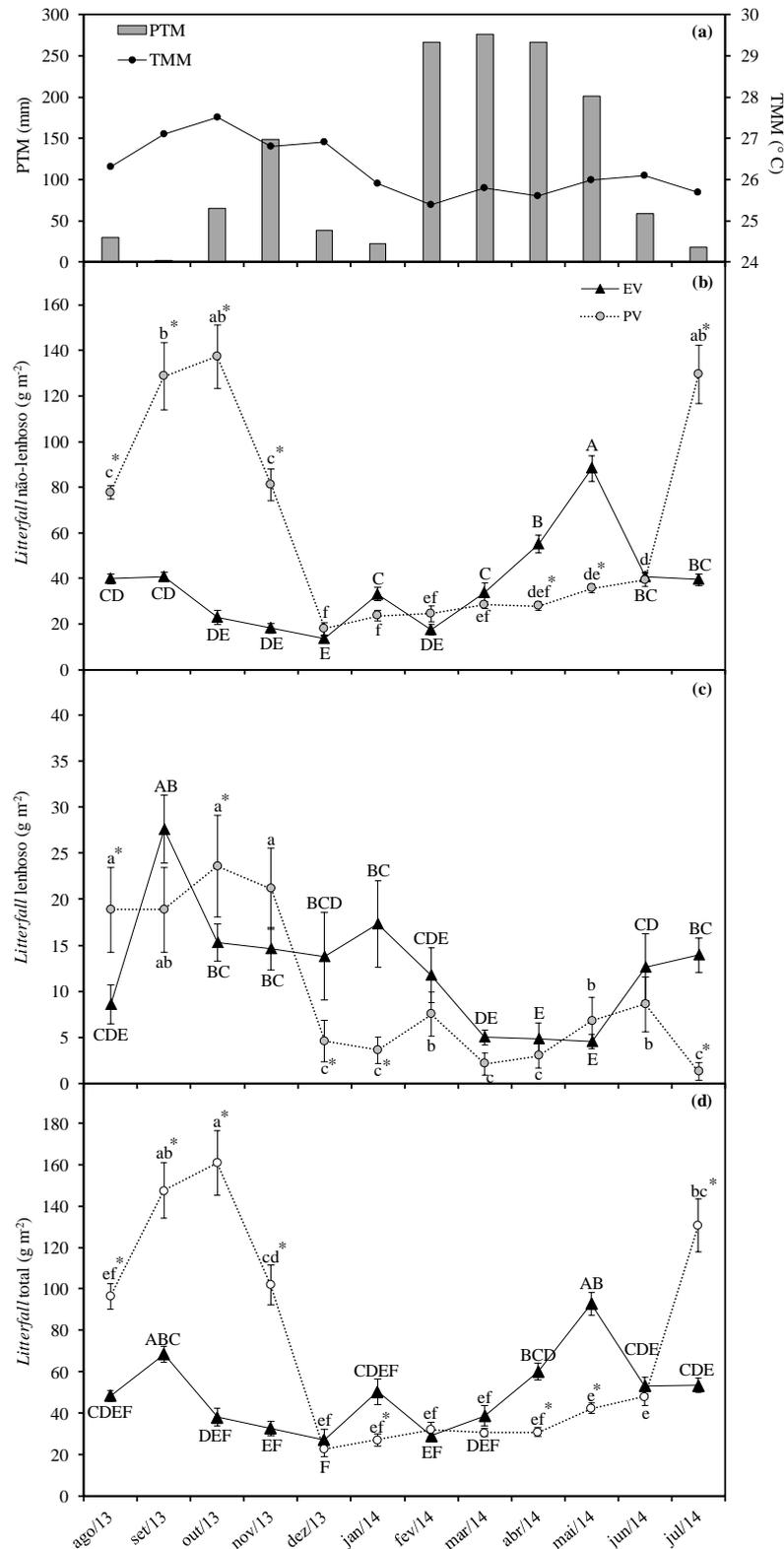
Figura 25 – Produção anual do *litterfall* não-lenhoso (a), *litterfall* lenhoso (b) e *litterfall* total (c) em plantio de eucalipto (EV) e paricá (PV) em Paragominas, PA. Médias \pm erros seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

A variação no *litterfall* total e suas frações lenhosas e não lenhosas estão apresentadas na Figura 26. O *litterfall* lenhoso entre os sistemas foi significativamente diferente em ago/13 e set/13, sendo os maiores de valores encontrados no PV. Em dez/13, jan/14 e jul/14 o *litterfall* lenhoso foi maior no EV. O *litterfall* total foi maior no PV de ago/13 a nov/13 e em jul/13.

Figura 26 – Médias de precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM) (a), biomassa seca do *Litterfall* não-lenhoso (b), *Litterfall* lenhoso (c) e *Litterfall* total (d) em plantio de eucalipto (EV) e palntio de paricá (PV) em Paragominas, PA. Médias \pm erros seguidas de letras iguais, maiúsculas para o plantio de eucalipto e minúsculas para a floresta primária, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Diferença significativa entre o plantio de eucalipto e floresta primária, avaliada no mesmo período (Tukey a 5% de probabilidade).



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

3.3.2 Correlação entre *litterfall* e variáveis climática

A variação no *litterfall* ao longo de um ano em resposta às variáveis climáticas estão descritas na tabela 7. O *litterfall* não lenhoso do EV apresentou correlação negativa com a PTM (Figura 27a). No PV, o *litterfall* total apresentou correlação positiva significativa com TMM e o *litterfall* lenhoso correlação negativa significativa (Tabela 7 e Figura 28).

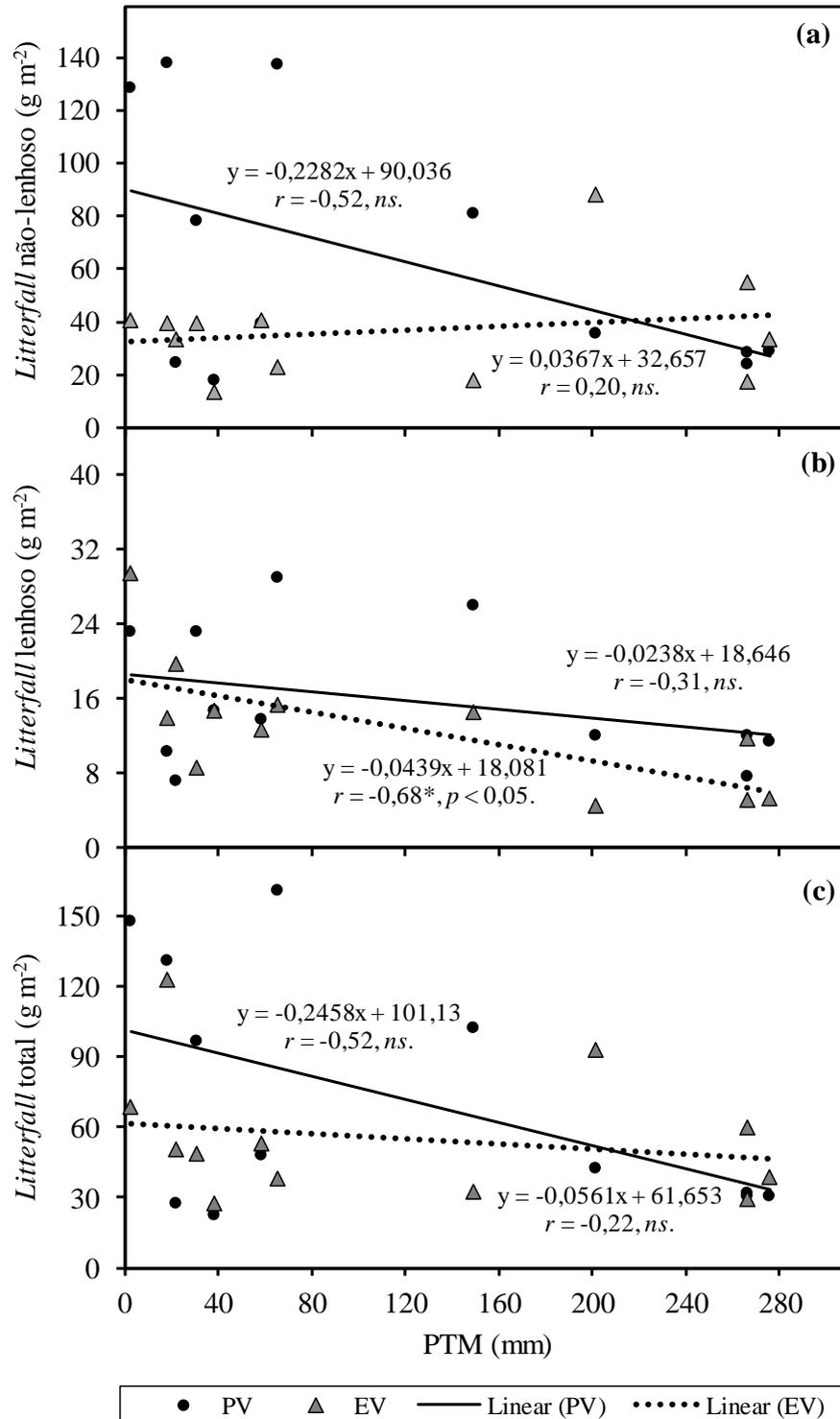
Tabela 7 – Coeficientes de correlação de Person entre a precipitação total mensal (PTM) e temperatura média mensal (TMM) e do *litterfall* total e suas frações aportados no plantio de eucalipto e no plantio de paricá em Paragominas, PA.

Variável climática	Eucalipto			Paricá		
	<i>Litterfall</i> não-lenhoso	<i>Litterfall</i> lenhoso	<i>Litterfall</i> total	<i>Litterfall</i> não-lenhoso	<i>Litterfall</i> lenhoso	<i>Litterfall</i> total
PTM	0,20	-0,68*	-0,22	-0,52	-0,31	-0,64
TMM	-0,32	0,56	-0,29	0,56	-0,76*	0,62*

*Correlação siginificativa a 5% de probabilidade.

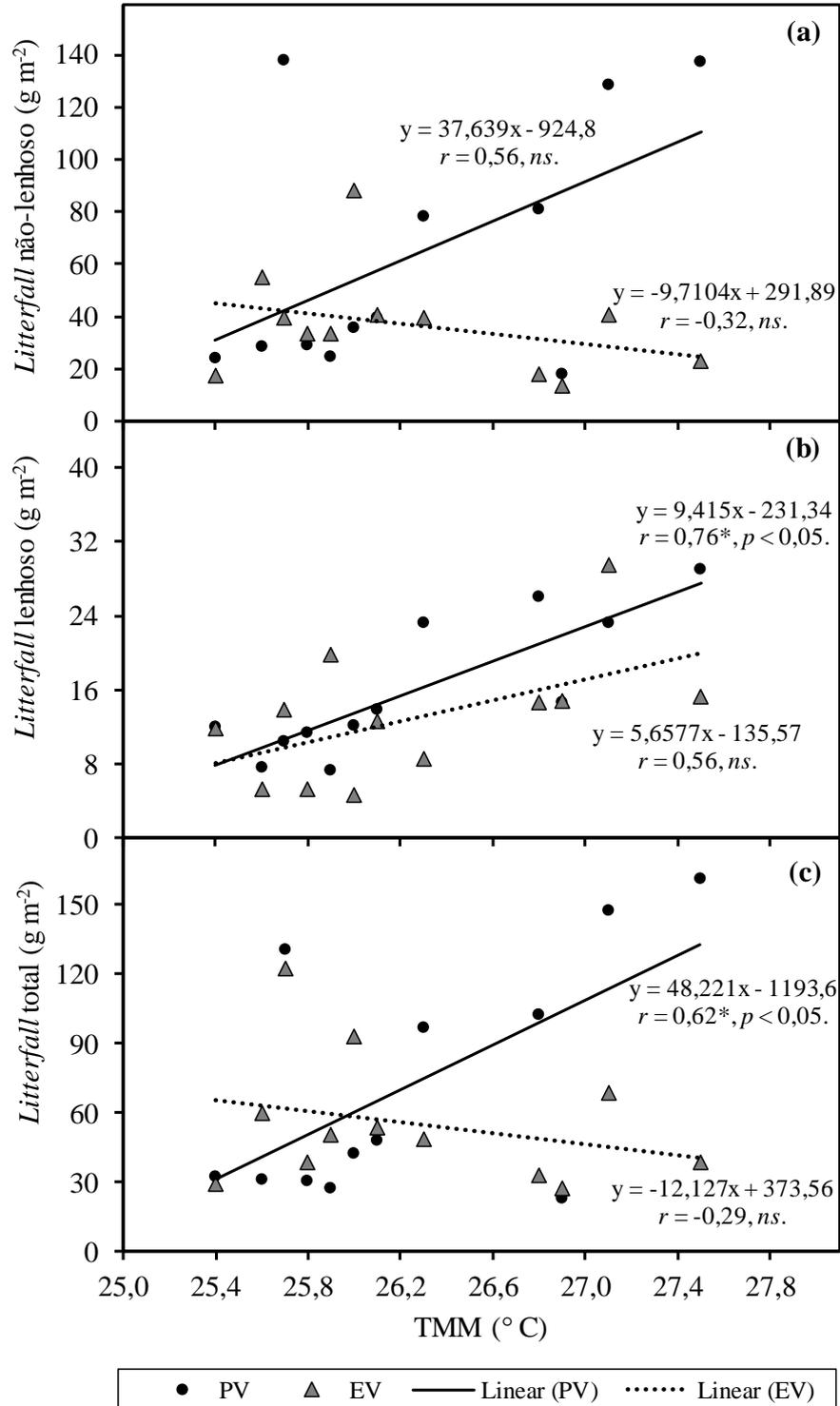
Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

Figura 27 – Regressão linear entre *litterfall* total e suas frações e a precipitação total mensal (PTM) em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV). Valores de r seguidos de asteriscos indicam correlação significativa moderada ($P < 0,05$), *ns* indica correlação não significativa.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

Figura 28 – Regressão linear entre *litterfall* total e suas frações e a temperatura média mensal (TMM) em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV) em Paragominas, PA. Valores de r seguidos de asteriscos indicam correlação significativa moderada ($P < 0,05$), *ns* indica correlação não significativa.

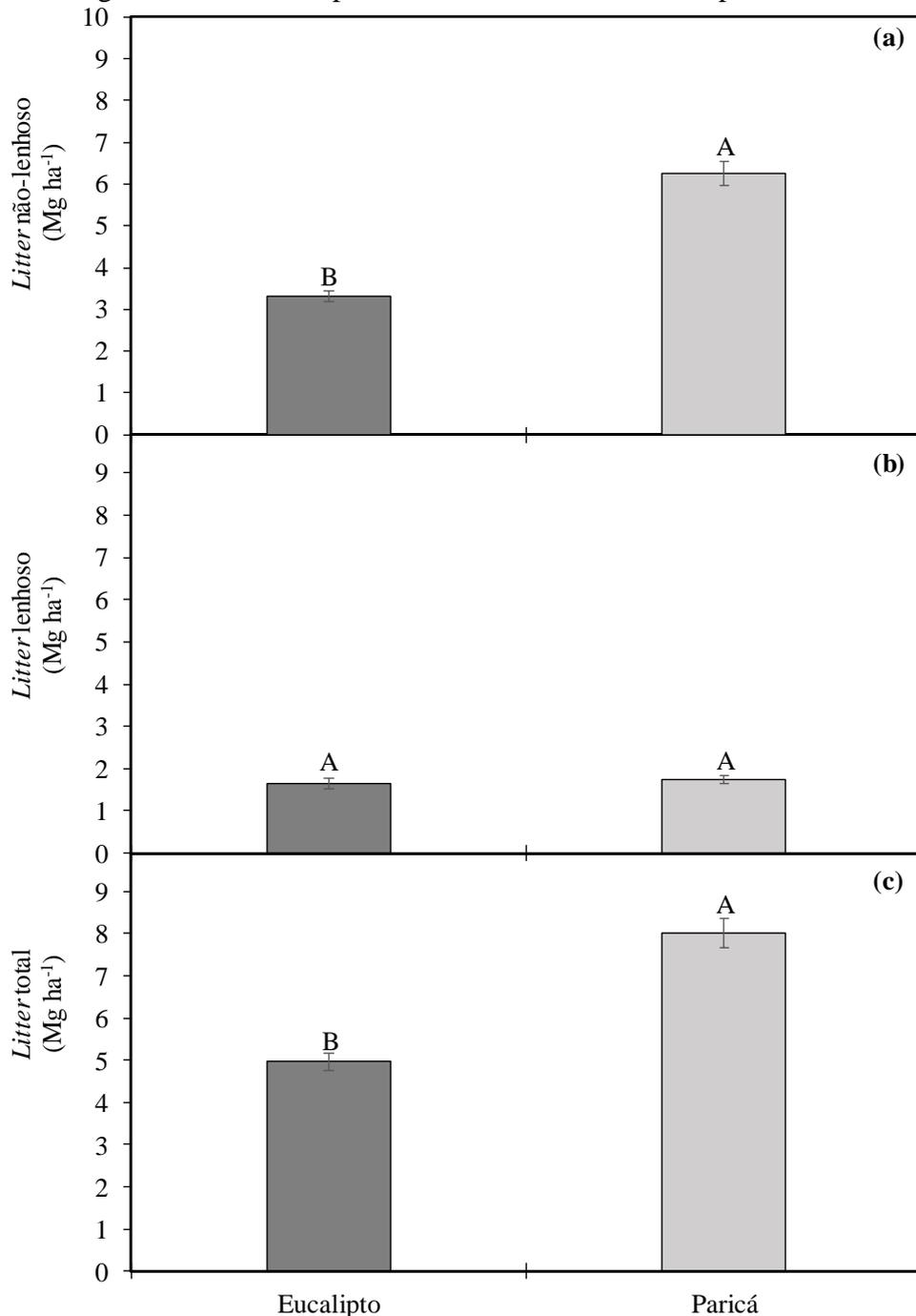


Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

3.3.3 Estoque de liteira (*litter*)

A média anual de *litter* total acumulado no ano e na fração não-lenhosa (Figura 28) apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre EV e PV. O estoque de material não-lenhoso foi a fração que mais contribuiu para essa média anual com 78,15 % em PV e 66,94 % em EV.

Figura 28 – Acúmulo anual de *litter* não-lenhoso (a), lenhoso (b) e total (c) em plantio de eucalipto (EV) e plantio de eucalipto (PV) em Paragominas, PA. Médias \pm erros seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

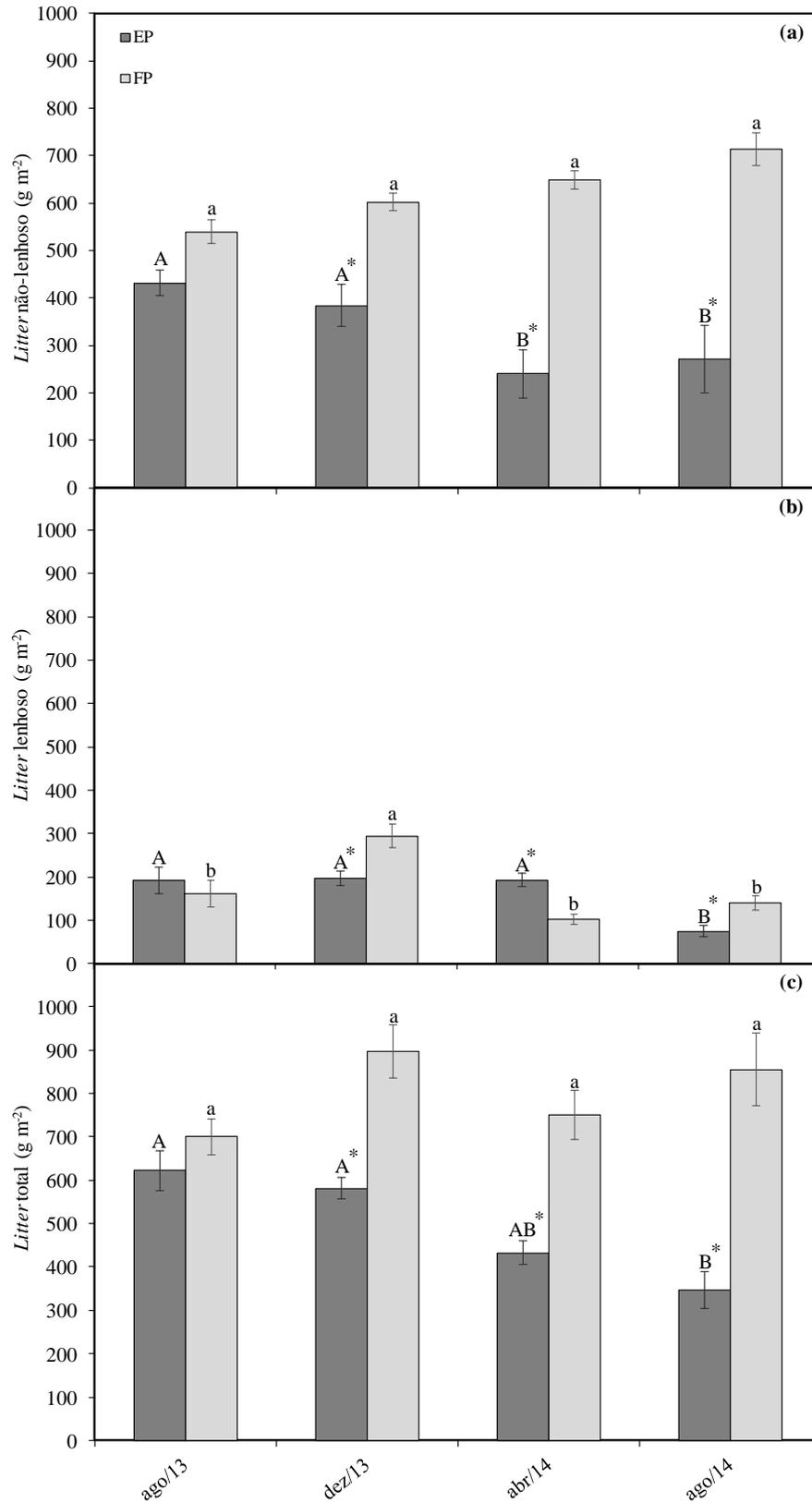


Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

A figura 29 apresenta os valores de liteira acumulada nos quatro períodos avaliados. O *litter* não lenhoso apresentou diferenças significativa no plantio de parica entre os meses avaliados (29a). O EV apresentou maior acúmulo ago/13 e dez/13 para esta mesma fração. Entre os sistemas, no mesmo período de coleta, não houve diferença significativa apenas em ago/13. Nos demais, o *litter* não-lenhoso foi maior em PV do que em EP.

Considerando o *litter* total (Figura 29c), da mesma forma que o *litter* não-lenhoso, não apresentou diferenças significativa no PV entre os meses avaliados (29a), e em ago/14 foi o período com menor acúmulo de litereira total no EV.

Figura 29 – Acúmulo de liteira não-lenhosa (a), lenhosa (b) e total (c) em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV) em paragominas, PA. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para EV e minúsculas para PV, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Diferença significativa entre EV e PV, avaliada em um mesmo período, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013 - 2014.

3.3.4 Taxa de decomposição da liteira

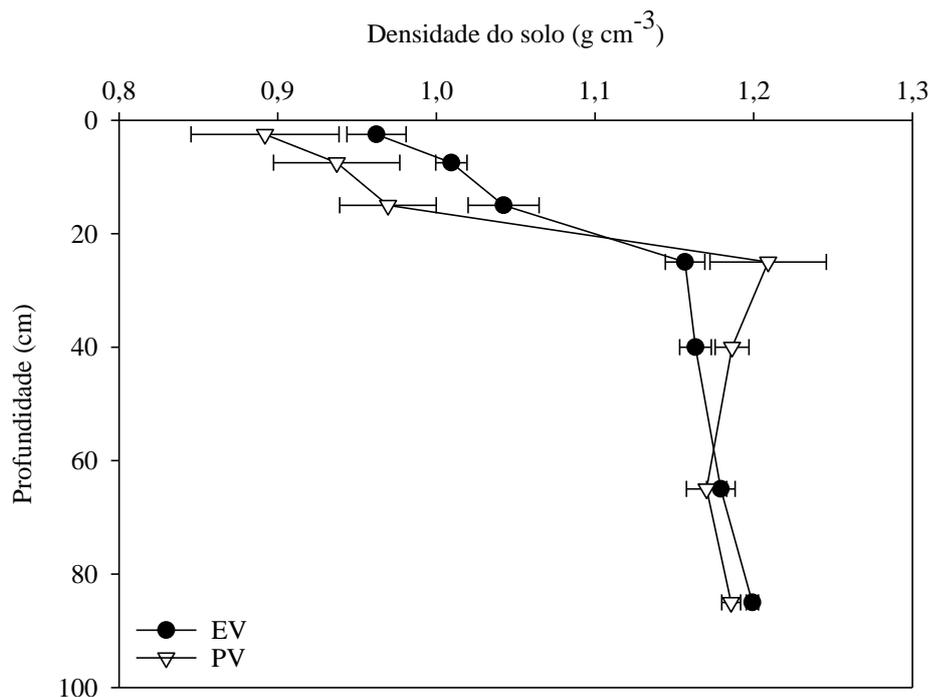
Com os resultados de produção de liteira produzida anualmente e média anual de liteira acumulada dos sistemas, foi possível calcular a taxa de decomposição da liteira sob condições de equilíbrio dinâmico.

Considerando o média anual de *litter* total e *litterfall* total anual, a taxa de decomposição da liteira (K) foi de 1,20 para o plantio de eucalipto e 1,09 para o plantio de paricá. Para esses valores K, o tempo necessário para que 50 % da liteira seja renovada foi estimada em 0,58 ano para o plantio de eucalipto e 0,64 ano para a plantio de paricá.

3.3.5 Densidade do solo

No solo sob os dois plantios avaliados, não houve diferenças significativas entre as densidades em todas as profundidades avaliadas (Figura 25). Seguindo o padrão para a maioria dos solos, a densidade na superfície de ambos os sistemas foram menor e aumentaram em profundidade.

Figura 30 - Densidade do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV). Asteriscos indicam diferença estatística, pelo teste t de Student ($p < 0,05$), entre as médias em cada profundidade (média \pm erro, $n=4$).



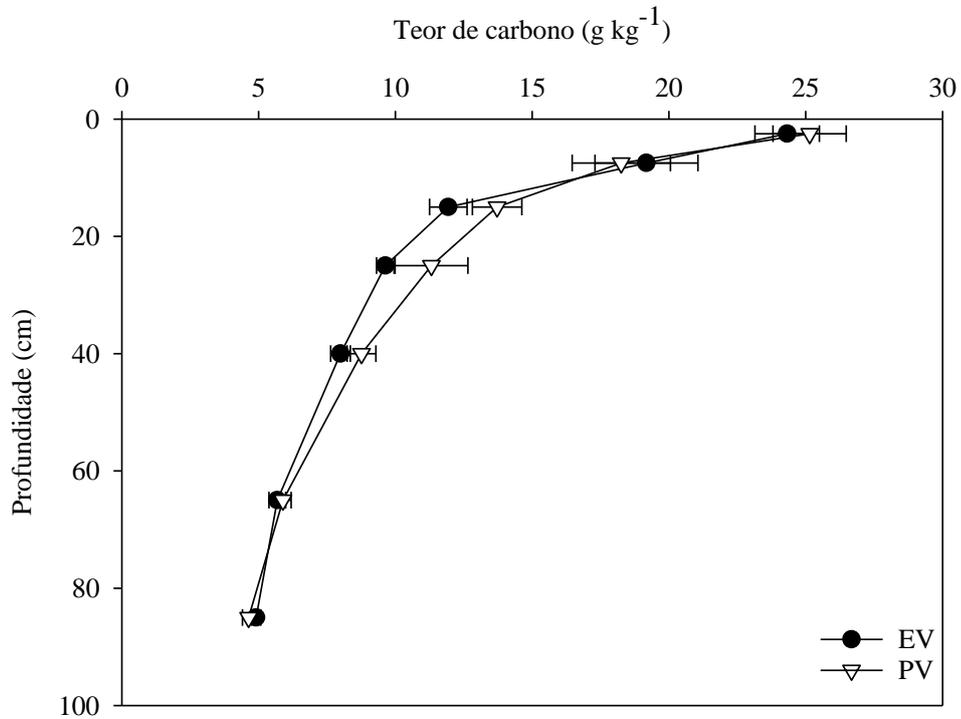
Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

3.3.6 Teores e estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo

Não houve diferenças significativas nos teores de C (Figura 31) entre os sistemas em cada profundidade avaliada ($P > 0,05$). Os teores de N apresentaram diferenças na profundidades 30-50 e 70-100 cm.

Considerando o estoque de carbono e nitrogênio total (0–100 cm) nos dois sistemas, não houve diferença significativas entre eles.

Figura 31 - Teor de carbono do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV). Asteriscos diferença estatística, pelo teste *t* de Student ($p < 0,05$), entre as médias em cada profundidade (média \pm erro-padrão, $n=4$).



Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Figura 27 - Teor de nitrogênio do solo em diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EV) e plantio de paricá (PV) em da fazenda Piquiá (Paragominas, PA). Asteriscos indicam diferença estatística, pelo teste *t* de Student ($p < 5\%$), entre as médias em cada profundidade (média \pm erro-padrão, $n=4$).

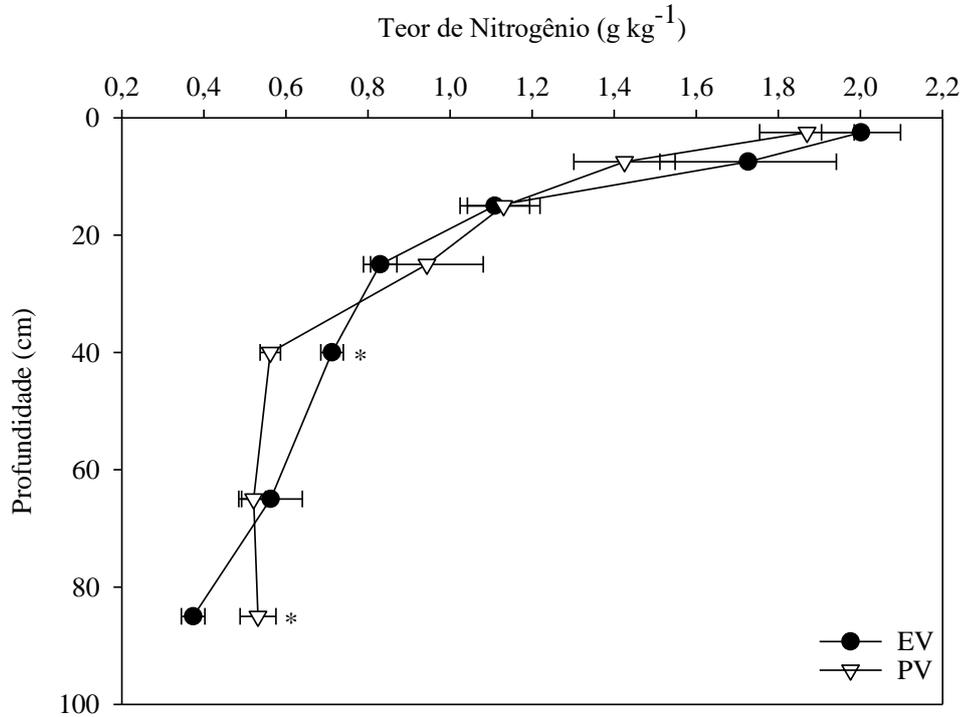


Tabela 14 - Estoque de carbono, nitrogênio e argila total do solo de diferentes profundidades em plantio de eucalipto (EV) e paricá (PV).

Prof. (cm)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)		Estoque de N (Mg ha ⁻¹)	
	Eucalipto	Paricá	Eucalipto	Paricá
0-5	11,70 \pm 0,62	11,15 \pm 0,45	0,96 \pm 0,05	0,83 \pm 0,05
5-10	9,70 \pm 1,02	8,57 \pm 0,93	0,87 \pm 0,12	0,67 \pm 0,07
10-20	12,45 \pm 0,78	13,32 \pm 1,06	1,16 \pm 0,10	1,09 \pm 0,08
20-30	11,15 \pm 0,40	11,19 \pm 1,42	0,96 \pm 0,05	0,93 \pm 0,15
30-50	18,59 \pm 0,80	20,76 \pm 1,09	1,66 \pm 0,06*	1,33 \pm 0,05
50-70	13,40 \pm 0,71	13,79 \pm 0,66	1,33 \pm 0,18	1,22 \pm 0,07
70-100	17,67 \pm 0,56	16,49 \pm 0,74	1,35 \pm 0,10*	1,89 \pm 0,15
0-100	94,66 \pm 4,00	95,27 \pm 2,47	8,28 \pm 0,51	7,97 \pm 0,37

*Diferença estatística, pelo teste *t* de Student ($p < 5\%$), entre as médias dos sistemas em cada profundidade (média \pm erro-padrão, $n=4$).

3.4 Conclusão

Plantios comerciais de *Schizolobium parayba* com 3,5 anos de idade aportam maiores quantidades de litteira durante o ano do que plantios de eucalipto de mesma idade e sob mesmas condições edafoclimáticas. Da mesma forma, plantios com paricá acumulam maiores quantidades de liteira sobre o solo. Os dois sistemas avaliados contribuíram igualmente para os estoques de carbono e nitrogênio total do solo. Assim, faz-se necessário a continuidade desta pesquisa para melhor avaliarmos as reais contribuições destes plantios, pois neste estudo as culturas que precederam os plantios avaliados foram diferentes.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. 2010. Anuário Estatístico da ABRAF 2010: ano base 2009. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Brasília, 2010. 113pp.
- ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, L. G. T. Diagnóstico agrícola do município de Paragominas, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), 2014. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 91).
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. D. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. Revista Árvore, v. 27, n. 5, p. 715–721, 2003.
- BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A; FIGUEIRÊDO, R. O.; SILVA, G. F. G. Características Agroclimáticas do Município de Paragominas. Embrapa, ISSN 1517-2201, p. 21, 2005.
- BRAY, J.R. & GORHAM, E. 1964. Litter production in forests of the world. Advances in Ecological Research 2: 101-157.
- EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, 2009.p. 370.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 2011. 230p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA, 2011. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. revista. Rio de Janeiro (230 pp.).
- FERNANDES, F. C. S.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Produção e decomposição da liteira em fragmento florestal em Campo Verde (MT). Revista de Ciências Agrárias, Belém, n. 47, p. 173-186. 2007.

- GAZEL FILHO AB, CORDEIRO IMCC, ALVARADO JR, SANTOS FILHO BGD (2007) Produção de biomassa em quatro procedências de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby no estadio de muda. *Rev Brasil Bioci* 5:1047–1049.
- GOLLEY, F.B. 1978. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, EPU: EDUSP.
- HÖLSCHER D., MÖLLER M.R.F., DENICH M.; FÖLSTER H. 1996. Nutrient input–output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. *Nutrient Cycl. Agroecosyst.* 47: 49–57.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. Fourth assessment report, climate change 2007: synthesis report. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- IWAKIRI, S.; ZELLERII, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZI, M. G. L.; SOUZA, M.M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. *Acta Amaz.* vol.40. 2010.
- LAL, R. & BRUCE, J.P. 1999. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science & Policy*, 2, 77–185.
- LAL, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220, 242–258.
- LEITÃO FILHO, H.F.; PAGANO, S.N.; CÉSAR, O.; TIMONI, J.L. & RUEDA, J.J. 1993. Aspectos da ciclagem de nutrientes. Pp. 129-163. In: H.F. Leitão Filho (org.). *Ecologia da mata Atlântica em Cubatão*. São Paulo, Editora da Universidade Estadual Paulista/ Editora da Universidade de Campinas.
- LEMO, E. C. M.; VASCONCELOS. S. S.; SANTIAGO, W. R.; OLIVEIRA JUNIOR M. C. M.; SOUZA, C. M. DE A. The responses of soil, litter and root carbon stocks to the conversion of forest regrowth to crop and tree production systems used by smallholder farmers in eastern Amazonia. *Soil Use and Management*, December 2016, 32, 504–514.
- LONSDALE, W.M. 1988. Predicting the amount of litterfall in forests of the world. *Annals of Botany* 61: 319-324.
- LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; LOBATO, F. A. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARRAE, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. Litter productivity and deposition in area of Caatinga. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 3, n. 2, p. 72–79, 2009.
- MARTIUS, C; HÖFER, H.; GARCIA, M.V.B.; RÖMBKE, J.; HANAGARTH, W. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68: 137–154, 2004.
- MEENTEMEYER, V.; BOX, E.O.; THOMPSON, R. 1982. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *BioScience* 32(2): 125-128.
- OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological

systems. *Ecology*, v. 44, n. 2. p.322-331. 1963.

PAGANO, S. N. Produção de folheda em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 49, n. 3, p. 633-639, 1989.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; JÚNIOR, R. C. O.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará. *Embrapa*, v. ISSN 1517-2201, p. 55, 2003.

SBS, 2007. Facts and datas of the brazilian forestry - 2006. Disponível em: www.sbs.org.br.

SCHLITTLER, F. H.M.; De MARINIS, G. & CÉSAR, O. 1993. Produção de serapilheira na Floresta do Morro do Diabo, Pontal do Paranapanema - SP. *Naturalia* 18: 135-147.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, G. M.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. *Floresta e Ambiente*, v. 2, n. 2, p. 01-18, 2012.

SHANKS, R.; OLSON, J. First-year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forests. *Science*, v. 134, p. 194-195, 1961.

SILVA, A.K.L.; VASCONCELOS, S.S.; CARVALHO, C.J.R.; CORDEIRO, I.M.C.C. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. *Plant Soil*. v.247, p.377-386. 2011.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.; LIMA, R.M.B. 2004. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. *Scientia Forestalis*, 65: 95-101.

SUNDARAPADIAN, S.M. & SWAMY, P.S. 1999. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management* 123: 231-244.

VELDKAMP, E. Soil Organic Carbon Dynamics in Pastures Established After Deforestation in the Humid Tropics of Costa Rica. PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen. 1993.

VITOUSEK, P.M. 1984. LITTERFALL, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65(1): 285-298.

WATRIN, O. S.; ROCHA, A. M. A. Levantamento de vegetação natural e uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/Landsat. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), 1992. 40p. (Boletim de Pesquisa, 124).

WERNECK, M.S.; PEDRALLI, G. & GIESEKE, L.F. 2001. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. *Revista Brasileira de Botânica* 24(2): 195-198.

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. de S.; CARVALHO, A. M. de. Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2014. 53p. (Documento 265).