

Influência de diferentes módulos de produção agroflorestal na biomassa de raízes finas no sudeste da Amazônia

Influence of different agroforestry production modules on fine roots biomass in the southeastern Amazon

Influencia de diferentes módulos de producción agroflorestal sobre la biomasa de raíces finas en el sureste amazónico

Recebido: 21/02/2024 | Revisado: 27/02/2024 | Aceitado: 28/02/2024 | Publicado: 29/02/2024

Jéssica Araújo Heringer Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6216-1632>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: jessica.heringer@outlook.com

Lígia Haira Duarte de Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1335-4311>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: ligiahaira19@gmail.com

Thaís Gonzaga de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9174-0499>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: gonzagathaisufra@gmail.com

Deirilane Galvão de Moraes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6790-4280>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: deirilane63@gmail.com

Felipi Lima dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7854-2510>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: felipilimaufra@gmail.com

Paulo Henrique Pereira de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5229-3453>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: perrick13@gmail.com

Fernando da Costa Brito Lacerda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3680>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: fernando.lacerda@ufra.edu.br

Resumo

Os SAF promovem importantes serviços ecossistêmicos associados a ciclagem e dinâmica do carbono (C), podendo armazenar C na biomassa vegetal comparável, muitas vezes, às florestas naturais. Assim, este trabalho objetivou quantificar e comparar a biomassa de raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm) em diferentes módulos de SAF (M1, M2, M3, M4, M5) no sudeste do Pará, tendo como referência duas áreas adjacentes (pastagem de *Urochloa* sp. e floresta secundária). Os módulos apresentam culturas comuns (banana, mandioca, abacaxi, milho, cacau), variando em função de outras espécies consorciadas. Cada módulo possui área de 2 ha, mesmo histórico e tempo de implantação, e em cada um foram instadas aleatoriamente cinco parcelas de 5×5 m, onde coletamos 3 amostras de solo (0-10 cm) com cilindro volumétrico (196 cm³). Em laboratório, as raízes foram lavadas em água corrente sob malha de 0,5 mm e triadas com uso de pinças e paquímetro. A biomassa radicular foi estimada por meio da massa seca (g.m²) e as comparações estatísticas feitas por ANOVA e o pós-teste de Tukey. Floresta e pastagem apresentaram maior biomassa de raízes finas comparada aos módulos de SAF, que foram semelhantes entre si ($p < 0.001$; Floresta=283.95g.m²; M1=89.01g.m²; M2=65.89g.m²; M3=56.27g.m²; M4=115.96g.m²; M5=81.44g.m²; Pasto=359.25g.m²). Na floresta, a alta densidade e diversidade de espécies podem ter elevado a biomassa. A similaridade entre os módulos de SAF indica o tempo de implantação (um ano) como insuficiente para influenciar diferentemente a biomassa de raízes, ademais, o histórico da área e o manejo do solo influenciam a biomassa radicular, diferindo-a da floresta analisada.

Palavras-chave: Carbono; Biomassa radicular; Serviços ecossistêmicos.

Abstract

AFS provide important ecosystem services associated with carbon (C) cycling and dynamics and can store C in plant biomass that is often comparable to natural forests. The aim of this study was to quantify and compare the biomass of fine roots (diameter ≤ 2 mm) in different SAF modules (M1, M2, M3, M4, M5) in the southeast of Pará, using two adjacent areas (*Urochloa* sp. pasture and secondary forest) as a reference. The modules have common crops (banana, manioc, pineapple, corn, cocoa), varying according to the other species intercropped. Each module has an area of 2 ha, the same history and time of implantation, and five 5×5 m plots were randomly installed in each one, where we collected 3 soil samples (0-10 cm) with a volumetric cylinder (196 cm³). In the laboratory, the roots were washed in running water under a 0.5 mm mesh and sorted using tweezers and a caliper. Root biomass was estimated using dry mass (g.m²) and statistical comparisons were made using ANOVA and Tukey's post-test. Forest and pasture showed greater fine root biomass compared to the SAF modules, which were similar to each other ($p < 0.001$; Forest=283.95g.m²; M1=89.01g.m²; M2=65.89g.m²; M3=56.27g.m²; M4=115.96g.m²; M5=81.44g.m²; Pasture=359.25g.m²). In the forest, the high density and diversity of species can increase biomass. The similarity between the SAF modules indicates that the time of implementation (one year) is insufficient to influence root biomass differently, and that the history of the area and soil management influence root biomass, differentiating it from the forest analyzed.

Keywords: Carbon; Root biomass; Ecosystem services.

Resumen

Los SAF proporcionan importantes servicios ecosistémicos asociados con el ciclo y la dinámica del carbono (C), y pueden almacenar C en la biomasa vegetal que a menudo es comparable a la de los bosques naturales. El objetivo de este estudio fue cuantificar y comparar la biomasa de raíces finas (diámetro ≤ 2 mm) en diferentes módulos de SAF (M1, M2, M3, M4, M5) en el sudeste de Pará, tomando como referencia dos áreas adyacentes (pastizal de *Urochloa* sp. y bosque secundario). Los módulos tienen cultivos comunes (banana, mandioca, piña, maíz, cacao), variando de acuerdo con las otras especies intercaladas. Cada módulo tiene una superficie de 2 ha, la misma historia y época de implantación, y en cada uno se instalaron aleatoriamente cinco parcelas de 5×5 m, donde se recogieron 3 muestras de suelo (0-10 cm) con un cilindro volumétrico (196 cm³). En el laboratorio, las raíces se lavaron en agua corriente bajo una malla de 0,5 mm y se clasificaron utilizando pinzas y un calibre. La biomasa de las raíces se estimó mediante la masa seca (g.m²) y las comparaciones estadísticas se realizaron mediante ANOVA y postest de Tukey. El bosque y los pastos mostraron una mayor biomasa de raíces finas en comparación con los módulos SAF, que fueron similares entre sí ($p < 0,001$; Bosque=283.95g.m²; M1=89,01g.m²; M2=65,89g.m²; M3=56,27g.m²; M4=115,96g.m²; M5=81,44g.m²; Pasto=359,25g.m²). En el bosque, la alta densidad y diversidad de especies puede aumentar la biomasa. La similitud entre los módulos SAF indica que el tiempo de implantación (un año) es insuficiente para influir de forma diferente en la biomasa radicular, y que la historia de la zona y la gestión del suelo influyen en la biomasa radicular, diferenciándola del bosque analizado.

Palabras clave: Carbono; Biomasa radicular; Servicios ecosistémicos.

1. Introdução

O principal uso da terra na Amazônia está associado à agricultura familiar ou de subsistência (Nunes Lima & Pereira Pontes Filho, 2020). Nesse modo de produção, o preparo da área é feito tradicionalmente por meio do corte e queima de florestas primárias ou secundárias, que permite o estabelecimento de um ciclo de cultivo agrícola que é mantido até que a fertilidade do solo decresça ao nível de degradação (Sotta et al., 2019). Basicamente, é feito uma alternância entre os cultivos agrícolas e o período de pousio, que é quando a área em degradação é abandonada para que a vegetação secundária regenere e as propriedades do solo melhorem, tornando-se apta novamente para a agricultura (Silva et al., 2021). Assim, a biomassa vegetal queimada funciona como uma rápida fonte de nutrientes que faz com que a área reestabeleça sua produtividade (Carvalho et al., 2019). Contudo, pressões demográficas e a intensificação da reutilização dos espaços usados para agricultura tem tornado esse sistema cada vez mais insustentável (Rego & Kato, 2018), que passou a ser apontado como um grande causador de degradação ambiental, perdas de biodiversidade e aumento das emissões de gases estufa (Butzke et al., 2020).

Diante disso, os sistemas agroflorestais (SAF) são indicados como uma alternativa mais sustentável de produção para pequenas propriedades, são sistemas biodiversos, integrando árvores ou outras espécies perenes lenhosas com cultivos agrícolas e/ou pecuária (Camargo et al., 2019). Isso diversifica a produção e quebra o ciclo de agricultura migratória, visto que em uma mesma área é possível a geração de produtos e renda a curto, médio e longo prazo (Rego & Kato, 2018). Cabe ressaltar que por serem estruturalmente complexos, com formação de estrato superior, médio e inferior, os SAF podem estocar

grandes quantidades de carbono (C) na biomassa vegetal e na matéria orgânica do solo (Ramos et al., 2017), o que torna esses sistemas agrícolas de grande relevância dentro das discussões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC 2016), devido sua capacidade de sequestrar C da atmosfera e contribuir para a redução das emissões.

Contudo, a maioria dos estudos de biomassa em SAF se concentrou apenas no componente acima do solo, enquanto outros importantes reservatórios de carbono, como o da biomassa de raízes, ainda são pouco estudados. Para exemplificar isso, recentemente Ramos et al. (2017) quantificaram os estoques de carbono em sistemas agroflorestais com cacau (*Theobroma cacao* Linn.) e dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) no nordeste paraense e verificaram que, de acordo com o arranjo das espécies consorciadas e o tipo de manejo empregado, a biomassa área variou de 16,25 a 72,89 Mg ha⁻¹, a produção de serapilheira de 1,44 a 6,35 Mg ha⁻¹, a biomassa de raízes finas (diâmetro ≥ 5 mm) de 3,35 a 10,67 Mg ha⁻¹ e os estoque de carbono orgânico do solo de 24,25 a 38,13 Mg C ha⁻¹, demonstrando a importância de se avaliar esses diferentes reservatórios para um melhor monitoramento da dinâmica de C a nível de ecossistema.

É importante salientar que as raízes finas, por serem bastante dinâmicas, são responsáveis por uma grande proporção da produtividade primária dos ecossistemas terrestres e contribuem significativamente com a ciclagem de nutrientes do solo (Freschet et al., 2021), constituindo um importante indicador da qualidade do solo. No entanto, estudos de biomassa radicular em agroecossistemas são raros (Ramos et al., 2017). Diante disso, o objetivo desse trabalho foi quantificar a biomassa de raízes finas em diferentes módulos de sistemas agroflorestais na região sudeste do Pará, utilizando como referência áreas de floresta e pastagem adjacentes. Nossa hipótese é que, em virtude das diferentes coberturas vegetais e uso da terra, (i) a biomassa de raízes finas varia entre as áreas de SAF, floresta e pastagem. Além disso, consideramos que (ii) os diferentes arranjos de espécies consorciadas nos SAFs podem provocar variações na biomassa de raízes finas entre os módulos.

2. Metodologia

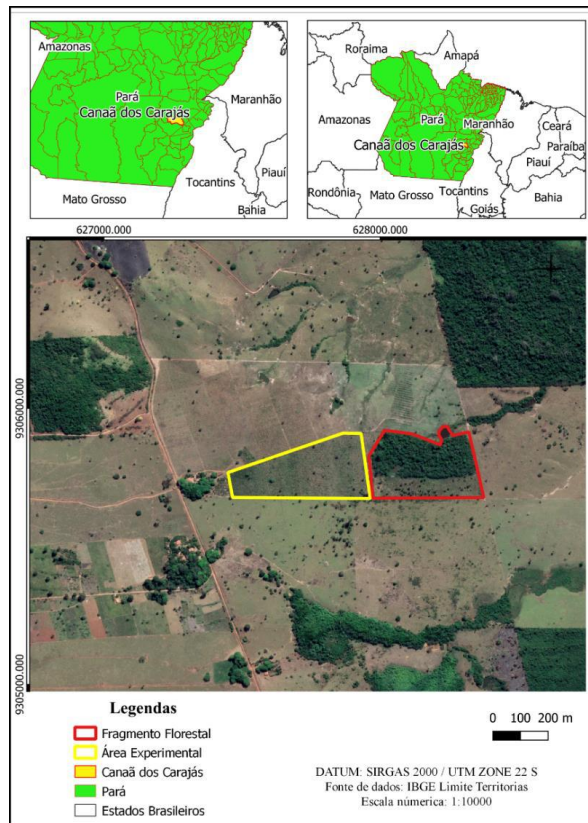
O presente estudo consiste em uma pesquisa de campo de natureza quali-quantitativa (Estrela, 2018) referente a biomassa vegetal subterrânea em agroecossistemas. Foi desenvolvido em uma unidade demonstrativa de sistemas agroflorestais localizada no município de Canaã dos Carajás, na região sudeste do estado do Pará (Figura 1). De acordo com a classificação do Köppen, o clima predominante na região é classificado como “Am” tropical, quente e úmido, com estação seca ocorrendo no período de maio a novembro. Durante o período chuvoso a precipitação pode alcançar 2800 mm e a umidade relativa do ar pode ultrapassar 90%. A temperatura média ao longo do ano é de 29 °C (Siqueira et al., 2012).

Nessa propriedade foram instalados cinco diferentes módulos de sistemas agroflorestais (M1-M5) que variam em função dos arranjos de espécies agroflorestais consorciadas. Os módulos apresentam como culturas comuns *Theobroma cacao* L. (cacau), *Musa* sp. (bananeira), *Manihot esculenta* Crantz (mandioca), *Ananas comosus* (L.) Merrill (abacaxi) e *Zea mays* L. (milho), variando em função das demais espécies consorciadas (M1: *Inga edulis* Mart. - ingá cipó, *Inga marginata* Willd. - ingá feijão, *Hymenaea* sp. - jatobá, *Cedrela* sp. - cedro, *Phaseolus vulgaris* L. - feijão e *Carica papaya* L. - mamão; M2: *Swietenia macrophylla* King - mogno, *Cedrela* sp. - cedro, *Tamarindus indica* L. - tamarindo e *Phaseolus vulgaris* L. - feijão; M3: *Inga edulis* Mart - ingá cipó, *Copaifera* sp. - copaíba, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f. - cumaru, *Tamarindus indica* L. - tamarindo e *Phaseolus vulgaris* L. - feijão; M4: *Hymenaea* sp. - jatobá, *Copaifera* sp. - copaíba, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f. -cumaru, *Cedrela* sp. - cedro e *Phaseolus vulgaris* L. - feijão; M5: *Cucurbita* L. - abóbora, *Inga edulis* Mart. - ingá cipó, *Swietenia macrophylla* King - mogno, *Copaifera* sp. - copaíba, *Cedrela* sp. - cedro, *Arachis hypogaea* L. - amendoim e *Carica papaya* L. - mamão) (Tabela 1).

Cada módulo apresenta cerca de 2 ha, de forma que a unidade demonstrativa apresenta uma área contínua de aproximadamente 10 ha. Todos os módulos apresentam o mesmo histórico de uso (pastagem degradada), condição edáfica e tempo de implantação (12 meses). Como controle está sendo considerada uma área de floresta secundária adjacente aos

módulos de SAF. Também estamos utilizando como referência uma área de pastagem de *Urochloa* sp., visto que são predominantes na matriz de paisagem onde os módulos foram instalados. O desenho experimental é composto por 7 unidades amostrais (5 áreas de SAF, uma área de pastagem e uma área de floresta secundária). Para a coleta de dados, foram alocados de forma aleatória cinco parcelas de 2×2 m em cada unidade amostral, totalizando 35 parcelas.

Figura 1 - Mapa de localização da Unidade demonstrativa de Sistema Agroflorestal no município de Canaã dos Carajás, no sudeste do estado do Pará.



Fonte: Nascimento & Oliveira (2022).

Para estimar a biomassa de raízes, foram coletadas aleatoriamente em cada parcela, três amostras de solo (0-10cm) com auxílio de um cilindro de aço inox com volume de 196 cm³. Após serem coletadas as amostras foram devidamente armazenadas em saco plástico e identificadas para posteriormente serem congeladas (refrigeração a 4 °C) até o momento da triagem. Durante a triagem das raízes, as amostras de solo foram lavadas em água corrente e peneirada em malha de 0,5 mm de diâmetro até permanecerem somente as raízes e fragmentos orgânicos (Leão et al., 2014). As raízes foram separadas manualmente com o uso de pinças e com o auxílio de um paquímetro, considerou-se para esse estudo apenas as raízes categorizadas como finas (diâmetro ≤ 2mm) (Braga et al., 2017; Ramos et al., 2017). Posteriormente, as raízes foram pesadas em uma balança de precisão (0,0001) para a obtenção da massa úmida, sequencialmente foram secas em estufa a 70 °C até que atingissem um peso constante (aproximadamente 48 horas), e finalmente submetidas a uma nova pesagem para a obtenção da massa seca. A biomassa de raízes foi obtida através da razão da massa pela área da base do cilindro (g/cm²) e em seguida transformada para g.m² (Braga et al., 2017).

O presente estudo foi conduzido por uma abordagem de pesquisa mista, com enfoque qualitativo e é caracterizada por seu caráter exploratório, tendo como intuito colaborar com o conceito de agroecologia nos seus mais diversos sentidos e modos de vida dos ribeirinhos.

Tabela 1 - Espécies (nome científico e vulgar), via de propagação e número de propágulos instalados nos diferentes módulos de sistemas agroflorestais no município de Canaã do Carajás, no sudeste do estado do Pará.

	Nome Científico	Nome Vulgar	Via de propagação	Nº propágulos
SAF-M1	<i>Musa</i> sp.	Banana	Muda	1699
	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca	Estaca	4600
	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill	Abacaxi	Muda	18405
	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Semente	10590
	<i>Cucurbita</i> sp.	Abóbora	Semente	833
	<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá Cipó	Muda	50
	<i>Inga marginata</i> Willd.	Ingá Feijão	Muda	25
	<i>Hymenaea</i> sp.	Jatobá	Muda	50
	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	Muda	15
	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Feijão	Semente	5004
	<i>Carica papaya</i> L.	Mamão	Muda	350
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	Muda	1583	
SAF-M2	<i>Musa</i> sp.	Banana	Muda	1603
	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca	Estaca	6131
	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill	Abacaxi	Muda	9203
	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Semente	14116
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	Muda	100
	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	Muda	25
	<i>Tamarindus indica</i> L.	Tamarindo	Muda	15
	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Feijão	Semente	5004
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	Muda	2111	
SAF-M3	<i>Musa</i> sp.	Banana	Muda	1690
	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca	Estaca	4600
	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill	Abacaxi	Muda	9203
	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Semente	10590
	<i>Inga edulis</i> Mart	Ingá Cipó	Muda	20
	<i>Copaifera</i> sp.	Copaíba	Muda	50
	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f.	Cumarú	Muda	20
	<i>Tamarindus indica</i> L.	Tamarindo	Muda	50
	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Feijão	Semente	5004
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	Muda	1583	
SAF-M4	<i>Musa</i> sp.	Banana	Muda	1668
	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca	Estaca	4600
	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill	Abacaxi	Muda	9203
	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Semente	10590
	<i>Hymenaea</i> sp.	Jatobá	Muda	50
	<i>Copaifera</i> sp.	Copaíba	Muda	50
	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f.	Cumarú	Muda	20
	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	Muda	40
	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Feijão	Semente	5004
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	Muda	1583	
SAF-M5	<i>Musa</i> sp.	Banana	Muda	1659
	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca	Estaca	4600
	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill	Abacaxi	Muda	9203
	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Semente	10590
	<i>Cucurbita</i> L.	Abóbora	Semente	833
	<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá Cipó	Muda	25
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	Muda	50
	<i>Copaifera</i> sp.	Copaíba	Muda	50
	<i>Cedrela</i> sp.	Cedro	Muda	40
	<i>Arachis hypogaea</i> L.	Amendoim	Semente	5004
	<i>Carica papaya</i> L.	Mamão	Muda	1668
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	Muda	1583	

Fonte: Autores.

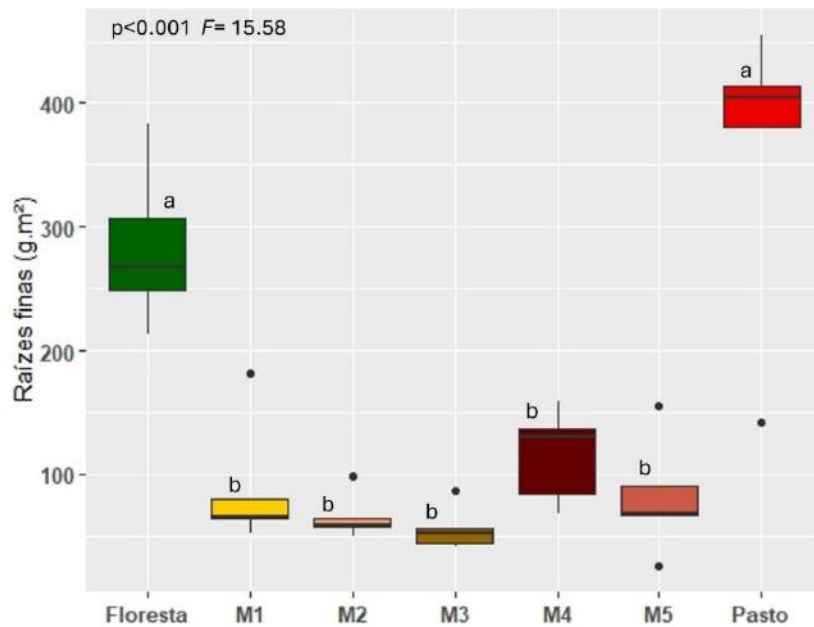
3. Resultados e Discussão

Conforme hipotetizamos, a biomassa de raízes finas variou entre as áreas estudadas (Figura 2). A pastagem e a

floresta apresentaram maiores valores de biomassa de raízes finas em relação aos módulos de SAF, que foram semelhantes entre si ($p < 0.001$; Floresta = 283.95 ± 29.02 g.m²; M1 = 89.01 ± 23.65 g.m²; M2 = 65.89 ± 8.48 g.m²; M3 = 56.27 ± 7.95 g.m²; M4 = 115.96 ± 16.93 g.m²; M5 = 81.44 ± 21.11 g.m²; Pasto = 359.25 ± 55.63 g.m²).

Os valores de biomassa de raízes finas encontrados em nosso estudo são próximos a de outros estudos realizados em áreas equivalentes. Lopes et al. (2010), por exemplo, encontraram uma biomassa de 141 g.m² em plantios de *Pinus taeda* L., e uma biomassa de 308 g.m² em uma área de pastagem adjacente, ambas no município de Camará do Sul-RS. Silva (2019), encontrou uma biomassa de 506,99 g.m² em áreas de florestas secundárias no município de Paragominas-PA. Em áreas de SAF com cacau (*Theobroma cacao* Linn.) e dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) no nordeste paraense, Ramos et al. (2017) quantificaram biomassa de raízes finas de 335 a 1067 g.m².

Figura 2 - Biomassa de raízes finas em áreas de floresta, pasto e diferentes módulos de sistemas agroflorestais (M1, M2, M3, M4 e M5) no sudeste do estado do Pará. Letras minúsculas diferentes indicando diferenças entre as áreas comparadas ($P < 0.05$).



Fonte: Autores.

As diferenças verificadas na biomassa de raízes finas entre as áreas estudadas confirmam que essa variável pode ser um bom indicador da variação ambiental e da cobertura vegetal, além de ser uma boa ferramenta para avaliar qualidade do solo. Comumente, uma maior biomassa de raízes no solo, repercute em uma maior disponibilidade de exsudatos orgânicos que servem como fonte de energia para microrganismos que atuam em importantes processos relacionados à ciclagem de nutrientes (ex. mineralização, nitrificação e fixação biológica) (Gravel et al., 2018). Além disso, a biomassa de raízes frequentemente se relaciona com as taxas de carbono orgânico do solo, o que se deve a sua intensa dinâmica de produção e turnover, o que sugere que solos com maior biomassa de raízes podem apresentar um maior potencial para armazenar carbono e uma maior taxa de ciclagem de nutrientes (Freschet & Roumet, 2017; McCormack et al., 2017; Rodríguez et al., 2020).

Apesar de a pastagem ter apresentado valores de biomassa radicular semelhantes aos da floresta, os motivos para esse resultado são diferentes. O estrato arbustivo-herbáceo dominado por gramíneas possuem raízes relativamente superficiais, enquanto as plantas lenhosas possuem seu sistema radicular mais profundo (Freschet et al., 2018; Sanaullah et al., 2016). A pastagem se caracteriza por ser monodominada por gramíneas (*Urochloa* sp), que apresentam um sistema radicular fasciculado e com alta densidade de raízes de finas a muito finas, o que culmina em altos valores de biomassa (Carvalho, et al., 2018;

Castro et al., 2018). Na floresta, a alta biomassa radicular pode estar ao menos parcialmente relacionada com alta densidade e diversidade de espécies (Brassard et al., 2019; McCormack et al., 2015), além da presença de uma densa camada de serapilheira que favorece a ocorrência de raízes nas primeiras camadas de solo em virtude da maior disponibilidade de nutrientes (Garlet & Schumacher 2020; Colliander et al., 2021) e também por funcionar como isolante térmico e preservar a umidade do solo, o que é favorável ao crescimento de raízes (McCormack et al., 2017).

Embora os módulos de SAF (M1, M1S1, M2, M3, M4 e M5) não tenham diferido entre si, os resultados encontrados nessas áreas indicam que o histórico de uso e as práticas de manejo do solo são fatores que influenciam fortemente a biomassa de raízes finas, diferindo-as do pasto e da floresta. Nos resultados também demonstram que embora as espécies agrônômicas e florestais possam variar entre os diferentes módulos de sistemas agroflorestais, essas atuam de forma equivalente sob a biomassa de raízes finas. Além disso, é possível associar à similaridade observada entre os módulos de SAF ao histórico de áreas de pastagens degradadas, que é comum nos módulos analisados, e que pode ter contribuído para valores menores de biomassa radicular em relação a floresta e a pastagem.

Cabe ressaltar que os módulos de sistemas agroflorestais ainda são bastante recentes e um acompanhamento por um período maior pode ser interessante para verificar a influência dos diferentes arranjos sob a biomassa de raízes finas ao longo do tempo, o que fica como sugestão para estudos futuros.

4. Conclusão

Sistemas agroflorestais (SAF) podem apresentar uma alta produção de biomassa radicular e sua quantificação contribui para melhor elucidar a dinâmica de carbono (C) em agroecossistemas. Diferentes coberturas vegetais e uso da terra podem influenciar na biomassa de raízes finas. Pastagens e florestas podem apresentar quantidades similares de biomassa radicular na camada superficial do solo (0-10), porém os processos envolvidos nesses resultados são intrínsecos de cada área. A biomassa de raízes finas não variou entre diferentes módulos de SAF, indicando que em SAF jovens, embora os arranjos de espécies agrônômicas e florestais consorciadas possam variar, esses atuam de forma equivalente sob a biomassa radicular superficial.

Complementarmente, recomenda-se a realização de estudos dinâmicos, que quantifiquem a biomassa de raízes finas ao longo dos estágios de desenvolvimento de sistemas agroflorestais sucessionais.

Referências

- Braga, E. O., Rocha, A. E. S., Costa Neto, S. V., Lima, T. T. S., Costa, L. G. S., & Miranda, I. D. S. (2017). Biomassa e sazonalidade das raízes finas em savanas da Amazônia Oriental. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37(92), 475-483. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.92.1382>
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Cavard, X., & Laganière, J. (2019). Fine root dynamics and vertical distribution across multiple soil layers in response to multiple environmental factors in a temperate old-growth forest. *Ecosystems*, 22(7), 1413-1428.
- Butzke, A. G., De Oliveira, T. K., Braga De Paula, A. E., & Fiuza, S. D. S. (2020). Fertilidade e carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais de duas décadas compostos de castanheira, cupuaçuzeiro e pupunheira na Amazônia Ocidental. *Cientifica*, 48(2), 160. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n2p160-169>
- Camargo, G. M., Schlindwein, M. M., Padovan, M. P., & da Silva, L. F. (2019). Sistemas agroflorestais biodiversos: uma alternativa para pequenas propriedades rurais. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 15(1).
- Carvalho, L. T. D. S., Souza, A. D., Farias, F. D. C., Silva Filho, A. V. A. D., Bertino, A. M. P., Silva, B. C. D., Alves, M. H. D., Souza, A. M. B. D., & Silva, J. B. D. (2019). O uso agrícola da terra na comunidade do Broca, município de Santa Luzia do Pará, nordeste paraense, Amazônia oriental. Em Júlio César Ribeiro & Carlos Antônio dos Santos, *A Face Multidisciplinar das Ciências Agrárias 2* (212-218). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.02019290721>
- Carvalho, M. M., Carvalho, A. M., Ferreira, A. C. B., Santos, E. G., Melo, C. A. D., & Carvalho, D. D. (2019). Root biomass and distribution of forage grasses in degraded pasture recovery areas. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(6), 2785-2796.
- Castro, E. M., Melo, J. C., Rocha, G. M., Costa, A. P., & Neves, A. L. (2018). Root length density and root biomass of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in function of nitrogen fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, 12(1), 73-79.

- Colliander, A., Palviainen, M., Finér, L., Tuomi, M., Rämö, K., Penttilä, T., & Fine, R. (2021). Fine root dynamics along a stand development gradient: Impact of tree species, stand age and site fertility. *Forest Ecology and Management*, 482, 118865.
- Estrela, C. (2018). *Metodologia Científica: Ciência, Ensino, Pesquisa*. Editora Artes Médicas.
- Freschet, G. T., Pagès, L., Iversen, C. M., Comas, L. H., Rewald, B., Roumet, C., Klimešová, J., Zadworny, M., Poorter, H., Postma, J. A., Adams, T. S., Bagniewska-Zadworna, A., Bengough, A. G., Blancaflor, E. B., Brunner, I., Cornelissen, J. H. C., Garnier, E., Gessler, A., Hobbie, S. E., & McCormack, M. L. (2021). A starting guide to root ecology: Strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements. *New Phytologist*, 232(3), 973–1122. <https://doi.org/10.1111/nph.17572>
- Freschet, G. T., & Roumet, C. (2017). Sampling roots to capture plant and soil functions. *Functional Ecology*, 31(8), 1506–1518. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12883>
- Freschet, G. T., Roumet, C., & Comas, L. H. (2018). Functional traits in roots and fruits of Mediterranean grasses respond to similar environmental gradients but covary differently. *Functional Ecology*, 32(1), 26–37.
- Garlet, C.; Schumacher, M.V. 2020. Biomassa e comprimento de raízes finas em uma área de restauração florestal. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(15), 351-361.
- Leão, F. M., Miranda, I. S., & Jardim, F. C. D. S. (2014). Fine root biomass in gaps of Terra Firme forest in eastern Amazonia. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 57(2), 130–137. <https://doi.org/10.4322/rca.2014.006>
- Lopes, V.G., Schumacher, M.V., Calil, F.N., Viera, M., & Witschoreck, R. 2010. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, 20(4), 569-578.
- McCormack, M. L., Crisfield, V., & Raczka, B. (2017). Biomass allocation and root morphology mediate the effects of plant diversity on soil carbon and nitrogen cycling. *Journal of Ecology*, 105(3), 836–847.
- McCormack, M. L., Dickie, I. A., Eissenstat, D. M., Fahey, T. J., Fernandez, C. W., Guo, D. ... & Wang, R. (2015). Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist*, 207(3), 505–518.
- McCormack, M. L., Gaines, K. P., Pastore, M., Eissenstat, D. M., Laskowski, M. J., & Adams, T. S. (2017). Limitations of root trait measurements in predicting root effectiveness. *Frontiers in Plant Science*, 8, 132.
- Nascimento, T.N., Oliveira, V. S. (2022). Influência de diferentes sistemas agroflorestais na estrutura e composição da vegetação espontânea no município de Canaã dos carajás, sudeste do estado do Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará (PA).
- Nunes Lima, K., & Pereira Pontes Filho, R. (2020). Agricultura familiar no contexto socioambiental amazônico. *Revista Direitos Sociais e Políticas Públicas (UNIFAFIBE)*, 8(1), 283. <https://doi.org/10.25245/rdsp.v8i1.662>
- Ramos, H. M. N., Vasconcelos, S. S., Kato, O. R., & Castellani, D. C. (2017). Above- and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0131-4>
- Rego, A. K. C., & Kato, O. R. (2018). Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na Amazônia. *Novos Cadernos NAEA*, 20(3). <https://doi.org/10.5801/ncn.v20i3.3482>
- Rodríguez, A., Chiti, T., Rey, A., & Durán, J. (2020). Forest die-off reduces soil C and N content and increases C stability in a Mediterranean woodland. *Geoderma*, 359, 113990. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113990>
- Sanaullah, M., Chabbi, A., Rumpel, C., Kuzyakov, Y., & Blagodatskaya, E. (2016). Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. *Applied Soil Ecology*, 105, 101–110
- Silva, I.D.R. 2019. Biomassa de raízes finas em áreas mineradas submetidas à recuperação florestal. Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará (PA).
- Silva, A. O. D., Silva, A. O. D., Santos, D. C. R., Rosário, I. C. B. D., Barata, H. D. S., & Raiol, L. L. (2021). Da tradição a técnica: Perspectivas e realidades da agricultura de derruba e queima na Amazônia. *Research, Society and Development*, 10(1), e38310111799. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11799>
- Sotta, E. D., Lima, R. C., Ramos, M. B. B., Silva, B. M. D. S. E., & Aparício, P. D. S. (2019). Amazônia Oriental, sistemas alternativos ao de corte e queima utilizados na agricultura de subsistência. *Revista Arquivos Científicos (IMMES)*, 2(2), 64–73. <https://doi.org/10.5935/2595-4407/rac.immes.v2n2p64-73>