



Physical properties of the litter in successional forests of interfluvial plateau and floodplain in the lower Guamá river, Eastern Amazonia

Propriedades físicas da liteira em florestas sucessionais de planalto interfluvial e planície fluvial no baixo rio Guamá, Amazônia Oriental

Julia Isabella de Matos Rodrigues*¹, Walmer Bruno Rocha Martins³, Felipe Cardoso de Menezes¹, Francisco de Assis Oliveira⁴, Tirza Teixeira Brito⁵

Abstract: The forest ecosystems of the Amazonia biome are indispensable for climate regulation and service provision. Among them, the fluvial plains (ESF_{pf}) stand out, due to their role in erosion control and water quality. However, the limited information available on this ecosystem is evident when compared to interfluvial plateaus (ESF_{pi}). Thus, this study aimed to evaluate and compare the litter stock and water storage capacity in successional ecosystems in the Eastern Amazonia. The study ecosystems (ESF_{pf} and ESF_{pi}) are located in the municipality of Belém, Pará, in the region of the lower Guamá River. In each ecosystem, 12 permanent plots (100 m²) were installed, where in the periods of higher and lower rainfall, three subunits of litter samples were randomly collected. Water storage in the rainy season did not differ between ecosystems, while in the less rainy season ESF_{pf} (245.91 ± 73.19%) was higher than ESF_{pi} (182.31 ± 77.25%). For the litter stock, there was no influence of seasonality and in both periods the ESF_{pi} averages were higher. Infer that due to the favorable conditions for the action of the edaphic fauna in the ESF_{pf}, there was a reduction in the contact area of the litter, increasing the water storage capacity. The smaller stock found in the ESF_{pf} allow to infer that there was an efficient cycling of nutrients, since these ecosystems are characterized by high litter deposition. Therefore, the results contribute to the understanding of the functional processes of the Amazon river plains ecosystems.

Key words: Amazonia floodplain. Litter. Secondary forests.

Resumo: Os ecossistemas florestais do bioma Amazônia são indispensáveis para a regulação do clima e provisão de serviços. Dentre eles, destaca-se as planícies fluviais (ESF_{pf}), devido à atuação no controle de erosão e na qualidade da água. No entanto, é evidente a limitação de informações disponíveis sobre este ecossistema, quando comparados aos planaltos interfluviais (ESF_{pi}). Dessa maneira, objetivou-se avaliar e comparar o estoque e a capacidade de armazenamento hídrico em ecossistemas sucessionais na Amazônia Oriental. Os ecossistemas de estudo (ESF_{pf} e ESF_{pi}) estão localizados no município de Belém, Pará, na região do baixo rio Guamá. Em cada ecossistema foram instaladas 12 parcelas permanentes (100 m²), onde nos períodos de maior e menor precipitação pluviométrica coletou-se de maneira aleatória três subunidades de amostra de liteira. O armazenamento hídrico no período chuvoso não diferiu entre os ecossistemas, enquanto no período menos chuvoso ESF_{pf} (245,91 ± 73,19%) foi maior do que ESF_{pi} (182,31 ± 77,25%). Para o estoque, não houve influência da sazonalidade e em ambos os períodos as médias do ESF_{pi} foi maior. Infere-se que devido às condições favoráveis para a ação da fauna edáfica no ESF_{pf} houve redução da área de contato da liteira, aumentando a capacidade de armazenamento hídrico. O menor estoque encontrado no ESF_{pf} permitiu inferir que ocorreu uma eficiente ciclagem de nutrientes, já que esses ecossistemas são caracterizados pela elevada deposição de liteira. Portanto, os resultados obtidos contribuem para o entendimento dos processos funcionais dos ecossistemas de planícies fluviais da Amazônia.

Palavras-chave: Várzea amazônica. Serapilheira. Florestas secundárias.

*Corresponding author

Submitted for publication on 29/06/2023, approved on 19/07/2022 and published on 10/08/2023

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil. E-mail: demenezesfelipe@gmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil. E-mail: juliaisabellarodrigues@gmail.com

³Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, Pará, Brasil. E-mail: walmer.bruno@ufrpa.edu.br

⁴Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil. E-mail: francisco.oliveira@ufrpa.edu.br

⁵Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente. Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: britotirza@gmail.com

INTRODUCTION

The Amazonia plays an important role in the maintenance of human life, on a global and national scale (FEARNSIDE, 2016), since the biodiversity of the biome is responsible for provision of indispensable products and ecosystem services. In floodplains (*várzeas* in popular Portuguese), the high concentration and deposition of nutrients ensure ecosystem productivity, although they have lower floristic diversity due to the stress caused by periodic floods (MARACAHIPES-SANTOS *et al.*, 2020). This ecosystem is indispensable for erosion control, water quality, and carbon stock, as it contains approximately 3 ton ha⁻¹ of above-ground biomass (SILVA *et al.*, 2017). On the other hand, successional ecosystems of interfluvial plateaus, popularly called “terra firme” in Portuguese, are characterized for floristic heterogeneity and the predominance of forest species, which contribute for carbon sequestration due to the fast growth of plants (MEDEIROS-SARMENTO; FERREIRA; GASTAUER, 2021).

Despite the importance of floodplains, information about these ecosystems is still limited due to the difficulty of access. For this, the quantification of litter stock is an efficient and cost-effective way to comprehend how the ecosystem functions. It is because this variable is characterized as the main repository of nutrients in the soil, directly influencing biogeochemical cycles (RODRIGUES *et al.*, 2021). Furthermore, the litter stock has functions such as soil protection, (SILVA *et al.*, 2018a), and water retention (FERREIRA; CATTÂNIO; JARDIM, 2015). It is regulated mainly by litterfall, which depends on biotic and abiotic factors in the ecosystem (WERNECK; PEDRALLI; GIESEKE, 2001). However, water retention is negatively affected by an increase in litter stock, as it is related to the litter’s capacity for absorption and adsorption. This capacity can be intensified by the detritive action of macro and microorganisms that participate in the decomposition process (SILVA *et al.*, 2018b).

Thus, in interfluvial plateau ecosystems, the litter stock and the water holding capacity tend to present differences when compared with floodplain ecosystems (BENTOS *et al.*, 2017). In floodplain ecosystems, due to constant floods, the local plants should be physiologically adapted, and the soil generally has reduced porosity (JUNK *et al.*, 2018), causing stress in the plants and increased litterfall, thus contributing to the buildup of litter stock.

INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha um importante papel para a manutenção da vida humana, em escala nacional e global (FEARNSIDE, 2016), já que biodiversidade do bioma é responsável pela provisão de bens e serviços indispensáveis. Em planícies fluviais (*várzeas*), a elevada concentração e deposição de nutrientes garante a produtividade do ecossistema, embora disponha de pouca diversidade florística devido ao estresse causado pelas inundações periódicas (MARACAHIPES-SANTOS *et al.*, 2020). Esse ecossistema é indispensável no controle de erosão, qualidade de água e estoque de carbono, dispondo de aproximadamente 3 ton ha⁻¹ de biomassa viva acima do solo (SILVA *et al.*, 2017). Por outro lado, ecossistemas sucessionais de planaltos interfluviais, popularmente conhecidos como terra firme, são caracterizados pela heterogeneidade florística e predominância de espécies florestais as quais contribuem para o sequestro de carbono, devido ao rápido crescimento das plantas (MEDEIROS-SARMENTO; FERREIRA; GASTAUER, 2021).

Apesar da importância, em razão da dificuldade de acesso às planícies fluviais, as informações acerca do ecossistema ainda são limitadas. Para isso, a quantificação do estoque de littera é uma maneira eficiente e de baixo custo para compreender o funcionamento do ecossistema. Isso porque esta variável é caracterizada por ser o principal repositório de nutrientes no solo, atuando diretamente nos ciclos biogeoquímicos (RODRIGUES *et al.*, 2021). Ademais, o estoque de resíduos florestais apresenta funções como proteção do solo (SILVA *et al.*, 2018a), e armazenamento de água (FERREIRA; CATTÂNIO; JARDIM, 2015) sendo regulado, principalmente, pela produção de littera, que depende de fatores bióticos e abióticos do ecossistema (WERNECK; PEDRALLI; GIESEKE, 2001). Já o armazenamento da água, geralmente, é correlacionado negativamente com o aumento do estoque, pois está relacionado à capacidade de absorção e adsorção da littera, a qual pode ser intensificada com a fragmentação resultante da ação detritívora de macro e micro organismos que participam da decomposição (SILVA *et al.*, 2018b).

Dessa maneira, em ecossistemas de planaltos interfluviais, o estoque e o armazenamento de água da littera tendem a apresentar diferenças quando comparados aos de ecossistemas de planaltos fluviais (BENTOS *et al.*, 2017). Neste último ecossistema, devido aos constantes alagamentos, as plantas do local devem ser fisiologicamente adaptadas e o solo, em geral, apresenta porosidade reduzida (JUNK *et al.*, 2018), causando estresse na planta e maior deposição de littera, aumentando assim o estoque.

Furthermore, to better understand the obtained information, it is recommended to conduct assessments in different seasons of the year to capture the greatest variability of data. In the case of the Amazonia, where there are no well-defined seasons, assessments should be conducted during periods of both higher and lower rainfall, following climatological normals (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2021; SCORIZA *et al.*, 2012).

Considering the successional forest ecosystems of interfluvial plateaus and floodplains, address the following: What is the differential magnitude of litter stock and water holding capacity between these successional forest ecosystems? It is hypothesized that if the floodplain ecosystem is characterized by sediment drag due to tidal flow, it will have a lower litter stock, and consequently, a higher litter water holding capacity. Thus, this study aimed to evaluate and compare the litter stock and the water holding capacity in two successional forest ecosystems, located in the lower Guamá River, Eastern Amazonia.

MATERIAL AND METHODS

Study site

The study sites are located in the campus of the Federal Rural University of Amazonia (1° 27' 14"S and 48° 26' 22"O), along the lower Guamá river, in the city of Belém, Pará (Figure 1). The prevailing climate in this region is classified as Af, according to the Köppen classification (DUBREUIL *et al.*, 2018), characterized by high temperature and abundant rainfall. The mean annual precipitation is recorded at 2,075.7 mm, and the average temperature is 28.5 °C (INMET, 2022). The relief in this area is predominantly flat, encompassing extensive plains with slightly undulating environments. The prevailing soil types are Oxisols, Typic Plinthudult, and Entisols with plinthite, with their texture ranging from clayey to very clayey (SiBCS, 2014).

Para maior compreensão das informações obtidas, as avaliações devem ser feitas em diferentes estações do ano, visando captar a maior variabilidade dos dados. No caso da Amazônia, como não existem estações bem definidas, são indicadas avaliações nos períodos de maior e menor precipitação pluviométrica, seguindo as normais climatológicas (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2021; SCORIZA *et al.*, 2012).

Diante disso, tendo em vista os ecossistemas sucessionais de floresta de planaltos interfluviais e os de planícies fluviais, parte-se do seguinte questionamento: Qual a magnitude diferencial do estoque e da capacidade de armazenamento hídrico da liteira entre ecossistemas sucessionais de floresta? Hipotetiza-se que se o ecossistema de planície fluvial é caracterizado pelo arraste de sedimentos devido ao fluxo de marés, então neste haverá menor estoque e, conseqüentemente, maior capacidade de armazenamento hídrico da liteira. Sendo assim, objetivou-se foi avaliar e comparar o estoque e a capacidade de armazenamento de água da liteira em dois ecossistemas sucessionais de floresta localizados no baixo rio Guamá, Amazônia Oriental.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os ecossistemas de estudo localizam-se na Universidade Federal Rural da Amazônia (1° 27' 14"S e 48° 26' 22"O), baixo rio Guamá, município de Belém, Pará (Figura 1). O clima predominante é do tipo Af de acordo com a classificação de Köppen (DUBREUIL *et al.*, 2018), com precipitação média de 275,7 mm anual e com temperatura média de 28,5 °C (INMET, 2022). O relevo da região é classificado como plano em sua maior extensão, com ambientes levemente ondulados e com solos das classes: Latossolo Amarelo distrófico, Plintossolo Pétrico e Háplico e Gleissolo com textura que varia de argilosa a muito argilosa (SiBCS, 2014).

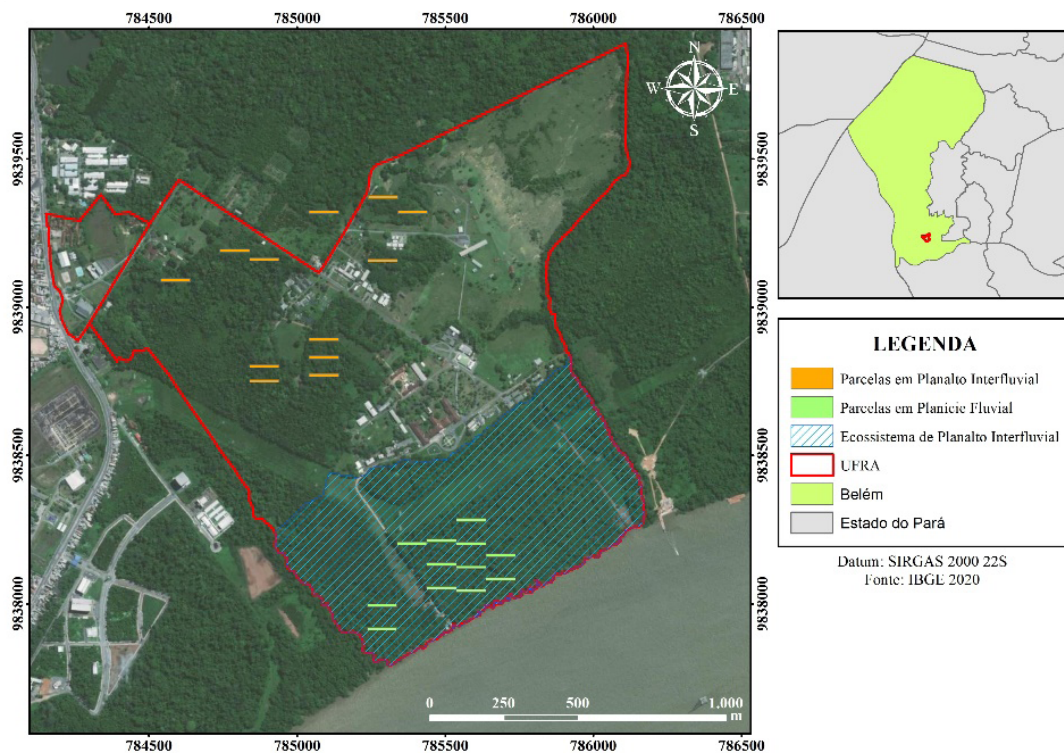


Figure 1 - Successional forest ecosystems of the interfluvial plateau and floodplain located along the lower Guamá river, Belém, Pará, Eastern Amazonia ($1^{\circ} 27' 14''$ S and $48^{\circ} 26' 22''$ O).

Figura 1 - Ecossistemas sucessionais de florestas de planalto interfluvial e planície fluvial localizados no baixo rio Guamá, Belém - PA, Amazônia Oriental ($1^{\circ} 27' 14''$ S e $48^{\circ} 26' 22''$ O).

For this research, the following ecosystems were evaluated: the Successional Forest Ecosystem of the Floodplain (ESF_{pi}) and the Successional Ecosystem of the Interfluvial Plateau (ESF_{pi}). The first ecosystem is commonly known as “várzea” in Brazil and is characterized by the prevalence of Inceptisol and Inceptisol (Aquept) soils. Additionally, this ecosystem experiences periodic floods controlled by the tides. On the other hand, the ESF_{pi} , known as “terra firme” in Brazil, is dominated by Oxisol, Entisols with plinthite and Typic Plinthudult soils.

Experimental design

The experimental design was the completely randomized design (CRD), installing 12 permanent plots in each ecosystem, measuring 10 m x 100 m. The collection of litter stock was carried out randomly within the plots, in September 2020 and March 2021, corresponding to the periods classified as least rainy and rainiest, respectively, according to climatological normals (INMET, 2022).

Para a pesquisa, foram avaliados dois ecossistemas, sendo: Ecossistema sucessionais de floresta em planície fluvial (ESF_{pi}) e ecossistema sucessionais de floresta em planalto interfluvial (ESF_{pi}). No primeiro, denominado popularmente como “várzea”, há a predominância de solos da classe Gleissolo Háptico. Além disso, este ecossistema é caracterizado pelas inundações periódicas, controladas pelas marés. No ESF_{pi} , conhecido como “terra firme”, ocorre o predomínio de solos Latossolo Amarelo aluminico, Plintossolo Pétrico e Plintossolo Háptico.

Delineamento Experimental

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 12 parcelas permanentes de 10 m x 100 m em cada ecossistema. As coletas de liteira foram realizadas de maneira aleatória no interior das parcelas, em setembro de 2020 e março de 2021, sendo classificados como período menos e mais chuvoso, respectivamente, de acordo com as normais climatológicas (INMET, 2022).

a) Field procedures

In each plot, were collected three subunits with a metallic square template of area 0.0625 m² (0.25 m x 0.25 m), resulting in a total of 36 subunits per ecosystem in each period. The samples were identified and packed in plastic bags and sent to the Laboratory of Ecosystem Management and Watersheds, which belongs to the Federal Rural University of Amazonia, Belém city.

b) Laboratory procedures

In the laboratory it was evaluated the litter water holding capacity (Equation 1) using the methodology described by Martins *et al.* (2018), which was adapted from Blow (1955). The evaluation process involved the following steps: 1) submerging the samples in trays with water for 90 minutes; 2) removing the excess water; 2) inclining the trays at an angle of 30° for 30 minutes; and 4) weighing of wet mass (Figure 2). Subsequently, the samples were in air placed the samples in air circulation for 72 h at a constant temperature of 70 °C to obtain the dry mass, measured using a precision analytical balance (Equation 2).

$$WHC (\%) = \frac{WM - DM}{DM} * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Where: WHC = Water Holding Capacity (%); WM = Wet Mass (g); DM = Dry Mass (g).

$$LS = \frac{DM}{A} * 0,01 \quad \text{Eq. 2}$$

Where: LS= Litter Stock (Mg ha⁻¹); DM = Dry Mass (g); A=Metallic square template area (m²).

Data analysis

The data was tested as normality and homoscedasticity of variance through Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0.05$) and Bartlett ($p \leq 0.05$) tests, respectively. For the hypothesis test, we compared the means between the ecosystems and between periods with Student's t test ($p \leq 0.05$). We use the statistic software R were used for to realize the statistics analysis and graphics (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

a) Procedimento de campo

Em cada parcela, foram coletados três subunidades de amostras com auxílio de um coletor metálico quadrado de 0,0625 m² (0,25 m x 0,25 m), perfazendo um total de 36 subunidades por ecossistema em cada período. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacolas plásticas adequadamente identificadas e levadas ao laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas da Universidade Federal Rural da Amazônia, município de Belém.

b) Procedimentos laboratoriais

Em laboratório, avaliou-se a capacidade de armazenamento hídrico (Equação 1) utilizando a metodologia de Martins *et al.* (2018), adaptada de Blow (1955), por meio das etapas: 1) submersão das amostras em bandejas com água por 90 minutos; 2) retirada do excesso de água; 3) inclinação das bandejas em um ângulo de 30° por 30 minutos; e 4) pesagem de massa úmida (MU) (Figura 2). Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em estufas de circulação ar por 72 h e a 70 °C; a massa seca foi pesada em balança analítica de precisão. Para obtenção do estoque, fez-se a transformação dos dados de massa seca para a unidade de medida internacional megagrama por hectare (Equação 2).

Onde: CRH = Capacidade de armazenamento de água ou de retenção hídrica (%); Mu = Massa úmida (g); Ms = Massa seca (g).

Onde: Es = Estoque de serapilheira (Mg ha⁻¹); MS = Massa seca da serapilheira (g); A= área do coletor (m²).

Análise de dados

Os dados foram testados quanto à normalidade e homoscedasticidade de variância por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0,05$) e Bartlett ($p \leq 0,05$), respectivamente. Para o teste de hipótese, comparamos as médias entre os ecossistemas e entre os períodos por meio do teste t de Student ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o software estatístico R para realizar as análises estatísticas e os gráficos (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).



Figure 2 - Laboratory procedures used for analysis of water holding capacity of successional forest ecosystems of interfluvial plateau and floodplain along the lower Guamá river, Belém, Pará, Eastern Amazonia.

Where: A = samples submersion in trays with water for 90 minutes; B = removal of water excess and tray inclination, and C = measurement of wet mass.

Figura 2 - Procedimentos laboratoriais utilizados para análise da capacidade de armazenamento hídrico dos ecossistemas sucessionais de florestas de planalto interfluvial e planície fluvial no baixo rio Guamá, Belém – PA, Amazônia Oriental.

Onde: A = submersão das amostras em bandeja com água por 90 min; B= retirada do excesso de água e inclinação da bandeja e C = pesagem da massa úmida.

RESULTS

In the rainiest period, the litter water holding capacity was $348.88 \pm 103.51\%$ and $320.82 \pm 58.95\%$ for ESF_{pf} and ESF_{pi} , respectively. However, there was no statistically significant difference between the ecosystems (Figure 3). In the least rainy period, the average for ESF_{pf} ($245.91 \pm 73.19\%$) was significantly greater than that of ESF_{pi} ($183.31 \pm 77.25\%$). When comparing the average between periods, the rainiest period resulted in a higher litter water holding capacity in both ecosystems.

RESULTADOS

No período chuvoso, a capacidade média de armazenamento de água da liteira foi de $348,88 \pm 103,51\%$ e $320,82 \pm 58,95\%$ para ESF_{pf} e ESF_{pi} , respectivamente, porém não houve diferença estatística entre os ecossistemas (Figura 3). No período menos chuvoso, a média de ESF_{pf} ($245,91 \pm 73,19\%$) foi significativamente maior do que a do ESF_{pi} ($182,31 \pm 77,25\%$). Quando comparadas as médias entre períodos, o período chuvoso resultou em maior armazenamento hídrico nos dois ecossistemas.

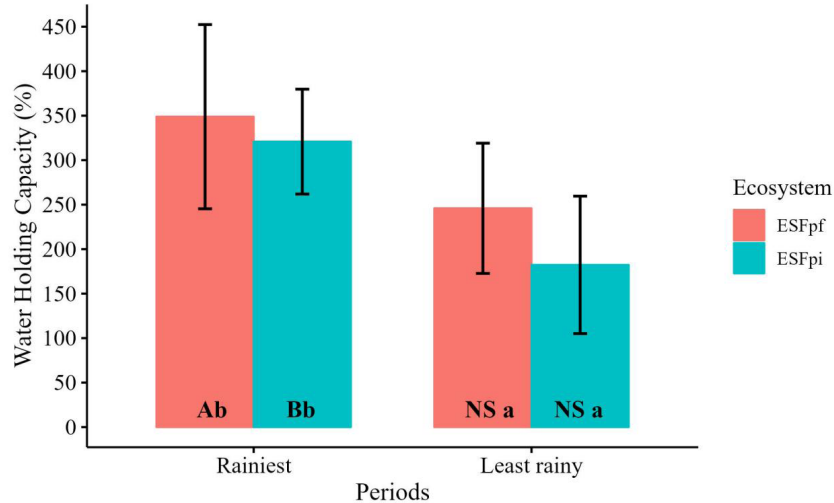


Figure 3 - Average \pm SD of litter water holding capacity (%) of successional forest ecosystems of floodplain (ESF_{pf}) and interfluvial plateau (ESF_{pi}) located in Belém city, Pará, for September 2020 (least rainy) and March 2021 (rainiest).

Lowercase letters indicate the average comparisons between ecosystems for the same period, according to Student's t test ($p \leq 0.05$). Uppercase letters indicate the comparison of the same ecosystem between periods, according to Student's t test ($p \leq 0.05$).

Figura 3 - Média \pm SD da capacidade de armazenamento de água da liteira (%) de Ecossistemas Sucessionais de Floresta em planície fluvial (ESF_{pf}) e em planalto interfluvial (ESF_{pi}) localizados no município de Belém - PA, referentes a setembro de 2020 (Menos chuvoso) e março de 2021 (Chuvoso).

Letras maiúsculas indicam a comparação de médias entre ecossistemas para o mesmo período, de acordo com o teste t de Student ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas representam a comparação do mesmo ecossistema entre os períodos, segundo o teste t de Student ($p \leq 0,05$).

In the least rainy period, the litter dry mass average varied from 5.60 ± 2.53 Mg ha⁻¹ to 7.11 ± 3.36 Mg ha⁻¹ for ESF_{pf} and ESF_{pi}, respectively. In the rainiest period, this variation was 4.83 ± 2.48 Mg ha⁻¹ to 6.55 ± 4.09 Mg ha⁻¹ for the same ecosystems, in that order. In both the rainiest and least rainy periods, the ESF_{pi} average was significantly higher than ESF_{pf} ($F_{(5\%;1)} = 4.638$; $p\text{-value} \leq 0.05$) (Figure 4). There was no verified influence of the collection period on both ecosystems.

No período menos chuvoso as médias de massa seca do estoque de liteira variaram de $5,60 \pm 2,53$ Mg ha⁻¹ a $7,11 \pm 3,36$ Mg ha⁻¹ para ESF_{pf} e ESF_{pi}, respectivamente. No período chuvoso, essa variação foi de $4,83 \pm 2,48$ Mg ha⁻¹ a $6,55 \pm 4,09$ Mg ha⁻¹ para os mesmos ecossistemas, nesta ordem. Tanto no período chuvoso quanto menos chuvoso a média de ESF_{pi} foi significativamente maior do que ESF_{pf} ($F_{(5\%;1)} = 4,638$; $p\text{-valor} \leq 0,05$) (Figura 4). Não foram constatadas influência do período de coleta para os ecossistemas.

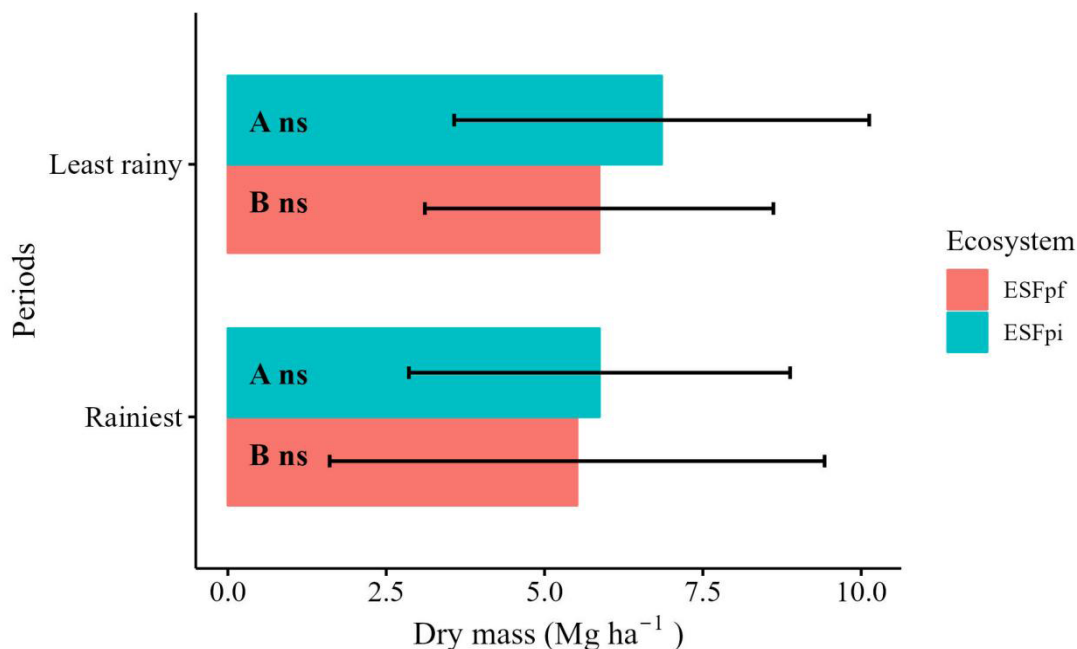


Figure 4 - Average \pm SD of litter stock (Mg ha^{-1}) of successional forest ecosystems of floodplain (ESF_{pf}) and interfluvial plateau (ESF_{pi}) located in Belém city, Pará, for September 2020 (least rainy) and March 2021 (rainiest).

Lowercase letters indicated the average comparison between ecosystem for the same period, according to Student's t test ($p \leq 0.05$). Uppercase letters indicate the comparison of the same ecosystem between periods, according to Student's t test ($p \leq 0.05$).

Figura 4 - Média \pm SD do estoque de liteira (Mg ha^{-1}) de Ecosystemas Sucessionais de Floresta em planície fluvial (ESF_{pf}) e em planalto interfluvial (ESF_{pi}) localizados no município de Belém - PA, referentes a setembro de 2020 (Menos chuvoso) e março de 2021 (Chuvoso).

Letras maiúsculas indicam a comparação de médias entre ecossistemas para o mesmo período, de acordo com o teste t de Student ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas representam a comparação do mesmo ecossistema entre os períodos, segundo o teste t de Student ($p \leq 0,05$).

DISCUSSION

The initial hypothesis, that ESF_{pf} has a lower litter stock and a higher litter water holding capacity compared to ESF_{pi} , was not rejected. Additionally, infer that the more suitable humidity and microclimate in ESF_{pf} favored the action of decomposing entomological fauna, as well as fungi and bacteria (SANTOS; BARRETO-GARCIA; SCORIZA, 2018). This feature reduces the litter contact surface, increasing the porosity, and consequentially, the water holding capacity (MATEUS *et al.*, 2013; PIAZZA *et al.*, 2021). In the leaf fraction, this is more evident due to the lower amount of lignin, which favors its degradation (BUFACCHI *et al.*, 2020).

DISCUSSÃO

A hipótese inicial de que o ESF_{pf} apresenta menor estoque e maior capacidade de armazenamento hídrico na liteira, em comparação com o ESF_{pi} , não foi rejeitada. Além do arraste de sedimentos, infere-se que a maior umidade no ESF_{pf} e microclima adequados favoreceram a ação da entomofauna decompositora, além de fungos e bactérias (SANTOS; BARRETO-GARCIA; SCORIZA, 2018). Essa característica proporciona redução na superfície de contato da liteira, aumentando a porosidade e, consequentemente, a capacidade de armazenar água (MATEUS *et al.*, 2013; PIAZZA *et al.*, 2021). Na fração foliar, isso é mais evidente, devido à menor quantidade de lignina, o que favorece a sua degradação (BUFACCHI *et al.*, 2020).

The lower litter stock in ESF_{pf} can also be related to the low floristic diversity in this ecosystem, which reduces the litterfall and subsequently, the litter stock (SCHÖNGART; ROCHA; QUEIROZ, 2010). This occurs due to the periodic floods resulting from tidal flows, which cause drenching and creating an inhospitable environment for most species (CAMARGO; GIARRIZZO; JESUS, 2015). In addition, in this ecosystem there is a floristic homogeneity (MEDEIROS *et al.*, 2019). Maracahipes-Santos *et al.* (2020) found that species diversity in riparian ecosystems is directly influenced by proximity to cultivation areas. Therefore, the proximity to the urban zone should be a limiting factor to diversity, which could explain the lower litter stock.

Regarding the effects of seasonality, the intra-ecosystem observation showed an influence on water holding. The physical properties of this litter are indispensable for maintaining functional processes in ESF_{pi}, as they prevent flooding in the forest site and minimize nutrient losses through leaching (FLORES *et al.*, 2020). However, no seasonal impacts were identified on the litter stock, although the climate elements are essentially decisive and limiting factors for litterfall. For example, in plateau ecosystems, the productivity peaks are observed in dry periods, (SILVA *et al.*, 2018b), while the opposite occurs in plains (HAWES; PERES, 2016).

A justification for the influence of seasonality is the release of leaves and seed as an adaptation strategy of plants to the stress caused by reduction of O₂ in the soil in plains ecosystems (MARTINEZ; MOURÃO; BRIENZA JUNIOR, 2011; HAWES; PERES, 2016). It becomes more valid, knowing that *Hura crepitans* L. presents a higher IVI (Importance Value Index) in the ESF_{pf} (MEDEIROS *et al.*, 2019). This is because several authors (SCHÖNGART *et al.*, 2002; MARTINEZ; MOURÃO; BRIENZA JUNIOR, 2011; FIGUEIREDO *et al.*, 2015) identify the use of this strategy, promoting increases in the flux, and consequently, in the litter stock. Thus, the absence of seasonality effect for litter stock, as found in this study, point to efficient nutritional recycling in the ESF_{pf} and constancy in the standards of litter stock over the year for ESF_{pi}.

O menor estoque no ESF_{pf} também pode estar relacionado à baixa diversidade florística nesse ecossistema, que reduz a produção de liteira e, por conseguinte, o estoque (SCHÖNGART; ROCHA; QUEIROZ, 2010). Isso ocorre devido às inundações periódicas decorrentes do fluxo de marés, as quais ocasionam encharcamento e um ambiente inóspito para a maioria das espécies (CAMARGO; GIARRIZZO; JESUS, 2015). Ademais, nesse ecossistema observa-se também a homogeneidade florística (MEDEIROS *et al.*, 2019). Maracahipes-Santos *et al.* (2020) evidenciaram que a diversidade de espécies em ecossistemas ripários é diretamente influenciada pela proximidade com áreas de cultivo. Sendo assim, acredita-se que a aproximação com a zona urbana seja um fator que limite essa diversidade, justificando o menor estoque de liteira.

Em relação aos efeitos da sazonalidade, a observação intraecossistema demonstrou influência para o armazenamento hídrico, sendo esta propriedade física da liteira indispensável para a manutenção dos processos funcionais em ESF_{pi}, pois evita alagamentos no interior da floresta e minimiza a perda de nutrientes por lixiviação (FLORES *et al.*, 2020). Todavia, não foram identificados impactos sazonais para o estoque, embora os elementos do clima sejam essencialmente decisivos e limitantes para a deposição de liteira, já que nos ecossistemas de planalto os picos de produtividade são constatados nos períodos mais secos (SILVA *et al.*, 2018b), enquanto que o contrário ocorre nas planícies (HAWES; PERES, 2016).

Uma justificativa para a influência da sazonalidade é a liberação de folhas e sementes como estratégia de adaptação das plantas aos estresses causados pela diminuição de O₂ no solo em ecossistemas de planícies (MARTINEZ; MOURÃO; BRIENZA JUNIOR, 2011; HAWES; PERES, 2016). Isso se torna ainda mais válido sabendo que *Hura crepitans* L. apresenta o maior IVI (Índice de Valor de Importância) no ESF_{pf} (MEDEIROS *et al.*, 2019), pois diversos autores (SCHÖNGART *et al.*, 2002; MARTINEZ; MOURÃO; BRIENZA JUNIOR, 2011; FIGUEIREDO *et al.*, 2015) identificaram o uso desta estratégia pela espécie, promovendo um aumento no fluxo e, conseqüentemente, no estoque de liteira. Dessa maneira, a ausência do efeito da sazonalidade para o estoque de liteira, constatada nesse estudo, indica a eficiente reciclagem nutricional no ESF_{pf} e a constância nos padrões de estoque ao longo do ano para ESF_{pi}.

CONCLUSIONS

The seasonality influences litter water holding capacity, but does not promote effects on the litter stock;

The litter stock is lower in the plain ecosystem;

Believe that the findings of this research can contribute widely to the understanding of functional processes of floodplains ecosystems of Amazonia and assist in decisions for forest management.

ACKNOWLEDGMENT

The Ecosystem and Watershed Management Laboratory of the Federal Rural University of the Amazonia provided logistical and structural support. The Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) granted a master's scholarship to the author.

CONCLUSÕES

Evidenciou-se que a sazonalidade influencia no armazenamento hídrico da liteira, porém não promove efeitos para o estoque;

O menor estoque de liteira ocorre no ecossistema de planície;

Espera-se que os achados dessa pesquisa possam contribuir amplamente para o entendimento dos processos funcionais dos ecossistemas de planícies fluviais da Amazônia, auxiliando também nas tomadas de decisões para o manejo do ecossistema.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas pelo apoio logístico e estrutural. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado para o autor.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- BENTOS, T. V.; NASCIMENTO, H. E. M.; VIZCARRA, M. A.; WILLIAMSON, G. B. Effects of lightgaps and topography on Amazon secondary forest: Changes in species richness and community composition. **Forest Ecology and Management**, v. 396, p. 124-131, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.018>
- BRASIL, N. M. Q. X.; NETO, A. B. B.; PAUMGARTTEN, A. É. A.; SILVEIRA, J. M. Q. X.; SILVA, A. A. Análise multitemporal da cobertura do solo do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará/ Multitemporal analysis of the soil coverage of the Utinga State Park, Belém, Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36109-36118, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-193>
- BUFACCHI, P.; BIZZO, W. A.; BUCKERIDGE, M. S.; FRANCO-JACOME, D. L.; GRANDIS, A.; CAMBLER, A. B.; KRIEGER FILHO, G. C. Thermal degradation of leaves from the Amazon rainforest litter considering non-structural, structural carbohydrates and lignin composition. **Bioresource Technology Reports**, v. 11, p. 100490, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100490>
- CAMARGO, M.; GIARRIZZO, T.; JESUS, A. J. S. Efeito da variação da inundação sazonal na produção de serrapilheira numa floresta aluvial do médio Rio Xingu (bacia do Amazonas, Brasil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. S250-S256, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00514BM>
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; NETO, J. L. S. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, v. 37, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 47-61, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1007-2>
- FIGUEIREDO, S. M. M.; VENTICINQUE, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; FERREIRA, E. J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 2, p. 167-174, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201402834>
- FLORES, B. M.; STAAL, A.; JAKOVAC, C. C.; HIROTA, M.; HOLMGREN, M.; OLIVEIRA, R. S. Soil erosion as a resilience drain in disturbed tropical forests. **Plant and Soil**, v. 450, n. 1-2, p. 11-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04097-8>
- HAWES, J. E.; PERES, C. A. Patterns of plant phenology in Amazonian seasonally flooded and unflooded forests. **Biotropica**, v. 48, n. 4, p. 465-475, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12315>
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>> Acessado em: 20 de agosto de 2021
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; CUNHA, C. N.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. Macrohabitat studies in large Brazilian floodplains to support sustainable development in the face of climate change. **Ecohydrology and Hydrobiology**, v. 18, n. 4, p. 334-344, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.007>
- MARACAHIPES-SANTOS, L.; SILVÉRIO, D. V.; MACEDO, M. N.; MARACAHIPES, L.; JANKOWSKI, K. J.; PAOLUCCI, L. N.; NEILL, C.; BRANDO, P. M. Agricultural land-use change alters the structure and diversity of Amazon riparian forests. **Biological Conservation**, v. 252, p. 108862, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108862>
- MARTINEZ, G. B.; MOURÃO, M.; BRIENZA JUNIOR, S. Respostas morfofisiológicas de plantas de açacu (*Hura crepitans* L.) provenientes de várzea do rio Amazonas: efeito de anoxia do solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1155-1164, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000700001>
- MARTINS, W. B. R.; DO VALE, R. L.; FERREIRA, G. C.; DE ANDRADE, V. M. S.; DIONÍSIO, L. F. S.; RODRIGUES, R. P.; DE ASSIS OLIVEIRA, F.; DE SOUZA, G. M. P. Litterfall, litter stock and water holding capacity in post-mining forest restoration ecosystems, Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i3a5546>

- MATEUS, F. A.; DO COUTO MIRANDA, C.; VALCARCEL, R.; FIGUEIREDO, P. H. A. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 336-343, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4322/floram.2013.024>
- MEDEIROS-SARMENTO, P. S.; FERREIRA, L. V.; GASTAUER, M. Natural regeneration triggers compositional and functional shifts in soil seed banks. **Science of the Total Environment**, v. 753, p. 141934, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141934>
- MEDEIROS, A. M.; VASCONCELOS, L. G. T. R.; CORDEIRO, I. M. C. C.; CATTANIO, J. H.; OLIVEIRA, F. A. Fitossociologia de um ecossistema de planície fluvial da UFRA no município de Belém-PA. In: **Avaliação de Impactos e de Sustentabilidade das Atividades Agroambientais**. [s.l.] Antonella Carvalho de Oliveira, 2019. p. 74-83. DOI: [10.22533/at.ed.5891908038](https://doi.org/10.22533/at.ed.5891908038)
- PIAZZA, M. V.; MAZÍA, N.; KITZBERGER, T.; CHANETON, E. J. Chronic insect herbivores accelerate litter decomposition and nutrient recycling rates along an environmental/herbivory gradient in northern Patagonia. **Forest Ecology and Management**, v. 479, p. 118534, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118534>
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, 2021.
- RODRIGUES, J. I. M.; AMARAL, L. F. F. DO; MARTINS, W. B. R.; SANTOS JUNIOR, H. B. DOS; AMORIM, L. S. V.-B.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. Aporte e estoque de serrapilheira no Brasil: uma análise bibliométrica da produção científica de 2008 a 2019. **Scientia Plena**, v. 17, n. 6, p. 1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.067301>
- SANTOS, R. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N. Fungos micorrízicos arbusculares e serrapilheira como indicadores do efeito de borda em fragmento de floresta estacional. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 324, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509831603>
- SANTOS JUNIOR, H. B.; ARAÚJO, E. A. A.; RODRIGUES, J. I. M.; MARTINS, W. B. R.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; OLIVEIRA, F. A. Fitossociologia e propriedades físicas da liteira em um ecossistema sucessional alterado pela agricultura itinerante na Amazônia oriental. **Scientia Plena**, v. 17, n. 6, p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.060202>
- SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 4, p. 581-597, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002389>
- SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; 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.
- SILVA, R. L.; LEITE, M. F. A.; MUNIZ, F. H.; DE SOUZA, L. A. G.; DE MORAES, F. H. R.; GEHRING, C. Degradation impacts on riparian forests of the lower Mearim river, eastern periphery of Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 402, p. 92-101, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.019>
- SILVA, W. B.; PÉRICO, E.; DALZUCHIO, M. S.; SANTOS, M.; CAJAIBA, R. L. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 429, p. 189-197, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.020>
- Soil Survey Staff. **Key to Soil Taxonomy**. 12th ed. Washington, Dc. United State Department of Agriculture, NRCS, 2014.
- WERNECK, M. D. S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 195-198, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000200009>