



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



Amazônia Oriental

TÂMARA THAIZ SANTANA LIMA

**BIOMASSA ABAIXO DO SOLO EM ÁREAS DE AGRICULTURA FAMILIAR NO
ARCO DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA, PARÁ**

BELÉM

2016

TÂMARA THAIZ SANTANA LIMA

**BIOMASSA ABAIXO DO SOLO EM ÁREAS DE AGRICULTURA FAMILIAR NO
ARCO DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA, PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas Amazônicos, para obtenção do título de Doutora.

Orientadora: Profa. Dra. Izildinha de Souza Miranda

BELÉM

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732b Lima, Tâmara Thaiz Santana
Biomassa abaixo do solo em áreas de agricultura familiar na região do arco do desmatamento da
Amazônia, estado do Pará / Tâmara Thaiz Santana Lima. - 2016.
67 f. : il. color.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGMCA), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2016.
Orientador: Profa. Dra. Izildinha de Souza Miranda

1. Raízes finas. 2. Fitomassa. 3. Uso do solo. 4. Amazônia. I. Miranda, Izildinha de Souza, *orient.* II.
Título

CDD 631.478115

TÂMARA THAIZ SANTANA LIMA

**BIOMASSA ABAIXO DO SOLO EM ÁREAS DE AGRICULTURA FAMILIAR NO
ARCO DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA, PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do
Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas
Amazônicos, para obtenção do título de Doutora.
Orientadora: Profa. Dra. Izildinha de Souza Miranda

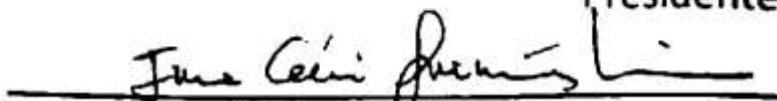
Aprovado em 23/02/2016

BANCA EXAMINADORA



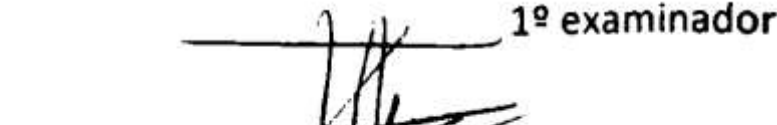
Izildinha de Souza Miranda

Presidente



Ima Célia Guimarães Vieira

1º examinador



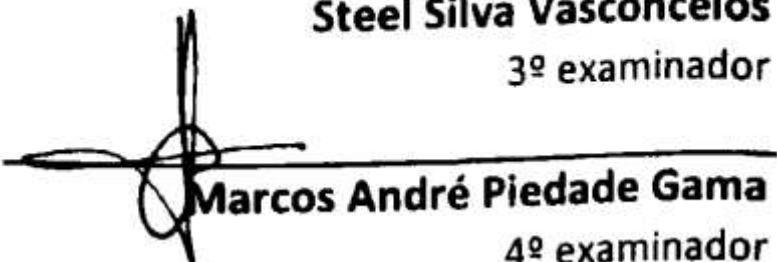
José Henrique Cattanio

2º examinador



Steel Silva Vasconcelos

3º examinador



Marcos André Piedade Gama

4º examinador

A Deus que me inspira com o fascinante mistério da sua criação.

À Izabel Maria, minha mãe, meu presente.

Às vinte e sete famílias envolvidas neste trabalho, em especial ao Sr. Zé Cláudio e Dona Maria (in memoriam).

Dedico

Investigarei suas manifestações desde o princípio da criação, colocarei a descoberto o seu conhecimento, sem me desviar da verdade (Sb 6, 22).

AGRADECIMENTOS

À Deus, o Senhor da minha vida, por ter me presenteado com tudo o que tenho. Sem sua presença viva nada do que aconteceu e está acontecendo seria possível.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de cursar a pós-graduação e pelo apoio necessário.

Ao Institut de Recherche Pour le Développement (IRD), Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Centro de Pesquisas em Biodiversidade e Uso da Terra da Amazônia – cujo apoio permitiu a realização deste trabalho.

À minha orientadora Izildinha Miranda pela confiança, esforço, dedicação, paciência, intensa orientação e amizade durante os doze anos de trabalho.

À Thierry Desjardins e Michel Grimaldi que estiveram presentes em todas as coletas pensando e suando, e pela dedicação nas correções dos artigos desta tese, pelo qual agradeço também à Danielle Mitja.

As famílias da Comunidade Maçaranduba, do Assentamento Palmares II e do Travessão 338S por permitirem a pesquisa em suas propriedades, por acolherem todos do projeto e pelas ricas conversas.

Aos alunos da UFPA que ajudaram na coleta das amostras e à equipe de estagiários da UFRA que eu vi passar durante um ano de laboratório. Sem vocês este trabalho seria impossível.

Ao Sr. Deurival Carvalho, o ajudante de campo perfeito, por sua dedicação em campo e fora dele, certamente alguém que eu jamais esquecerei.

À gigantesca equipe do Projeto AMAZ pela oportunidade, confiança, trocas de scripts, treinamentos e instigantes discussões, especialmente ao Sylvan Dolédec, Raphael Marichal e Danielle Mitja.

A todos do Grupo de Pesquisa Biodiversidade na Amazônia (BIOAMA) do máster ao mirim pela troca de conhecimento, artigos e pelo companheirismo.

Aos amigos Natália Mafra, Elayne Braga, Fernando Lacerda, Luiz Gonzaga pelo incentivo.

À minha família, pela paciência e compreensão nas longas ausências.

A ACAS e a Irmã Clara pelas orações e por manterem minha (in)sanidade mental.

Aos meus pets lindos por me ajudarem a relaxar durante as longas madrugadas.

O momento do agradecimento é o mais difícil, foram tantos os que fizeram parte de mais essa etapa profissional que fatalmente eu esquecerei, peço desculpas pelos que não foram lembrados nominalmente. Fiquem certos de que cada vez que eu ler ou pensar nesse agradecimento mais nomes surgirão em minhas orações. A todos muito obrigada!

“É melhor ter companhia do que estar sozinho, porque maior é a recompensa do trabalho de duas pessoas. Se um cair, o amigo pode ajudá-lo a levantar-se. Mas pobre do homem que cai e não tem quem o ajude a levantar.” (Ec 4. 9-10)

RESUMO GERAL

O presente trabalho traz uma abordagem holística, investigando a interação de vários fatores e determinando a importância deles para as raízes finas, com o objetivo de gerar conhecimentos sobre estimativas de biomassa e carbono abaixo do solo que possam contribuir para o estabelecimento de metodologias para pagamento de serviços ambientais em áreas agrícolas. O trabalho foi desenvolvido em três áreas agrícolas localizadas na região do arco do desmatamento no estado do Pará: Assentamento agroextrativista Praia Alta Piranhas (Maçaranduba), Assentamento Palmares II e Travessão 338-S. Em cada área foram selecionadas nove propriedades ($n = 27$) nas quais foram estabelecidas cinco parcelas de 10 m x 50 m ($n = 135$). As parcelas representaram nove tipos de cobertura vegetal: floresta conservada, floresta explorada, floresta queimada, floresta secundária velha, floresta secundária jovem, pasto invadido, pasto limpo, cultivo anual e cultivo perene. Nas 135 parcelas foram avaliados a biomassa de raízes finas ($R1 \leq 1$ mm; $R2 > 1$ mm e ≤ 2 mm; $R3 > 2$ mm e ≤ 5 mm; $RM =$ raiz morta ≤ 5 mm) e carbono da biomassa total das raízes finas ($R1 + R2 + R3 + RM$). Nos mesmos locais de coleta das raízes foi realizada a classificação dos solos, a determinação das propriedades físicas e químicas do solo e a estrutura da vegetação. Foram utilizados dados secundários da socioeconomia e das métricas de estrutura e ocupação das paisagens das 27 propriedades. As análises foram feitas considerando duas escalas de observação: a escala da parcela ($n = 135$) onde foi considerado os nove tipos de cobertura vegetal e a escala da área, onde foram consideradas as 27 propriedades. As variáveis socioeconômicas e de paisagem foram usadas apenas nas análises da escala da área. O tipo de cobertura vegetal influenciou a biomassa de raízes finas, a qual diminuiu com o aumento do distúrbio na cobertura vegetal, variando de 516,3 g m⁻² a 189,1 g m⁻², floresta conservada e cultivo anual respectivamente. Na escala da parcela a estrutura da vegetação foi mais determinante para a biomassa das raízes finas do que as características dos solos. Na escala do área a biomassa total variou de 2,69 Mg ha⁻¹ a 4,73 Mg ha⁻¹ e o carbono variou de 1,01 Mg ha⁻¹ a 2,06 Mg ha⁻¹. Nessa escala o contexto socioeconômico influenciou o carbono das raízes e a distribuição da biomassa entre as classes diamétricas, o que esteve muito associado as atividades de produção dominantes nas áreas. Em ordem de importância na escala da paisagem as variáveis socioeconômicas foram as mais determinantes para as raízes finas, seguidas das variáveis do solo, da vegetação e por fim das variáveis da paisagem. Independente da escala de observação a biomassa da classe R1 apresentou maior proporção da biomassa total, ressaltando a importância das raízes muito finas para a quantificação da

biomassa radicular. Na escala da paisagem os fatores que influenciaram a biomassa e o estoque de carbono nas raízes finas ocupam posições diferentes daquelas vistas na escala da parcela.

Palavras-chave: Cobertura vegetal. Fragmentação. Interações abaixo do solo. Paisagem. Solo. Socioeconomia. Uso da terra.

GENERAL ABSTRACT

This study aims to bring a holistic approach, investigating the interaction of many factors and determining their importance to fine roots with the objective to create knowledge about estimation of biomass and carbon belowground that can contribute to establish methods of payments for environmental service in rural settlements. The study was conducted in three agricultural areas located in the arc of deforestation region in the Brazilian Amazon, in Pará state: Praia Alta Piranheiras agroextractivist settlement (Maçaranduba), Palmares II settlement and Travessão 338-S. In each area nine properties were chosen ($n = 27$), which five plots of 10x50 m were established ($n = 135$). The plots represented nine types of land cover: conserved forest, exploited forest, burned forest, old secondary forest, young secondary forest, invaded pasture, clean pasture, annual crop, and perennial crop. The biomass was evaluated in the 135 plots ($R1 \leq 1$ mm; $R2 > 1$ mm e ≤ 2 mm; $R3 > 2$ mm e ≤ 5 mm; $RM =$ dead roots ≤ 5 mm) and total carbon biomass ($R1 + R2 + R3 + RM$) of fine roots. In the same sites of root sampling was done the classification of the soils, determination of the physical and chemical properties of the soil and the structure of the vegetation. Socioeconomic surveys were completed and calculated metric structure and occupation of landscape of the 27 properties. The analyses were done considering two scales of observation: plot scale ($n = 135$) where it was considered nine types of land cover; and settlement scale where it was considered the three agricultural areas. The socioeconomic and landscape variables were used only in the analyses of the settlement scale. The type of land cover influenced the biomass of fine roots that decreased with the increase of the disturbance of the land cover, varying from 516.3 g m⁻² to 189.1 g m⁻² in the conserved forest and annual crop, respectively. In the plot scale, the vegetation structure was more determinant to the fine roots biomass than the soil characteristics. In the settlement scale the total biomass varied from 2.69 Mg ha⁻¹ to 4.73 Mg ha⁻¹ and carbon varied from 1.01 Mg ha⁻¹ to 2.06 Mg ha⁻¹. In this scale the socioeconomic context influenced the roots' carbon and the distribution of biomass among the diameter classes that were associated with the dominant production of activities in the areas. In order of importance in the landscape scale, the socioeconomic variables were most determinant for fine roots, followed by soil variables, vegetation and finally, by landscape variables. Independently of the observation scale, the biomass of R1 class showed the highest proportion of total biomass, highlighting the importance of many fine roots to quantify the root biomass. In the landscape scale the factors that influenced the biomass and the carbon storage of fine roots occupied different positions of those seen in the plot scale.

Key words: Belowground interactions. Cover land. Family farm. Fragmentation. Land Use. Landscape. Socioeconomy. Soil. Vegetation.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	VI
GENERAL ABSTRACT.....	VIII
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
Objetivos e hipóteses	6
Referências bibliográficas.....	7
2. BIOMASSA DE RAÍZES FINAS EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL NO ‘ARCO DO DESMATAMENTO’, AMAZÔNIA BRASILEIRA	11
RESUMO	11
ABSTRACT	12
2.1. Introdução.....	13
2.2. Material e métodos	14
2.2.1. Área de estudo.....	14
2.2.2. Desenho amostral.....	15
2.2.3. Biomassa de raízes.....	15
2.2.4. Estrutura da vegetação	16
2.2.5. Características do solo	17
2.2.6. Análise estatística.....	17
2.3. Resultados	18
2.3.1. Caracterização da biomassa de raízes finas.....	18
2.3.2. Relação entre raízes finas e solos.....	19
2.3.3. Relação entre a biomassa de raízes finas e estrutura da vegetação	20
2.4. Discussão	20
2.5. Conclusão	24
2.6. Referências	24
Apêndice A. Média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis utilizadas para estabelecer a relação com a biomassa e carbono das raízes finas em três assentamentos de agricultura familiar localizados na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil.....	37
3. PADRÕES DE BIOMASSA E CARBONO DE RAÍZES FINAS EM ÁREAS AGRÍCOLAS DA REGIÃO DO ARCO DO DESMATAMENTO, AMAZÔNIA BRASILEIRA	39
RESUMO.....	39
ABSTRACT	40

3.1. Introdução.....	41
3.2. Material e Métodos.....	42
3.2.1. Área de estudo.....	42
3.2.2. Desenho amostral.....	43
3.2.3. Biomassa e carbono de raízes	43
3.2.4. Composição e estrutura da paisagem	44
3.2.5. Estrutura da vegetação	45
3.2.6. Características químicas e físicas dos solos	45
3.2.7. Variáveis Socioeconômicas	46
3.2.8. Análise estatística.....	46
3.3. Resultados	47
3.3.1. Biomassa e Carbono de raízes finas.....	47
3.3.2. Relação entre raízes finas e a paisagem	48
3.3.3. Relação entre raízes finas e a vegetação	49
3.3.4. Relação entre raízes finas e solos.....	49
3.3.5. Relação entre raízes finas e a socioeconomia	50
3.3.6. Análise de co-inércia múltipla - MCOA	51
3.4. Discussão	51
3.5. Conclusão	54
3.6. Referências	54
Apêndice 3.1. Média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis utilizadas para estabelecer a relação com a biomassa e carbono das raízes finas em três áreas de agricultura familiar localizadas na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil.	65
4. CONCLUSÕES GERAIS	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Tipos de coberturas vegetais estudados em três áreas da região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil ^a	30
Tabela 2.2. Biomassa de raízes finas (g m^{-2}) em diferentes classes diamétricas (mm) por tipo de cobertura vegetal estudados em três áreas da região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil. (valores são: média \pm erro padrão e coeficiente de variação entre parênteses).	31
Tabela 2.3. Percentual de contribuição das variáveis de raízes finas, solos e vegetação à variância dos eixos das análises de co-inércia e percentual de influência dos eixos sobre as variáveis.	32
Tabela 3.1. Tipos de Coberturas e usos da terra estudados em três áreas de agricultura familiar da região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil ^a	60
Tabela 3.2. Biomassa (Mg ha^{-1}) e Carbono da biomassa total (Mg ha^{-1}) de raízes finas em três áreas de agricultura familiar na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil. C = quantidade de carbono das raízes finas; Classes diamétricas: R1 = biomassa de raízes $\leq 1\text{mm}$; R2 = biomassa de raízes $> 1\text{mm}$ e $\leq 2\text{mm}$; R3 = biomassa de raízes > 2 e $\leq 5\text{mm}$; RM = biomassa de raízes mortas ($\leq 5\text{mm}$); Total = biomassa total de raízes ($\leq 5\text{mm}$). Valores são média \pm desvio padrão	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localização do Arco do desmatamento da Amazônia com destaque para o desmatamento até 2012.	2
Figura 1.2. Taxas anuais do desmatamento (km ²) nos estados da Amazônia Legal no período de 1988 a 2015*.....	2
Figura 1.3. Evolução anual do desmatamento fora e dentro de assentamentos no Estado do Pará entre 2000 e 2012.	3
Figura 1.4. Paisagem em mosaico de um assentamento no estado do Pará.	4
Figura 2.1. Localização das áreas de pesquisa no estado do Pará.	33
Figura 2.2. Desenho esquemático da localização de nove propriedades, em cada propriedade cinco parcelas amostrais e em cada parcela quatro pontos de coleta de solos para análises da biomassa de raízes finas.....	33
Figura 2.3. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de componente principal mostrando: (a) Círculo de correlação das variáveis de raízes finas; (b) Ordenação das 135 parcelas agrupadas por tipos de cobertura vegetal; (c) Ordenação das 135 parcelas agrupadas de acordo com a classificação do tipo de solo. FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual; A = Argissolo; C = Cambissolo; H = Solo hidromórfico; L = Latossolo.	34
Figura 2.4. Proporção da biomassa de raízes finas entre as classes diamétricas nos diferentes tipos de cobertura vegetal em três áreas da região do arco do desmatamento, Pará, FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual.	35
Figura 2.5. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e características físicas e químicas do solo: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e de solo; (b) Ordenação das 135 parcelas amostrais e indicação dos grupos em relação ao eixo 1. FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual. Um resumo da descrição e dos valores de média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis de solo é apresentado no Apêndice A.	35
Figura 2.6. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e da estrutura da vegetação; (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e de vegetação; (b) Ordenação das 135 parcelas amostrais e a indicação dos grupos ao longo do eixo 1. FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual. Um resumo da descrição e dos valores de média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis de vegetação é apresentado no Apêndice A.	36
Figura 3.1. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de componente principal mostrando: (a) Associação das variáveis de raízes finas com os dois primeiros eixos; (b) Ordenação das 27 propriedades agrupadas por área. C = quantidade de carbono das raízes finas; Classes diamétricas: R1 = biomassa de raízes ≤ 1 mm; R2 = biomassa de raízes > 1 mm e ≤ 2 mm; R3 = biomassa de raízes > 2 e ≤ 5 mm; RM = biomassa de raízes mortas (≤ 5 mm).	61
Figura 3.2. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e a paisagem: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e paisagem no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano	

fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm); EST = indicador da estrutura da paisagem em 2007; OCU = indicador da ocupação da paisagem em 2007; DE = indicador da dinâmica da estrutura da paisagem no período de 1990 a 2007; DO = indicador da dinâmica da ocupação da paisagem no período de 1990 a 2007 62

Figura 3.3. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e a vegetação: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e vegetação no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm); Riqueza de espécies por estrato (RiqInf, RiqMed, RiqSup); Densidade de indivíduos, também por estrato (DensInf, DensMed, DensSup). 62

Figura 3.4. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e solo: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e solo no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm). 63

Figura 3.5. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e a socioeconomia: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e socioeconomia no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm); HA = tamanho da área da propriedade; PBTABER = total das receitas brutas referentes as aberturas na propriedade; DAT = tempo de presença na propriedade; ESC = nível de escolaridade do proprietário; PBB = importância na propriedade do produto bovino; PBAN = importância na propriedade dos cultivos anuais; PBPER = importância na propriedade dos cultivos perenes; UTE = trabalho familiar disponível; CTT = crédito total acessado pelo proprietário. 63

Figura 3.6. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia múltipla entre a biomassa de raízes finas, paisagem, a socioeconomia, vegetação e solo: (a) Ordenação das variáveis no plano fatorial da co-inércia múltipla. (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia múltipla. 64

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

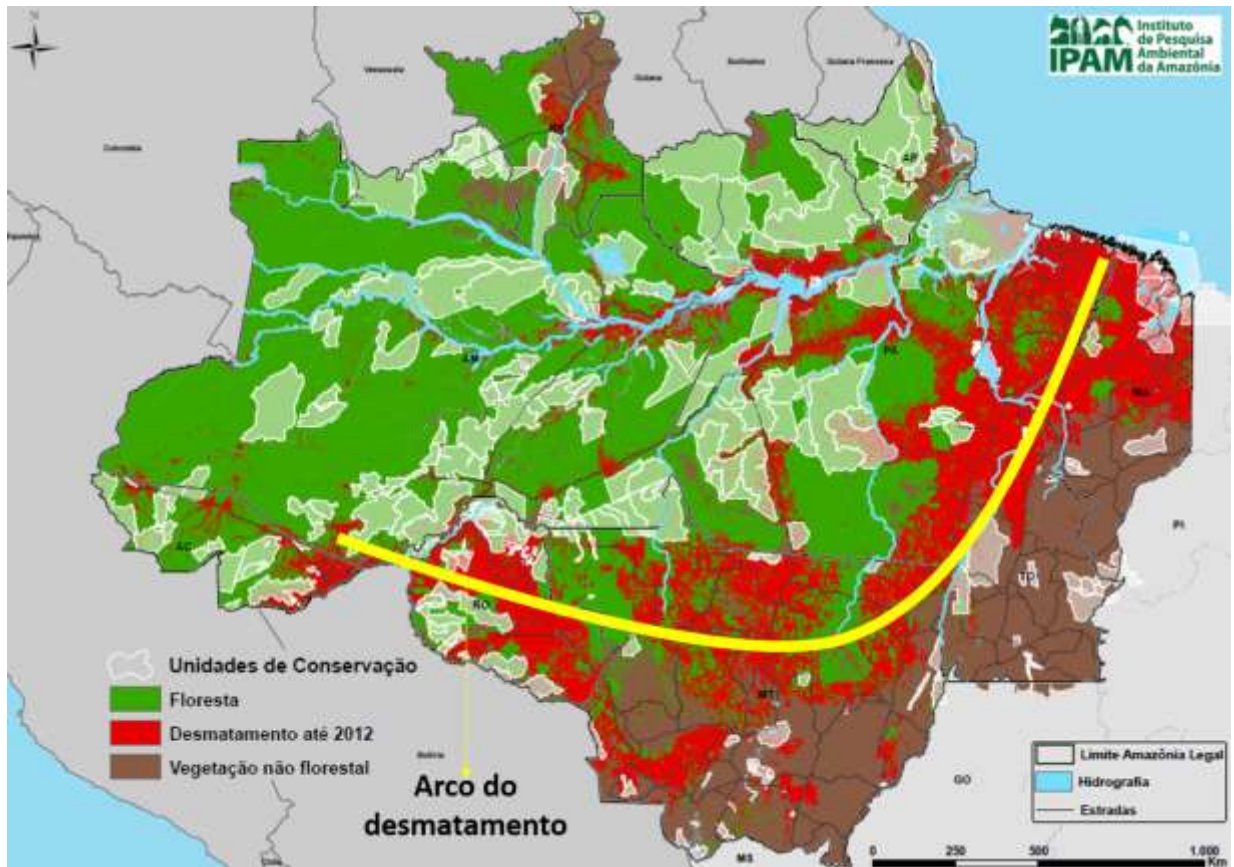
As causas do desmatamento da floresta amazônica são inúmeras, desde aberturas de estradas, implantação de assentamentos, expansão das áreas de soja e das pastagens, o baixo preço das terras, aumento da população, causas naturais como grandes secas, expansão da agricultura familiar, extração de madeira, construção de hidroelétricas, urbanização, políticas públicas, mineração até a demanda do mercado internacional (MORAN, 1993; ESPINDOLA et al., 2011; LEMOS; SILVA, 2011; MIRAGAYA, 2013; CÔRTEZ; D'ANTONA, 2014). O desmatamento não tem ocorrido homoganeamente e de forma generalizada na Amazônia. Ao observar alguns levantamentos sobre as estimativas, causas e consequências do desmatamento na Amazônia, é possível verificar que ele está concentrado em uma região conhecida como “Arco do Desmatamento” (LEMOS; SILVA, 2011; MIRAGAYA, 2013; PRODES, 2016).

O Arco do Desmatamento passa pelos estados do Maranhão, Tocantins, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre e teve sua ocupação viabilizada pela malha viária que liga esta região aos principais mercados do País (Figura 1.1). A região do Arco do Desmatamento é historicamente marcada pela construção de rodovias, conflitos agrários, concentração de assentamentos e expansão da pecuária e da soja.

Esta extensa faixa, que compreende nove mesorregiões geográficas (divisão territorial adotada pelo IBGE) [...] respondeu por 71% do desmatamento total da Amazônia Legal entre 1990 e 2010, embora represente apenas 38% de sua área. O desmatamento acumulado na região atingiu 27% de sua área total, quatro vezes maior que a média do restante da Amazônia Legal, de 6,8% (MIRAGAYA, 2013, p. 242).

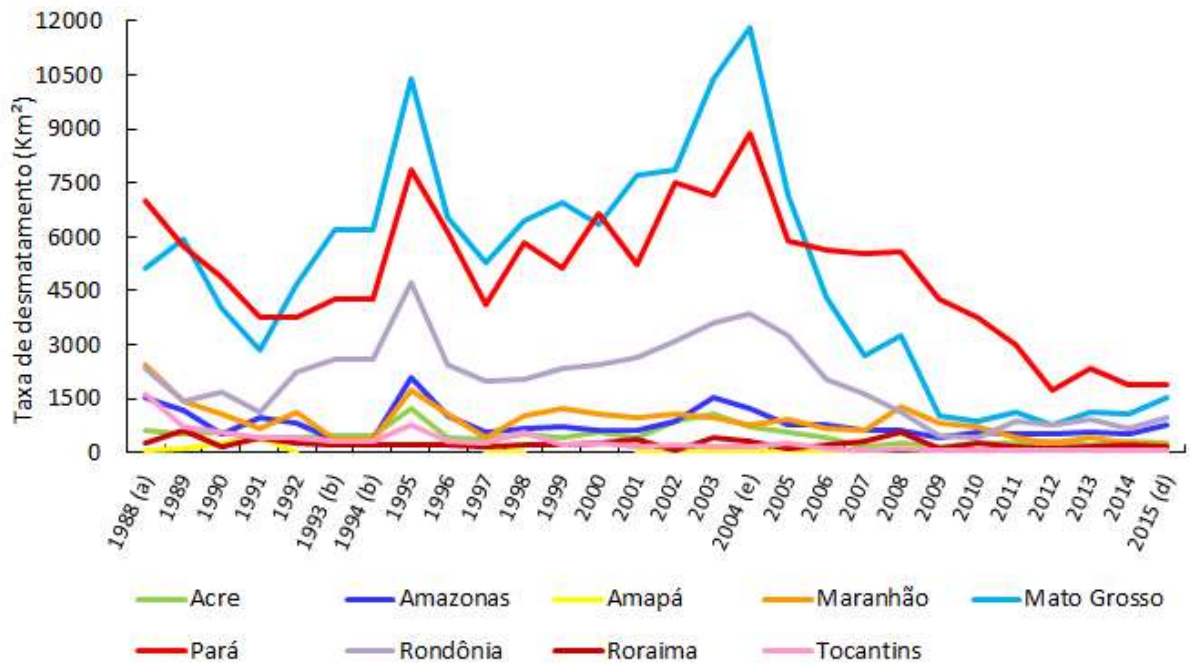
No estado do Pará estão duas das nove mesorregiões do Arco do Desmatamento: o sudoeste e o sudeste paraense. Com base nos dados disponíveis no sistema PRODES, desde 2006 o Pará tem liderado as taxas de desmatamento na Amazônia legal, mas recentemente tem apresentado reduções nas taxas anuais (Figura 1.2).

Figura 1.1. Localização do Arco do desmatamento da Amazônia com destaque para o desmatamento até 2012.



Fonte: IPAM (2012)

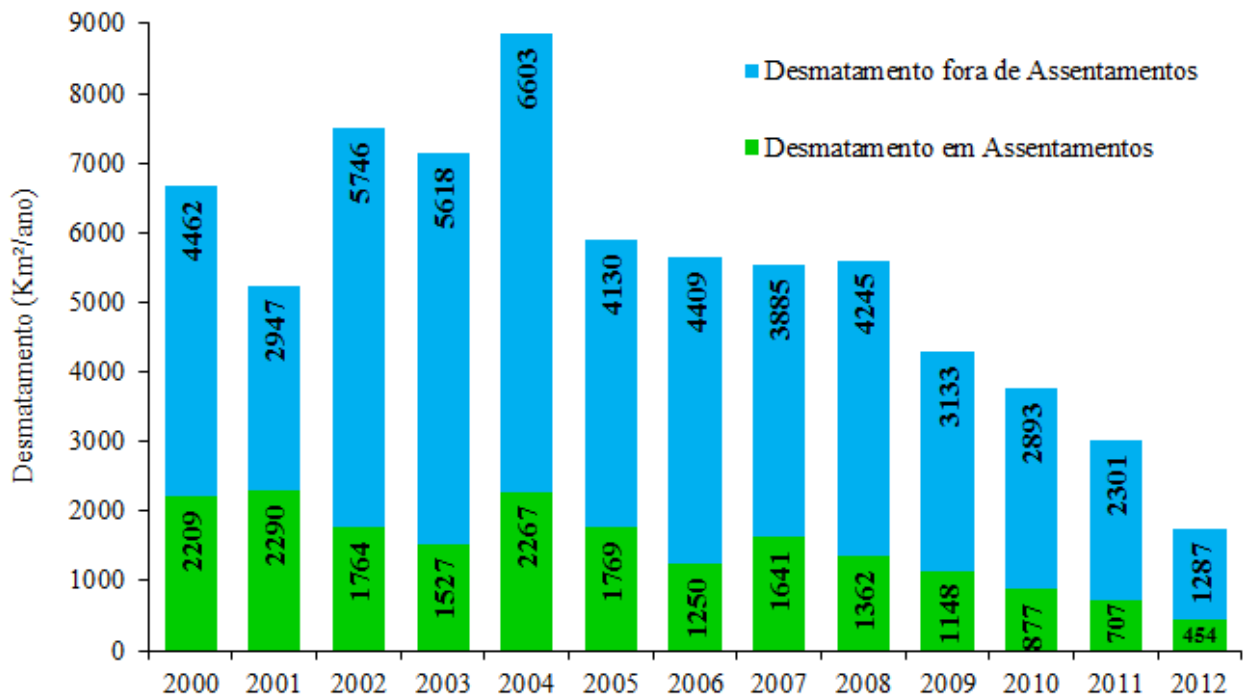
Figura 1.2. Taxas anuais do desmatamento (km²) nos estados da Amazônia Legal no período de 1988 a 2015*.



*Gráfico elaborado com os dados do PRODES consultados em 2016. (a) Média entre 1977 e 1988; (b) Média entre 1993 e 1994; (d) Início do PPCDAm; (e) Taxa estimada. Fonte: Elaboração própria.

Cerca de 25% do desmatamento ocorrido no estado do Pará entre os anos de 2010 e 2012 está localizado em áreas de assentamentos (Figura 1.3), sendo a maior proporção do desmatamento encontrada nos assentamentos ao longo da rodovia Transamazônica (BRANDÃO Jr. et al., 2013).

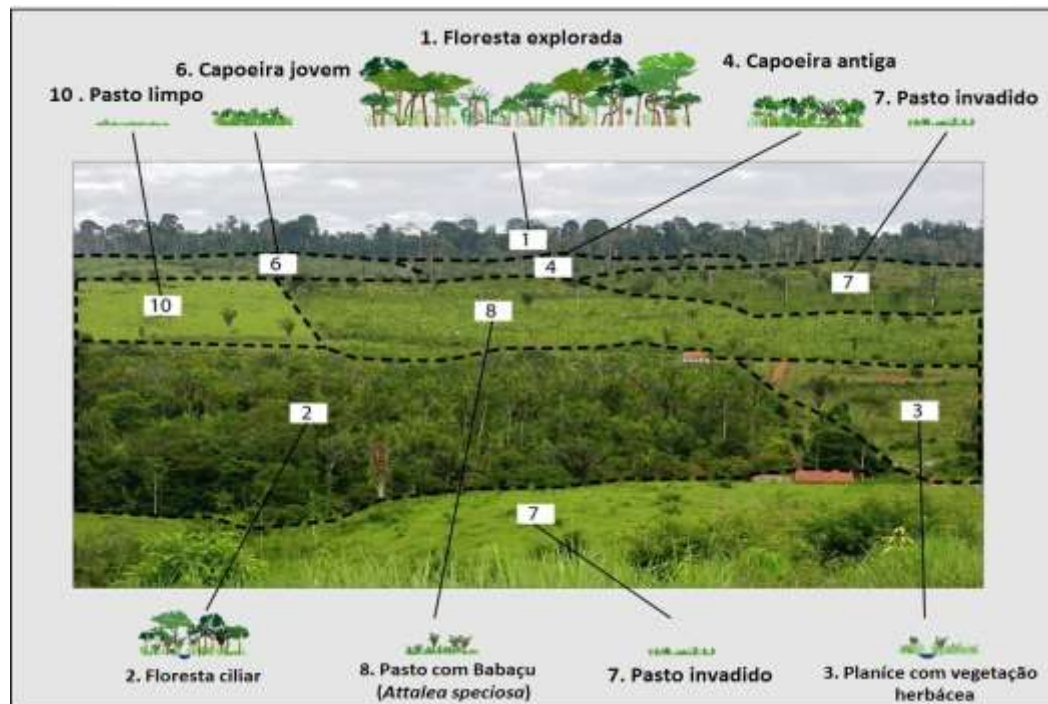
Figura 1.3. Evolução anual do desmatamento fora e dentro de assentamentos no Estado do Pará entre 2000 e 2012.



Adaptado de BRANDÃO Jr. et al. (2013).

Os projetos de assentamento na Amazônia têm sido considerados como importantes modificadores da paisagem (FEARNSIDE, 2006; CALANDINO et al., 2012), contribuindo para definir de uma paisagem em mosaico, formada por diferentes usos e coberturas da terra (Figura 1.4). As paisagens em mosaicos refletem não apenas os tipos de cobertura vegetal presentes em um tempo qualquer, mas também a trajetória histórica que levou àqueles tipos de coberturas (OSZWALD et al., 2011).

Figura 1.4. Paisagem em mosaico de um assentamento no estado do Pará.



Fonte: Projeto BIODAM

Aspectos sociais, econômicos e ambientais influenciam nas tomadas de decisão sobre o uso da terra (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011; GARDNER et al., 2013) e essa relação de causa e efeito é conhecida como efeito cascata (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011). A dinâmica da mudança de uso e cobertura da terra dentro dos assentamentos, a forma como os proprietários manejam suas terras, a escolha do que cultivar e até mesmo o tempo de pousio são decisões influenciadas pelo contexto socioeconômico dos proprietários que, por sua vez, também é um reflexo das políticas públicas nacionais, regionais e locais (CALANDINO et al., 2012). O efeito cascata nos assentamentos leva a formação das paisagens em mosaicos, perdas na biodiversidade e na provisão de serviços ambientais que podem ser gerados dentro desses assentamentos. Na prática, o que se verifica é um desequilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico e a sustentabilidade ambiental nos assentamentos.

O pagamento por serviços ambientais é visto como uma alternativa para diminuir a pressão antrópica sobre as florestas, por estimular a conservação das mesmas. Porém, para garantir a eficiência de qualquer iniciativa de pagamento por serviços ambientais nos assentamentos, são necessárias pesquisas que indiquem quais são os serviços ambientais que estão atrelados aos diversos tipos de usos da terra, em qual quantidade e qualidade são ofertados, quais são os usos mais eficientes na geração de serviços ambientais e como eles respondem ao contexto socioeconômico.

Embora haja a necessidade de integrar as abordagens sociais e ecológicas ainda são poucas as pesquisas que aliam os aspectos socioeconômicos com as mudanças ambientais (OSZWALD et al., 2011; CALANDINO et al., 2012) e muito pouco é conhecido sobre as relações existentes entre (i) os parâmetros socioeconômicos – sobre os quais os tomadores de decisão podem agir, (ii) a composição e a estrutura das paisagens resultantes das escolhas feitas pelos proprietários, (iii) a distribuição espacial e a dinâmica da biodiversidade e (iv) o rendimento dos vários serviços ambientais.

A crescente preocupação com o aquecimento global tem incentivado pesquisas sobre os estoques e fluxos globais de carbono (BERNOUX et al. 2002; SILVER et al. 2004; ZARIN et al. 2005; BURGERMEISTER 2007; MORRIS et al. 2007). Grande parte desse carbono está estocado na biomassa vegetal e as mudanças de uso da terra podem levar a perdas consideráveis no tamanho dos reservatórios, alterações na capacidade futura de estocagem do carbono e alterações nas taxas de composição da matéria orgânica (IPCC, 2003), tornando ainda mais importante as estimativas de biomassa em diferentes usos da terra.

A biomassa é uma das métricas utilizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2003) para avaliar os impactos das mudanças climáticas e do uso da terra. O IPCC aponta a biomassa como um importante aspecto da vegetação que pode ser utilizada na mitigação das emissões dos gases do efeito estufa e um capital natural que deve ser valorado. Como um reservatório de carbono a biomassa deve ser medida nos diferentes compartimentos da vegetação acima e abaixo do nível do solo.

Muitos trabalhos se detêm a estudar a biomassa somente da parte aérea da vegetação, principalmente porque a obtenção de biomassa abaixo do solo é trabalhosa, faltam equipamentos apropriados para os diferentes tipos de solos e por demandar muita mão de obra em campo e em laboratório. Tudo isso contribui para uma falta de padronização das metodologias, incentivando a obtenção indireta da biomassa abaixo do solo.

As raízes finas se destacam como o componente que mais contribui para os fluxos de carbono abaixo do solo, sendo responsável por até 75% da produção primária líquida anual em ecossistemas florestais (VOGT et al. 1996; JACKSON et al. 1997; GIL; JACKSON, 2000). Além da contribuição significativa para os fluxos de carbono, as raízes finas são a principal fonte de aquisição de água e nutrientes para as plantas, contribuem com a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, maximizam a aquisição de nutrientes em solos intemperizados, como os da Amazônia, e são altamente sensíveis ao estresse por fatores abióticos. Dada a importância das raízes finas, e apesar das dificuldades metodológicas, tem

aumentado o número de trabalhos sobre esse compartimento da vegetação, buscando compreender e estabelecer padrões no comportamento da vegetação abaixo do solo.

São inúmeros os fatores que podem influenciar a biomassa de raízes como as características edáficas (METCALFE et al., 2008), estágio sucessional (JARAMILLO et al., 2003; LIMA et al., 2012), densidade de indivíduos, composição florística e diversidade (BRASSARD et al., 2011 e 2013, FINÉR et al., 2011a), formas de vida das plantas dominantes (JACKSON et al. 2000), histórico de uso das áreas (JARAMILLO et al., 2003; LIMA et al., 2012), dentre outros. Estes fatores podem ser modificados com as mudanças de uso e cobertura da terra e por consequência a biomassa das raízes também.

Alguns trabalhos têm mostrado a estreita relação da biomassa de raízes finas com as características edáficas (METCALFEE et al., 2008; LIMA et al., 2011), outros com a estrutura da vegetação (FINÉR et al., 2011b), porém ainda são poucos os que a relacionam com os diferentes tipos de cobertura vegetal originadas pelas mudanças de uso da terra, especialmente considerando a interação entre solo e vegetação (CASTELLANOS et al., 2001; JARAMILLO et al., 2003) e fatores que possam a vir influenciá-los, como a paisagem e a socioeconomia.

Objetivos e hipóteses

O projeto “Serviços ecossistêmicos e sustentabilidade das paisagens agrossilvipastoris da Amazônia Oriental – AMAZ”, no qual este trabalho está inserido, procurou elaborar indicadores da biodiversidade e dos serviços ambientais, a partir das relações entre os determinantes socioeconômicos, a paisagem, a biodiversidade e serviços ambientais, entre os quais as estimativas de carbono.

Alguns resultados do projeto AMAZ abordam as consequências da mudança de uso e cobertura da terra na biodiversidade de espécies vegetais (SANTOS, 2011; DO VALE et al., 2015), na biomassa vegetal acima do solo (COSTA et al., 2012; Le CLEC’H et al., 2013), nas propriedades dos solos (GRIMALDI et al., 2014), nos macroinvertebrados do solo (MARICHAL et al., 2010; 2012; 2014) e na paisagem (OSZWALD et al., 2010; 2011; 2012). No entanto, faltam estudos correlatos sobre as raízes finas.

O presente trabalho traz uma abordagem holística, investigando a interação de vários fatores e determinando a importância deles para as raízes finas, com o objetivo de gerar conhecimentos sobre estimativas de biomassa e carbono abaixo do solo que possam contribuir para o estabelecimento de metodologias para pagamento de serviços ambientais em

assentamentos rurais. Esse objetivo foi desenvolvido a partir de dois objetivos específicos, considerando duas escalas de observação: a escala da parcela (Capítulo 2) e a escala do assentamento (Capítulo 3):

Objetivo específico 1 (Capítulo 2): Quantificar a biomassa de raízes finas em nove tipos de cobertura vegetal encontrados em três áreas na região do arco do desmatamento e avaliar a influência do tipo de cobertura vegetal, das propriedades físicas e químicas do solo e da estrutura da vegetação sobre a biomassa de raízes finas, usando técnicas multivariadas de análise de dados. Também foi verificada a influência desses fatores sobre as diferentes classes diamétricas de raízes finas. É esperado que a biomassa de raízes finas seja maior em áreas ricas em espécies e que a biomassa de raízes finas seja menor onde o solo é mais rico em nutrientes.

Objetivo específico 2 (Capítulo 3): Avaliar os padrões de biomassa e estoque de carbono das raízes finas de três áreas de pequenos agricultores familiares, buscando identificar quais fatores são mais importantes para as raízes finas na escala da paisagem: os fatores que refletem as métricas das paisagens, dos solos, da vegetação ou aqueles ligados à situação socioeconômica das áreas de estudo?

Referências bibliográficas

- BERNOUX, M. et al. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.
- BRANDÃO Jr., A. et al. **Situação do desmatamento nos assentamentos de reforma agrária no Estado do Pará**. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2013. 32 p.
- BRASSARD, B. W. et al. Differences in fine root productivity between mixed- and single-species stands. **Functional Ecology**, v. 25, p. 238–246, 2011.
- BRASSARD, B. W. et al. Tree species diversity increases fine root productivity through increased soil volume filling. **Journal of Ecology**, v. 101, p. 210–219, 2013.
- BURGERMEISTER, J. Missing carbon mystery: case solved?. **Nature**, v. 3, p. 36-37, 2007.
- CALANDINO, D.; WEHRMANN, M.; KOBLITZ, R. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 26, p. 161-170, 2012.
- CASTELLANOS, J. et al. Flash-and-burn effects on FIRE root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p.

- 41-50, 2001.
- CÔRTEZ, J.C.; D'ANTONA, A.O. Dinâmicas no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da Demografia. **Revista brasileira de estudos de população**, v. 31, n.1, p. 191-210, 2014.
- COSTA, L.G.S., et al. Biomass in different types of land use in the Brazil's 'arc of deforestation'. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 101-109, 2012.
- DO VALE, I. et al. Tree Regeneration Under Different Land-Use Mosaics in the Brazilian Amazon's "Arc of Deforestation". **Environment Management**, v. 56, n. 2, p. 342-54, 2015.
- ESPINDOLA, G.M. et al. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, p. 240-252, 2011.
- FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, p. 395-400, 2006.
- FINÉR, L. et al. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 265-277, 2011a.
- FINÉR, L. et al. Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 11, p. 2008-2023, 2011b.
- GARDNER, T. A. et al. A social and ecological assesment of tropical land uses at multiple scales : the Sustainable Amazon Network. **Philosophical Transactions of The Royal Society**, v. 368, p. 1-11, 2013
- GILL, R. A.; JACKSON, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 147, p. 13-31, 2000.
- GRIMALDI, M., et al. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: searching for landscape drivers. **Landscape Ecology**. v. 29, p. 311-328, 2014.
- IPPC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.** Hayama: **Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC**, 2003. 632 p.
- JACKSON, R.B.; MOONEY, H.A.; SCHULZE, E.D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 94, p. 7362-7366, 1997.
- JACKSON, R.B., et al. Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. **Ecological Application**. v. 10, n. 2, p. 470-483, 2000.

- JARAMILLO, V.J., AHEDO-HERNANDEZ, R., KAUFFMAN, J.B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 457-464, 2003.
- LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.
- LE CLEC'H, S. et al. Cartographier le carbone stocké dans la végétation: perspectives pour la spatialisation d'un Service Ecosystémique. **Bois et forêts des tropiques**, v. 67, p. 35-47, 2013.
- LEMOS, A. L. F.; SILVA, J. D. A. Desmatamento na Amazônia Legal: Evolução, Causas, Monitoramento e Possibilidades de Mitigação Através do Fundo Amazônia. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 98-108, 2011.
- LIMA, J.A.S., et al. Biomassa radicular fina em fragmentos da mata atlântica fluminense. **Floresta**, v. 41, n. 1, p. 27-38, 2011.
- LIMA, T.T.S., Miranda, I.S., Vasconcelos, S.S. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 42. n. 1, p. 95-104, 2012.
- MARICHAL, R. et al. Invasion of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) in landscapes of the Amazonian deforestation arc. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 3, p. 443-449, 2010.
- MARICHAL, R. et al. Is invasion of deforested Amazonia by the earthworm *Pontoscolex corethrurus* driven by soil texture and chemical properties? **Pedobiologia**, v. 55, p. 233-240, 2012.
- MARICHAL, R. et al. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 177-185, 2014.
- METCALFE, D.B., et al. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, p. 189-199, 2008.
- MIRAGAYA, J. F. G. **Transformações no Arco do Desmatamento: a expansão da pecuária bovina na Amazônia, pressões sobre o ambiente e o papel das políticas públicas na contenção do desmatamento (1990/2010)**. 2013. 245 f. Tese (Doutorado em Política e Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MORAN, E. F. Deforestation and land use in Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 21, n. 1, p. 1-21, 1993.

- MORRIS, S.J. et al. Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. **Global Change Biology**, p. 13, p. 1145-1156, 2007.
- OSZWALD, J., et al. Analyse des directions de Changement des états de surface Végétaux pour renseigner la Dynamique du front pionnier de Maçaranduba (para, brésil) entre 1997 et 2006. **Revue Télédétection**, v. 9, n. 2, p. 97-111, 2010.
- OSZWALD, J., et al. Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères. **Bois Forêts des Tropiques**, v. 307, n. 1, p. 7-21, 2011.
- OSZWALD, J., et al. Utilisation de la télédétection et de données socio-économiques et écologiques pour comprendre l'impact des dynamiques de l'occupation des sols a pacajà (brésil). **Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection**. v. 198/199, p. 1-17, 2012.
- SANTOS, A. M. Consequências das práticas agrícolas na diversidade vegetal em Parauapebas, Pará. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- SILVER, W.L. et al. Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. 1115-1127, 2004.
- VOGT, K.A. et al. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. **Plant and Soil**, v. 187, p.159-219, 1996.
- ZARIN, D.J. et al. 2005. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. **Front Ecology Environment**, v. 3, n. 7, p. 365-369, 2005.

2. BIOMASSA DE RAÍZES FINAS EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL NO ‘ARCO DO DESMATAMENTO’, AMAZÔNIA BRASILEIRA¹

RESUMO

O objetivo deste trabalho é quantificar a biomassa de raízes finas em nove tipos de coberturas vegetais em três áreas da região do Arco do desmatamento, avaliar o efeito do tipo de cobertura vegetal, propriedades químicas e físicas do solo e a estrutura da vegetação na biomassa de raízes finas e examinar como esses fatores influenciam os diferentes diâmetros das raízes finas. O estudo foi conduzido em áreas agrícolas localizadas nos municípios de Nova Ipixuna, Parauapebas e Pacajá, no estado do Pará, Brasil. Foram selecionadas nove propriedades em cada área, nas quais foram estabelecidas cinco parcelas ($n = 135$ parcelas). As 135 parcelas representam nove diferentes tipos de cobertura vegetal. Em cada uma das 135 parcelas, foram coletadas quatro amostras de solo na profundidade de 0-30 cm para quantificar a biomassa de raízes finas vivas (classes diamétricas: $R1 = \leq 1$ mm; $R2 = 1-2$ mm; $R3 = 2-5$ mm) e mortas ($RM = \leq 5$ mm). Nas mesmas parcelas foi realizado: inventário das coberturas vegetais nos estratos superior, médio e inferior; classificação dos solos; determinação das propriedades físicas e químicas dos solos. O tipo de cobertura vegetal influenciou a biomassa de raízes finas, a qual diminuiu com o aumento do distúrbio na cobertura vegetal, variando de $516,3 \text{ g m}^{-2}$ a $189,1 \text{ g m}^{-2}$, floresta conservada e cultivo anual respectivamente. Todas as coberturas vegetais apresentaram maior proporção de biomassa da classe R1, ressaltando a importância das raízes muito finas para a quantificação da biomassa radicular. Três grupos foram formados de acordo com a quantidade de biomassa total: florestas primárias e floresta secundária velha com maior biomassa; floresta secundária jovem, cultivo perene e pasto invadido com biomassa intermediária; e cultivos anuais e pasto limpo com menor biomassa. A biomassa de R3 foi importante para a diferenciação entre as coberturas vegetais devido a rápida recuperação das raízes muito finas. A estrutura da vegetação foi mais determinante para a biomassa das raízes finas do que as características dos solos.

Palavras-chave: Amazônia; Agricultura familiar; Interações abaixo do solo; Mudança de cobertura vegetal; Solo; Vegetação

¹ Este capítulo será enviado para a revista Forest Ecology and Management e segue as normas de formatação da mesma.

ABSTRACT

This study aims to quantify fine root biomass for nine different types of land covers in three areas of the arc of deforestation region, evaluate the effect of land cover type, chemical and physical properties of soil and vegetation structure on fine root biomass, and to examine how these factors affect different diameters of fine roots. The study was conducted in communities located in the Nova Ipixuna, Parauapebas and Pacajá cities, Pará State, Brazil. Nine properties were chosen in each area, and established five plots (n = 135 plots). The 135 plots represent nine different types of land covers. In each of the 135 plots, four soil samples were collected at 0-30 cm depths to quantify alive fine roots (diameter classes: R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2 mm; R3 = 2-5 mm) and dead (DR = ≤ 5 mm). In the same plots was done: inventory of the land covers in the higher, medium, and lower strata; soil classification; determination of physical and chemical soil properties. The land cover type influenced the fine roots biomass that decreased with the increase of the disturbance in the vegetative cover, varying from 516.3 g m⁻² to 189.1 g m⁻² in the conserved forest and farm, respectively. All land covers showed higher proportion of biomass in the R1 class, highlighting the importance of fine roots to the quantification of root biomass. Three groups were formed according to the quantity of total biomass: primary forest and old secondary forest with the highest biomass; young secondary forest, perennial crop and invaded pasture with intermediate biomass; and annual crop and clean pasture, the lowest biomass. The biomass of R3 was important to differentiate among the land covers due the rapid recovery of fine roots. The structure of the vegetation was more determinant to fine roots biomass than soil characteristics.

Key words: Amazon; Family farms; interactions belowground; Land Cover Changing; Soils; Vegetation

2.1. Introdução

Os projetos de assentamento na Amazônia têm sido considerados como um dos importantes modificadores da paisagem amazônica (Calandino et al., 2012). Em média 25% do desmatamento ocorrido no estado do Pará entre os anos de 2010 e 2012 está localizado em áreas de assentamentos, sendo a maior proporção do desmatamento encontrada nos assentamentos ao longo da rodovia Transamazônica (Brandão Jr. et al., 2013).

Em decorrência do processo de ocupação na região houve uma intensa fragmentação das florestas e a formação de uma paisagem formada por mosaicos de diferentes tipos de cobertura vegetal (INPE, 2008; Laurance et al. 2011). As paisagens em mosaicos refletem não apenas os tipos de cobertura vegetal presentes em um tempo qualquer, mas também a trajetória histórica que levou àqueles tipos de coberturas (Oszwald et al., 2011).

Frente ao cenário de mudanças climáticas e a crescente pressão antrópica sobre as florestas, tem crescido as investigações dos efeitos da mudança de cobertura vegetal sobre a qualidade do solo (Matoso et al., 2012), a composição florística (Coelho et al. 2012, 2013, Do Vale et al. 2015), a biomassa vegetal (Costa et al., 2012), a produtividade (Vasconcelos et al., 2012) e o estoque de carbono (Berenguer et al., 2014). No entanto, as investigações dos efeitos da mudança na cobertura vegetal sobre a biomassa abaixo do solo ainda são muito incipientes. Alguns autores têm atribuído a importância de se investigar a biomassa de raízes finas atribuindo essa importância, principalmente, às funções desempenhadas por elas (Freitas et al., 2008; Finér et al., 2011a; Lima et al., 2010). Além disso, o conhecimento sobre as alterações na biomassa de raízes em função das modificações da cobertura vegetal pode ajudar a entender as consequências do desmatamento na vegetação e na ciclagem de carbono (Jackson et al., 2000; Jaramillo et al., 2003).

Alguns trabalhos têm mostrado a estreita relação da biomassa de raízes finas com as características edáficas (Metcalf et al., 2008; Lima et al., 2011), outros com a estrutura da vegetação (Finér et al., 2011b), porém ainda são poucos os que a relacionam com os diferentes tipos de cobertura vegetal originadas pelas mudanças de usos da terra, especialmente considerando a interação entre solo e vegetação (Castellanos et al., 2001; Jaramillo et al., 2003). Entre o solo e a vegetação, ambos modificados pela cobertura vegetal, qual é o fator mais determinante para a biomassa de raízes finas? As diferenças dependem da classe diamétrica das raízes avaliadas?

Neste estudo foi quantificada a biomassa de raízes finas em nove tipos de cobertura vegetal encontrados em três áreas na região do arco do desmatamento e avaliada a influência

do tipo de cobertura vegetal, das propriedades físicas e químicas do solo e da estrutura da vegetação sobre a biomassa de raízes finas, usando técnicas multivariadas de análise de dados. Também foi verificada a influência desses fatores sobre as diferentes classes diamétricas de raízes finas.

Com base na hipótese da complementaridade de espécies, que pressupõe que áreas mais diversas podem alcançar maior produtividade do que em áreas menos diversas, é esperado neste trabalho que nos tipos de cobertura vegetal com maior riqueza de espécies ocorra maior biomassa de raízes finas. Esta hipótese foi testada em povoamentos mistos, pobres em espécies, em região de clima temperado (Brassard et al. 2011, 2013).

A teoria da alocação de recursos, que pressupõe que em solos com maior disponibilidade de nutrientes, existe uma menor necessidade de alocação de recursos para o desenvolvimento das raízes (Kozlowski e Pallardy, 2002), foi a base para relacionar a biomassa de raízes finas com os atributos físicos e químicos dos solos; assim, é esperado que a biomassa de raízes finas seja menor onde o solo é mais rico em nutrientes.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Área de estudo

Para a realização deste trabalho foram selecionadas três áreas de agricultura familiar localizadas na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil (Figura 2.1). As áreas são caracterizadas pela expansão da agricultura, pecuária e desflorestamento, que reflete o histórico da dinâmica de uso da terra das três áreas estudadas (Oszwald et al., 2011).

A área um está localizada no Projeto de Assentamento Palmares II (Palmares II), distante 20 km da cidade de Parauapebas, foi instituído a partir da divisão do assentamento Palmares em 2001, este foi criado após uma ocupação do Movimento dos Sem Terra (MST) e desapropriação de uma fazenda em 1995 (Moreno e Guerra, 2012). O Palmares II é caracterizado por uma dinâmica de uso da terra acentuada e paisagem fortemente fragmentada, com manchas em tamanhos pequenos e médios, todas as propriedades tem acesso às estradas e as residências são localizadas em uma vila próxima aos locais de cultivo (Oszwald et al., 2011). A paisagem de Palmares II é a única, dentre as estudadas, em que não foi registrada a ocorrência de florestas conservadas, apesar de ainda ter o componente florestal importante na formação da paisagem (Oszwald et al., 2011). Os cultivos agrícolas têm maior importância nesta paisagem do que nas demais.

A segunda área de estudo está localizada no Projeto Agroextrativista Praia Alta Piranheira (Maçaranduba II) é, dentre as áreas estudadas, a mais antiga a sofrer a ação antrópica. Está localizado no município de Nova Ipixuna e foi criado em 1997, porém a sua ocupação data de meados da década de 1970, incentivada pelo Plano de Integração Nacional. A paisagem de Maçaranduba II é caracterizada pela presença marcante de pastos em diferentes estágios de desenvolvimento e florestas secundárias. As extensões de floresta concentram-se às margens dos rios e/ou distante da sede das propriedades (Oszwald et al., 2011).

A terceira área de estudo é uma área de colonização agrícola localizada no Travessão 338-Sul da Rodovia BR 230, mais conhecida como rodovia transamazônica, no município de Pacajá. Esta área é a mais recente a sofrer ação antrópica e sua paisagem ainda possui extensas áreas de floresta conservada, sendo mais homogênea do que as demais (Oszwald et al., 2011). É a única área, dentre as estudadas, a apresentar agricultura perene (*Theobroma cacao* consorciado com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*).

2.2.2. Desenho amostral

Em cada área foram selecionadas nove propriedades rurais e em cada propriedade foram estabelecidas cinco parcelas amostrais (10 m x 50 m), distribuídas regularmente ao longo da maior diagonal da propriedade (Figura 2.2), totalizando 135 parcelas separadas em nove diferentes tipos de cobertura vegetal (Tabela 2.1). A distribuição das parcelas na propriedade foi feita de forma a amostrar o tipo de cobertura vegetal dominante na propriedade, determinada por imagem de satélite. A escolha de usar várias parcelas pequenas foi para cobrir uma maior variabilidade espacial das áreas de estudo e também para reduzir as incertezas na estimativa da biomassa inventariada para o cálculo de carbono, conforme recomendado por Sierra et al. (2007), Kauffman et al. (2009) e Breugel et al. (2011).

2.2.3. Biomassa de raízes

Em cada parcela foram coletadas quatro amostras de solo (Figura 2.2) a uma profundidade de 0-30 cm, totalizando 180 amostras por área. As amostras foram coletadas entre maio e julho de 2008 com um cilindro de aço inoxidável com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e congeladas (-2°C) até a triagem manual das raízes. Para a separação das raízes finas do solo, cada amostra foi colocada em sacos de tecido, com malha de 0,05 mm de abertura e lavada em água corrente

para retirar o excesso de solo. Em seguida o material restante foi colocado em uma bandeja com água para a triagem manual das raízes finas com o auxílio de uma pinça.

Foram consideradas raízes finas aquelas com diâmetro menor ou igual a 5 mm e classificadas em vivas ($R1 \leq 1$ mm; $R2 > 1$ mm e ≤ 2 mm; $R3 > 2$ mm e ≤ 5 mm de diâmetro) e mortas ($RM \leq 5$ mm de diâmetro). As raízes de coloração escura, com pouca flexibilidade, geralmente quebradiças, foram classificadas como mortas (Kavanagh e Kellman, 1992; Makkonen e Helmisaari, 1999; Yavitt e Wright, 2001).

Após a triagem as amostras foram acondicionadas em envelopes de papel, secas ao ar livre, e em seguida secas em estufa com circulação forçada de ar a 75°C por um período de 24 h a 48 h e pesadas em balança com precisão de 0,0001 g.

A biomassa (g m^{-2}) foi calculada usando a razão entre a massa de raízes e a área da base do cilindro. Para testar a hipótese, a biomassa por parcela foi calculada ($n = 135$) considerando as quatro amostras por parcela.

2.2.4. Estrutura da vegetação

O inventário da vegetação em cada cobertura vegetal analisada foi realizado nas mesmas 135 parcelas onde foram coletadas as amostras de solo para as raízes, sendo considerado três estratos: estrato superior, estrato médio e estrato inferior.

Para o estrato superior foi considerada a parcela de 10 m x 50 m e inventariados todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) > 10 cm. Dentro dessa parcela foi alocada uma sub-parcela de 5 m x 50 m para o levantamento do estrato médio no qual foram considerados todos os indivíduos com $DAP \leq 10$ cm e altura $> 2,0$ m. Para o estrato inferior foram distribuídas regularmente 10 sub-parcelas de 1 m x 1 m no centro da parcela de 10 m x 50 m, onde foram inventariados os indivíduos com $10 \text{ cm} < \text{altura} < 2,0$ m.

Amostras de todas as espécies foram coletadas e identificadas por meio de comparação junto ao Herbário do Museu Paraense Emilio Goeldi. A coleta dos dados para análise da estrutura da vegetação ocorreu entre abril e julho de 2008.

A riqueza de espécies por estrato (RiqInf, RiqMed, RiqSup) e a densidade de indivíduos, também por estrato (DensInf, DensMed, DensSup), foram as variáveis utilizadas nas análises.

2.2.5. Características do solo

Os solos das mesmas 135 parcelas foram classificados e coletados para caracterização física e química no mesmo tempo em que ocorreram as coletas das raízes. Em cada parcela foram coletadas duas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm (nos mesmos pontos de coleta das raízes) para formar uma amostra composta. As variáveis de solos analisadas foram: teores de areia total, argila e silte, velocidade de infiltração da água no solo (V_i), determinada pelo teste de infiltração de Beerkan, densidade aparente do solo (D_a), determinada pelo método do cilindro, pH_{KCl} (em KCl 1M; solo:solução 1:2,5), H^+ e Al^{+3} trocável foram extraídos com 0,5 M solução de $(CH_3COO)_2Ca$ e cátions básicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+) extraídos com 1 M (solução de KCl), P disponível (método de extração Mehlich “ácido duplo”) e NH_4^+ . O carbono total e nitrogênio total (na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-30 cm) foram determinados usando o analisador elementar CHNS (LECO).

Os solos das áreas de estudo foram classificados em: Argissolo, Cambissolo, Solo hidromórfico e Latossolo. Os métodos de obtenção das variáveis e um estudo mais detalhado sobre os solos das áreas do presente trabalho é apresentado em Grimaldi et al. (2014), o qual separou as variáveis do solo em variáveis inerentes ao solo, com pouca sensibilidade ao uso da terra (textura) e variáveis sensíveis ao uso da terra (estrutura e propriedades químicas).

2.2.6. Análise estatística

Foi realizada uma análise de componente principal (ACP) normalizada para verificar a correlação entre a biomassa de raízes distribuída entre as quatro classes diamétricas e os tipos de cobertura vegetal e os tipos de solos. A biomassa encontrada em cada cobertura vegetal foi comparada por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade, seguido do teste de comparação múltipla (Siegel e Castellan, 1988, Zar, 2010) para identificar as diferenças pontuais. Para avaliar a contribuição das diferentes classes diamétricas para a biomassa total de raízes foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Foram feitas duas análises de Co-Inércias: i) entre as matrizes de raízes (4 variáveis: R1, R2, R3 e RM) e solo (15 variáveis: areia total, argila, silte, V_i , D_a , pH , H^+ , Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , P, NH_4^+ , C e N), para analisar a relação entre as propriedades físicas e químicas do solo e a biomassa de raízes; ii) entre as matrizes de raízes e estrutura da vegetação (6 variáveis: Riq_{Inf} , Riq_{Med} , Riq_{Sup} , $Dens_{Inf}$, $Dens_{Med}$ e $Dens_{Sup}$), para analisar a relação entre a biomassa de raízes e os parâmetros da vegetação (riqueza de espécies e densidade de plantas).

A Co-Inércia compara as estruturas reveladas nas análises de ACP, mostrando se a co-estrutura descrita pelos principais eixos é similar às estruturas descritas nas análises realizadas para cada matriz de dados (Dolédec e Chessel, 1994).

A significância da ACP e das Co-Inércias foi determinada com o teste de permutação de Monte-Carlo a 5%. As análises estatísticas foram realizadas no software R 2.12.0 (R Core Team, 2013) com suporte dos pacotes ADE-4, MASS (Venables e Ripley, 2002) e pgrimess (Giraudoux, 2013).

2.3. Resultados

2.3.1. Caracterização da biomassa de raízes finas

A biomassa total das raízes finas apresentou diferença significativa entre os tipos de coberturas vegetais (teste de Kruskal Wallis = 48,3; $p < 0,0001$), sendo a menor biomassa encontrada no cultivo anual (189,1 g m⁻²) e maior biomassa nas florestas conservadas (516,3 g m⁻²). O coeficiente de variação foi de 19% na floresta conservada a 60% no cultivo anual (Tabela 2.2). As florestas conservada e explorada e a floresta secundária velha apresentaram uma biomassa total similar entre si (Tabela 2.2). A conversão de floresta conservada para cultivo anual e pasto limpo resultou em uma perda de 63% e 39% da biomassa total de raízes finas, respectivamente.

Os dois primeiros eixos da ACP explicam 82,5% da variância total dos dados; o eixo 1 explica 67,9% e o eixo 2 explica 14,6% da variância (Figura 2.3a). A biomassa de raízes finas foi influenciada pelos tipos de cobertura vegetal (39%) (teste de Monte Carlo, $p < 0,001$) (Figura 2.3b). Entretanto, a classificação do tipo de solo representou apenas 2% da variabilidade da biomassa de raízes e não foi significativa (teste de Monte Carlo, $p = 0,4$) (Figura 2.3c). O agrupamento das amostras no plano fatorial (Figura 2.3b) reflete a influência das coberturas da terra sobre a quantidade de biomassa de raízes finas nas diferentes classes diamétricas.

A biomassa da classe R3 contribuiu com 84,5% na formação dos grupos ao longo do eixo 1, destacando três grupos de cobertura vegetal: grupo 1, com maior biomassa de R3, formado pelas florestas primárias (conservadas, exploradas e queimadas) e a floresta secundária velha; grupo 2, com biomassa intermediária, formado pela floresta secundária jovem, cultivo perene e pasto invadido; e, grupo 3, com menor biomassa, formado pelo cultivo anual e pasto limpo (Figura 2.3b).

O eixo 2 destacou a contribuição das raízes mortas (90,2%) na formação dos grupos, em que o cultivo perene, o cultivo anual, a floresta queimada e a floresta explorada apresentaram correlação positiva com esse eixo (Figura 2.3a, b). Essas quatro coberturas vegetais foram as que apresentaram maior proporção de RM em relação ao total da biomassa de raízes finas (17,5%, 16,6%, 11,1% e 8,8 respectivamente) (Figura 2.4).

Uma vez que, todas as variáveis de raízes se posicionaram à esquerda do eixo 1 (Figura 2.3a), o agrupamento das amostras ao longo deste eixo também é resultado da biomassa total de raízes finas. Neste caso, separando as florestas primárias e floresta secundária velha dos pastos e cultivo anual (Figura 2.3b).

A proporção da biomassa de raízes finas nas diferentes classes diamétricas também foi influenciada pelos tipos de cobertura vegetal (K-S, $p < 0,05$). A proporção de R1 foi alta em todas as coberturas vegetais, sendo observadas diferenças significativas (K-S, $p < 0,05$) apenas quando comparados os pastos limpo (82,91%) e invadido (75,97%) com as demais coberturas (média em torno de 50%). O cultivo perene apresentou uma divisão mais equitativa das diferentes classes diamétricas de raízes (Figura 2.4).

2.3.2. Relação entre raízes finas e solos

Foi verificada uma co-variância significativa entre as matrizes de raízes e das variáveis de solos, porém com um coeficiente de correlação entre as matrizes muito baixo (Coeficiente de correlação = 0,09; teste de Monte Carlo, $p = 0,003$). Os dois primeiros eixos explicaram 92,5% da variabilidade dos dados (eixo 1 = 72,3%; eixo 2 = 20,2%). Da matriz de raízes a classe R3 foi a que mais contribuiu para a variância do eixo 1 (R3 = 67,2%); da matriz de solos as variáveis com maior contribuição ao eixo 1 foram Vi (24%), pH (18,6%), Ca^{+2} (18,3%) e Al^{+3} (14,6%) (Tabela 2.3; Figura 2.5a).

A ordenação das amostras ao longo do eixo 1 exhibe um gradiente de conservação da cobertura vegetal (Figura 2.5b). Este eixo influenciou em mais de 65% as variáveis R2, R3 e RM e mais da metade das variáveis químicas do solo (Tabela 2.3), posicionando à esquerda as coberturas vegetais com maior biomassa de raízes finas, correlacionadas positivamente a solos com alto teor de Al^{+3} e maior velocidade de infiltração da água (florestas conservada, explorada e queimada e a floresta secundária velha); ao centro do eixo a floresta secundária jovem com valores intermediários, e à direita, um grupo com os pastos e cultivo anual, com menor biomassa de raízes, correlacionado positivamente a solos com alto pH e com alto teor de Ca^{+2} (Figura 2.5b). Não foi possível identificar a ordenação das mostras do cultivo perene.

O eixo dois foi formado, principalmente, pela biomassa das classes R1 e R2 relacionada positivamente ao teor de areia e densidade aparente do solo. A quantidade de carbono e nitrogênio totais foram negativamente relacionadas a biomassa de R1 e R2 (Figura 2.5a). O eixo dois destaca um gradiente de diâmetro das raízes associado, principalmente, a textura do solo, no entanto ao longo deste eixo não foi possível verificar a formação de grupos (Figura 2.5b).

2.3.3. Relação entre a biomassa de raízes finas e estrutura da vegetação

A co-inércia também mostrou co-variância significativa entre as matrizes de raízes e estrutura da vegetação, compartilhando 37% da variância dos dados (teste de Monte Carlo, $p = 0,001$). O eixo 1 representa 99,2% da variabilidade dos dados.

A biomassa da classe R3 foi a variável que mais contribuiu para a variância do eixo 1 ($R3 = 69,1\%$), seguida pelas densidades dos estratos médio e superior e a riqueza do estrato médio (35,2%, 23,2% e 21,8% respectivamente) (Tabela 2.3; Figura 2.6a). O eixo 1 apresentou forte influência sobre todas as variáveis das duas matrizes (Tabela 2.3), mostrando um gradiente de conservação da estrutura da vegetação (Figura 2.6b). A ordenação das amostras no eixo 1 formou três grupos: (1) à esquerda, o grupo formado pelas florestas, floresta secundária velha e cultivo perene, correlacionado positivamente à todas as classes de raízes e a densidade e riqueza dos estratos superior e médio; (2) isolada ao centro do eixo estão as florestas secundárias jovens; (3) à direita, ficou o grupo formado pelos pastos e cultivos anuais, estando correlacionado negativamente à densidade e riqueza dos estratos médio e superior (Figura 2.6a e 2.6b).

2.4. Discussão

A média dos valores de biomassa total de raízes finas registrados para as florestas conservada, explorada e queimada (média de $442,1 \text{ g m}^{-2}$) são semelhantes aos encontrados nas estimativas realizadas por Finér et al. (2011a) para florestas tropicais (494 g m^{-2}) e Cavelier et al. (1996) em florestas tropicais pouco exploradas na Colômbia (400 g m^{-2}); esses autores também consideraram a biomassa de raízes com até 5 mm de diâmetro, porém em profundidades diferentes do presente estudo; Finér et al. (2011) trabalhou com uma média de 50 cm de profundidade, e Cavelier et al. (1996) com 10 cm de profundidade.

A biomassa de raízes com diâmetro $\leq 2 \text{ mm}$ (R1 + R2) para as florestas (média de biomassa das florestas para as raízes $\leq 2\text{mm} = 298,2 \text{ g m}^{-2}$; Floresta conservada = $352,0 \text{ g m}^{-2}$;

Floresta explorada = $341,9 \text{ g m}^{-2}$; Floresta queimada = $200,6 \text{ g m}^{-2}$) ficaram abaixo das estimativas globais feitas por Jackson et al. (1997) para as florestas tropicais (570 g m^{-2}) e para a floresta nacional de Caxiuanã, no estado do Pará, onde Metcalfe et al. (2008) encontraram uma média de $1.333,33 \text{ g m}^{-2}$ nos três diferentes tipos de solos estudados. Porém, os resultados foram semelhantes à biomassa de raízes finas da Floresta Nacional do Tapajós, também no estado do Pará (média = 255 g m^{-2} para dois tipos de solo) (Silver et al., 2005).

A classe de raízes com diâmetro menor do que 1 mm (R1) contribuiu com maior quantidade de biomassa; a participação significativa dessa classe de raízes também foi encontrada na Floresta Nacional de Caxiuanã (Metcalfe et al., 2008) e em outros trabalhos que tratam apenas de uma espécie (Baddeley e Watson, 2005; Hou et al., 2012; Noguchi et al., 2012). Apesar do destaque da biomassa das raízes da classe R1 ela não foi boa para diferenciar os tipos de coberturas vegetais; as diferenças entre a biomassa de raízes finas nos tipos de coberturas estudadas foram melhor explicadas pela quantidade de biomassa da classe R3 (Figura 2.3a).

A biomassa encontrada nas florestas secundárias e nos pastos foi semelhante à registrada em outros estudos realizados em regiões tropicais (Cavelier et al., 1996; Jaramillo et al., 2003). Sobre o cultivo perene de cacau Leuschner et al. (2009) encontraram uma biomassa de $188,4 \text{ g m}^{-2}$ para raízes com diâmetro $\leq 2 \text{ mm}$ em 20 cm de profundidade, resultados semelhantes aos registrados no presente estudo ($154,7 \text{ g m}^{-2}$) para a mesma classe diamétrica (R1 + R2).

A semelhança entre a biomassa total de raízes finas das florestas e das florestas secundárias velhas e novas (Tabela 2.2) pode ser devido à rápida recuperação da biomassa radicular nesses ambientes (Guarigata e Ostertag, 2001), fato que mostra parte do processo de regeneração durante a sucessão florestal (Jaramillo et al., 2003).

Outros autores também não observaram diferença na biomassa de raízes finas entre florestas secundárias de diferentes idades (Lima et al., 2012; Cavelier et al., 1996). Essa similaridade está limitada à biomassa de raízes R1 e R2 (Tabela 2.2), uma vez que as florestas secundárias jovens apresentaram baixa proporção de biomassa da classe R3 em relação as florestas e floresta secundária velha e proporção semelhante nas classes R1 e R2 (Figura 2.4).

A baixa proporção de biomassa da classe R3 também foi observada nos pastos e no cultivo anual. Portanto, a mudança do uso e cobertura da terra pode levar a perdas significativas de raízes com diâmetro $> 2 \text{ mm}$, as quais, de acordo com o IPCC (2003), devem ser consideradas nas estimativas de biomassa e carbono na vegetação.

O uso do fogo associado aos no cultivos anuais e aos pastos pode ter influenciado tanto na menor biomassa radicular total encontrada nestas coberturas vegetais quanto na maior proporção de raízes mortas. A biomassa de raízes finas diminui logo após o uso do fogo, com o aumento da biomassa de raízes mortas e diminuição das raízes vivas como consequência da queima (Castellanos et al., 2001). As consequências negativas do fogo para a biomassa de raízes também foram registradas por Román e Cuesta (2011).

Os resultados confirmam a hipótese de que as coberturas vegetais com predominância de espécies arbóreas, como são as florestas e a floresta secundária velha, contribuem com maior biomassa de raízes finas (Figura 2.6a,b). O gradiente de cobertura vegetal formado no eixo 1 da co-inércia entre as matrizes de raízes e vegetação mostra que a biomassa de raízes finas decresceu significativamente nos tipos de coberturas não florestais. Esta redução foi claramente relacionada à diminuição da riqueza de espécies e densidade de indivíduos causada pela mudança da cobertura vegetal. Hertel et al. (2009) verificaram que a produção de raízes finas diminuiu consideravelmente com o aumento dos distúrbios na vegetação, atribuindo essa diminuição à modificação da estrutura da vegetação.

A maior biomassa no pasto limpo comparada à biomassa dos cultivos anuais, pode ser devido à maior densidade de indivíduos no estrato inferior dos pastos em relação ao cultivo anual, e também devido a arquitetura radicular das gramíneas que contribui significativamente para a biomassa de raízes mais finas (diâmetro < 1mm). A correlação positiva entre a densidade de indivíduos dos estratos médio e superior com a biomassa de raízes das classes R2 e R3 demonstra que coberturas vegetais com predominância de espécies arbóreas, como as florestas primárias e secundárias, contribuem para a biomassa das raízes com diâmetro maior ou igual a 2 mm.

Os resultados evidenciaram a relação positiva entre a riqueza de espécies e a biomassa de raízes, encontrada em outros trabalhos (Brassard et al., 2011; Brassard et al., 2013, Lei et al., 2012), corroborando com a hipótese da complementaridade de nicho relacionada a biomassa de raízes finas.

A classificação do tipo de solo das 135 parcelas amostrais não exerceu influência significativa sobre a variabilidade da biomassa de raízes finas (Figura 2.3c), portanto os resultados apresentados aqui são decorrentes de outros fatores, como o tipo de cobertura vegetal e estrutura da vegetação.

Apesar das variações da classificação do tipo de solo de cada parcela, não foi significativa para explicar a variabilidade da biomassa de raízes e representou apenas 2% da

variabilidade; no entanto, o gradiente de conservação da vegetação ao longo do eixo 1 da co-inércia entre raízes e solos, mostra uma perda de biomassa de raízes associada a perda das propriedades físicas do solo (V_i e Da). As variáveis V_i e Da foram opostas, sendo as florestas e a floresta secundária velha associadas a maior V_i e os pastos com maior Da . A V_i é mais influenciada pelo tipo de cobertura vegetal do que pelas características inerentes ao solo, como a textura, o oposto ocorre com a Da (Grimaldi et al., 2014).

Devido a baixa correlação entre as matrizes de solos e raízes, acreditamos que a maior biomassa de raízes finas encontrada em solos mais ácidos (representados pelas florestas e floresta secundária velha) está mais relacionada com o tipo de cobertura vegetal do que propriamente com as consequências da acidez do solo para a absorção de nutrientes.

A densidade aparente desponta junto com a areia e argila como uma variável que exerce influência no diâmetro das raízes finas. A densidade aparente está positivamente relacionada a biomassa de R1 e R2, caracterizando os pastos (Figura 2.5a,b).

A co-variação positiva da biomassa de raízes com diâmetro ≤ 2 mm (R1 e R2) com solos mais arenosos pode ser explicada pela menor resistência encontrada pelas raízes para penetrar esses solos. Do oposto a biomassa de raízes R3 co-variou positivamente com solos argilosos, onde as raízes tendem a aumentar o seu diâmetro como uma estratégia para penetrar nestes solos. Essa estreita relação da textura do solo com a biomassa e a morfologia de raízes tem sido verificada em outros trabalhos na região Amazônica (Menezes, 2002; Silver et al., 2005; Metcalfe et al., 2008). Os tipos de cobertura vegetal das áreas estudadas têm pouca ou nenhuma influência sobre as propriedades inerentes ao solo, como a textura (Grimaldi et al., 2014).

De acordo com as análises de co-inércia a biomassa de raízes finas é mais influenciada pelo tipo de cobertura vegetal (39%) e consequentemente pelas características da vegetação (neste caso, riqueza de espécies e densidade de indivíduos) (37%) do que pelas características físicas e químicas do solo (7,5%). A baixa correlação entre as matrizes de solos e de raízes, pode ser devido à rápida dinâmica que ocorre no sistema radicular após as modificações que ocorrem acima do solo. Bengough et al. (2006) ressaltam que não só as condições do solo influenciam o sistema radicular, mas também a relação das raízes com outras partes da planta, principalmente quando o solo é espacialmente heterogêneo em termos de nutrientes.

O presente trabalho foi realizado nas mesmas parcelas do estudo de Costa et al. (2012) o qual também encontrou uma baixa correlação entre as características do solo com a biomassa vegetal acima do solo (14%), e maior correlação dessa biomassa com a matriz da

estrutura da vegetação (77%). Portanto, provavelmente, os mesmos fatores que influenciam a biomassa acima do solo também influenciaram a biomassa das raízes finas.

2.5. Conclusão

O tipo de cobertura vegetal influenciou a biomassa de raízes finas, a qual diminuiu com o aumento do distúrbio na cobertura vegetal. A conversão de floresta para coberturas com estrutura vegetal mais simples, como o pasto e os cultivos anuais, diminuem o estoque de raízes finas, sendo a biomassa das raízes com diâmetro > 2 mm mais prejudicada. Portanto, coberturas vegetais que conservem em seu interior espécies arbóreas e maior diversidade possuem maior biomassa de raízes finas.

As características da vegetação (densidade e riqueza) foram mais determinantes para a biomassa de raízes finas do que as características dos solos. Os resultados ressaltam a importância das raízes com diâmetro ≤ 2 mm para quantificar a biomassa radicular; e a biomassa de raízes > 2 mm crucial para diferenciar os tipos de coberturas vegetais, devido a rápida recuperação das raízes mais finas.

2.6. Referências

- Baddeley, J.A., Watson, C.A. 2005. Influences of root diameter, tree age, soil depth and season on fine root survivorship in *Prunus avium*. *Plant Soil* (2005) 276:15–22. DOI 10.1007/s11104-005-0263-6
- Bengough, A.G., Bransby, M.F., Hans, J., McKenna, S.J., Roberts, T.J., Valentine, T.A. 2006. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. *Environ. Exp. Bot.* 57 (2) 437–447. doi:10.1093/jxb/erj003
- Berenguer, E., Ferreira, J., Gardner, T. A., Aragão, L. E. O. C., Camargo, P. B., Cerri, C. E., Durigan, M., Oliveira Jr., R. C., Vieira, I. C. G., Barlow, J. 2014. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob. Chang. Biol.*, 20 (12), 3713-3726.
- Brandão Jr., A., Souza Jr., C., Pinto, A., Amaral, P. Situação do desmatamento nos assentamentos de reforma agrária no Estado do Pará. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2013. 32 p.
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Bergeron, Y. and Paré, D. 2011. Differences in fine root productivity between mixed- and single-species stands. *Funct. Ecol.*, 25, 238–246. doi: 10.1111/j.1365-2435.2010.01769.x

- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Cavard, X., Laganière, J., Reich, P. B., Bergeron, Y., Paré, D., Yuan, Z. 2013. Tree species diversity increases fine root productivity through increased soil volume filling. *J. Ecol.*, 101, 210–219. doi: 10.1111/1365-2745.12023
- Breugel, M.V., Ransijn, J., Craven, D., Bongers, F., Hall, J.S. 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *For. Ecol. Manage.* 262, 1648–1657.
- Calandino, D., Wehrmann, M., Koblitz, R. 2012. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. *Des. Meio Amb.* 26, 161-170.
- Castellanos, J., Jaramillo, V. J., Sanfor Jr, R. L., Kauffman, J. B. 2001. Slash-and-burn effects on FIRE root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México. *For. Ecol. Manage.*, 148: 41-50.
- Cavelier, J., Wright, S.J., Santamaría, J. 1999. Effects of irrigation on litterfall, fine root biomass and production in a semideciduous lowland forest in Panama. *Plant Soil*, 211, 207-213.
- Coelho, R. F. R., Miranda, Izildinha S., MIRANDA, I. S., MITJA, D. 2012. Caracterização do processo sucessional no Projeto de Assentamento Benfica, sudeste do estado do Pará, Amazônia oriental. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.* 7, 251-282.
- Coelho, R. F. R., Miranda, Izildinha S., MITJA, D. 2013. Conservação das florestas do projeto de Assentamento Benfica, Sudeste da Amazônia. *CI. Fl.* 23, 1-17. doi.org/10.5902/198050988435
- Costa, L.G.S., Miranda, I.S., Grimaldi, M., Silva Jr.,M.L., Mitja, D., Lima, T.T.S. Biomass in different types of land use in the Brazil's 'arc of deforestation'. *For. Ecol. Manage.*, 278, 101-109, 2012 doi: 10.1016/j.foreco.2012.04.007
- Do Vale, I. et al. 2015. Tree Regeneration Under Different Land-Use Mosaics in the Brazilian Amazon's "Arc of Deforestation". *Env. Manage.* 56 (2), 342-54.
- Dolédec, S., Chessel, D. 1994. Co-inertia analysis: na alternative method for studying species – environment relationships. *Freshw. Biol.* 31, 277-294.
- Finér, L., Ohashib, M., Noguchi, K., Hirano, Y. 2011a. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 261, 265–277 doi:10.1016/j.foreco.2010.10.016

- Finér, L., Ohashib, M., Noguchi, K., Hirano, Y. 2011b. Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. *For. Ecol. Manage.* 262, 2008–2023. doi:10.1016/j.foreco.2011.08.042
- Freitas, T.A.S., Barroso, D.G., Carneiro, J.G.A. 2008. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. *Ci. Fl.* 18 (1), 133-142.
- Giraudeau, P. 2013. *pgirmess: Data analysis in ecology*. R package version 1.5.8. <http://CRAN.R-project.org/package=pgirmess>
- Grimaldi, M., J. Oszwald, J., Dolédec, S., Hurtado, M.P., Miranda, I.S., Sartre, X.A., Assis, W.S., Castañeda, E., Desjardins, T., Dubs, F., Guevara, E., Gond, V., Lima, T.T.S., Marichal, R., Michelotti, F., Mitja, D., Noronha, N.C., Oliveira, M.N.D., Ramirez, B., Rodriguez, G., Sarrazin, M., Silva Jr., M.L., Costa, L.G.S; Souza, S.L., Veiga, I., Velasquez, E., Lavelle, P. 2011. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: searching for landscape drivers. *Landscape Ecol.* 29, 311 - 328. Doi: 10.1007/s10980-013-9981-y
- Guarigata, M.R., Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For. Ecol. Manag.* 148, 185-206.
- Hertel, D., Harteveld, M.A., Leuschner, C. 2009. Conversion of a tropical forest into agroforest alters the fine root-related carbon flux to the soil. *Soil Biol. Biochem.* 41, 481–490. doi:10.1016/j.soilbio.2008.11.020
- Hou, C., Ma, L., Luo, F., Wang, Y., Zhang, X., Han, Z. 2012. Impact of rootstock and interstems on fine root survivorship and seasonal variation in apple. *Sci. Hortic.* 148, 169–176. doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.008
- INPE- Instituto Nacional Pesquisa Espacial. Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e Queimadas 2007-2008. São José dos Campos, São Paulo. 2008 Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf> Acessado em: 16 de julho de 2014.
- IPPC. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2003. 632 p.
- Jackson, R.B., Schenk, H.J., Jobbágy, E.G., Canadel, J., Colello, G.D., Dickson, R.E., Field, C.B., Friedlingstein, P., Heimann, M., Hibbard, K., Kicklighter, D.W., Kleidon, A., Neilson, R.P., Parton, W.J., Sala, O.E., Sykes, M.T. 2000. Belowground

- Consequences of Vegetation Change and Their Treatment in Models. *Ecol. Appl.* 10 (2), 470-483.
- Jackson, R.B., Mooney, H.A., Schulze, E.D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 94, 7362-7366.
- Jaramillo, V.J., Ahedo-Hernandez, R., Kauffman, J.B. 2003. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. *J. Trop. Ecol.*, 19, 457-464.
- Kauffman, J.B., Hughes, R.F., Heider, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecol. Appl.* 19, 1211–1222.
- Kavanagh, T., Kellman, M. 1992. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. *Biotropica*, 24, 157-165.
- Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *Bot. Rev.* 68, 270–334.
- Lei, P., Scherer-Lorenzen, M., Bausch, J. 2012. The effect of tree species diversity on fine-root production in a young temperate forest. *Oecologia*. 169, 1105–1115. DOI 10.1007/s00442-012-2259-2
- Leuschner, C., Harteveld, M., Hertel, D. 2009. Consequences of increasing forest use intensity for biomass, morphology and growth of fine roots in a tropical moist forest on Sulawesi, Indonesia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129, 474–481. doi:10.1016/j.agee.2008.10.023
- Lima, J.A.S., Villela, D.M., Calderano filho, B., Pérez, D.V. 2011. Biomassa radicular fina em fragmentos da mata atlântica fluminense. *Floresta*, 41 (1), 27-38.
- Lima, T.T.S., Miranda, I.S., Vasconcelos, S.S. 2012. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. *Acta Amaz.* 42 (1), 95-104. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100012>
- Lima, T.T.S., Miranda, I.S., Vasconcelos, S.S. 2010. Effects of water and nutrient availability on fine root growth in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. *New Phytol.* 187, 622–630.
- Makkonen, K., Helmisaari, H. 1999. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand - comparison of soil core and root ingrowth core methods. *Plant Soil*, 210, 43-50.

- Matoso, S.C.G., Silva, A.N., Fiorelli-Pereira, E.C., Colleta, Q.P., Maia, E. 2012. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. *Acta Amaz.* 42 (2), 231 – 240.
- Menezes, M.C. Dinâmica da biomassa e dos nutrientes nas raízes em ecossistemas de floresta nativa e plantios de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2002.
- Metcalf, D.B., Meir, P., Aragão, L.E.O.C., Costa, A.C.L., Braga, A.P., Gonçalves, P.H.L., Silva Junior, J.A., Aimeida, S.S., Dawson, L.A., Malhi, Y. Williams, M. 2008. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant Soil.* 311, 189–199.
- Moreno, G.S., Guerra, G.A.D. 2012. O drama da instalação de famílias agricultoras na mesorregião sudeste paraense. *Rev. NERA.* 21, 79-99.
- Noguchi, K., Dannoura, M., Jomura, M., Awazuhara-Noguchi, M., Matsuura, Y. 2012. High belowground biomass allocation in an upland black spruce (*Picea mariana*) stand in interior Alaska. *Polar Sci.* 6, 133-141. Doi: 10.1016/j.polar.2011.12.002
- Oszwald, J., Gond, V., Dolédec, S., Lavelle, P. 2011. Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères. *Bois For. Trop.* 307 (1), 7-21.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Román-Cuesta, R.M., Salinas, N., Asbjornsen, H., Oliveras, I., Huaman, V., Gutiérrez, Y., Puelles, L., Kala, J., Yabar, D., Rojas, M., Astete, R., Jordán, D.Y., Silman, M., Mosandl, R., Weber, M., Stimm, B., Günter, S., Knoke, T., Malhi, Y. 2011. Implications of fires on carbon budgets in Andean cloud montane forest: The importance of peat soils and tree resprouting. *For. Ecol. Manage.* 261 (11), 1987–1997. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.02.025
- Siegel, S., Castellan, N.C.Jr. 1988. Nonparametric statistics for behavioural sciences. New York, McGraw Hill Book Company, 399p.
- Sierra, C., Delvalle, J., Orrego, S., Moreno, F., Harmon, M., Zapata, M., Colorado, G., Herrera, M., Lara, W., Restrepo, D. 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *For. Ecol. Manage.* 243, 299-309.
- Silver, W.L., Thompson, A.W., Mcgroddy, M.E., Varner, R.K., Dias, J.D., Silva, H., Crill,

- P.M., Keller, M. 2005. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forests soils. *Glob. Chang. Biol.* 11, 290-306.
- Vasconcelos, M.C.C.A., Gonçalves Júnior, J.M., Silva, A.F.A., Lima, R.S. 2013. Características químicas de solos sob cultivo tradicional no município de Vargem Grande-MA. *Agropecuária Científica no Semiárido.* 9 (3), 26-29.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. 2002. *Modern Applied Statistics with S.* Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Yavitt, J.B., Wright, S.J. 2001. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. *Biotropica*, 33, 421-434.
- Zar, J.H. 2010. *Biostatistical analysis.* Fifth ed. New Jersey, Prentice Hall, 944p.

Tabela 2.1. Tipos de coberturas vegetais estudados em três áreas da região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil^a

Tipos de coberturas vegetais	Descrição	Número de parcelas amostrais			
		Palmares II	Maçaranduba	Travessão 338 Sul	Total
Floresta Conservada (FC)	Florestas com uma estrutura vertical bem definida e sem sinal de exploração	-	8	7	15
Floresta Explorada (FE)	Florestas com evidências de exploração com clareiras oriundas da extração de madeira	5	3	16	24
Floresta Queimada (FQ)	Florestas que apresentam em seu interior a passagem de fogo. ^b	10	-	-	10
Floresta Secundária Velha (SV)	Floresta secundária com o estrato superior bem definido e idade maior do que 10 anos	3	9	4	16
Floresta Secundária Jovem (SJ)	Floresta secundária sem o estrato superior bem definido e idade menor do que 10 anos	6	4	5	15
Pasto Invadido (PI)	Pastos com alta abundância de herbáceas e plantas jovens de espécies lenhosas. ^c	4	11	6	21
Pasto Limpo (PL)	Pastos com predominância de capim e baixa densidade de espécies lenhosas. ^c	7	9	1	17
Cultivo Anual (RO)	Áreas cultivadas com: arroz (<i>Oryza</i> sp.), milho (<i>Zea mays</i> L.), mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Cranz) ou feijão (<i>Vigna</i> sp.)	10	1	3	14
Cultivo Perene (CA)	Áreas cultivadas com cacão (<i>Theobroma cacao</i> L.) geralmente em consórcio com paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>).	-	-	3	3
Total de parcelas amostradas		45	45	45	135

^aTabela adaptada de Gonçalves (2014).

^bA ocorrência de floresta queimada está associada ao uso de fogo para a limpeza das áreas a serem cultivadas. Algumas vezes a queimada sai do controle e atinge as florestas adjacentes.

^c*Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf foi a espécie forrageira predominante no PA Palmares II e PAE Maçaranduba, enquanto que *Brachiaria decumbens* Stapf foi predominante no Travessão 338 Sul.

Tabela 2.2. Biomassa de raízes finas (g m^{-2}) em diferentes classes diamétricas (mm) por tipo de cobertura vegetal estudados em três áreas da região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil. (valores são: média \pm erro padrão e coeficiente de variação entre parênteses).

Tipos de coberturas vegetais	R1*	R2*	R3*	RM*	TOTAL*
Floresta conservada (n = 15)	248,2 \pm 7,3 (11,4)	103,8 \pm 7,3 (27,2)	137,3 \pm 20,9 (59,1)	27,1 \pm 4,3 (61,3)	516,3 \pm 25,8 (19,3) a
Floresta explorada (n = 24)	252,4 \pm 20,1 (39)	89,5 \pm 7,7 (42)	105,4 \pm 14,1 (65,7)	43 \pm 8,1 (91,9)	490,3 \pm 37,1 (37,1) ab
Floresta queimada (n = 10)	159,2 \pm 11,7 (23,3)	41,1 \pm 5,6 (43)	83,7 \pm 17 (64,3)	35,5 \pm 8 (71)	319,6 \pm 26,5 (26,2) abc
Floresta Secundária velha (n = 16)	253,6 \pm 22,5 (35,5)	67,8 \pm 8,4 (49,4)	113,3 \pm 23,6 (83,3)	30 \pm 6,8 (91,1)	464,7 \pm 49,9 (43) ab
Floresta Secundária jovem (n = 15)	215,4 \pm 22,6 (40,6)	52,8 \pm 7,7 (56,1)	53,9 \pm 11 (79,3)	24,8 \pm 6,2 (97,5)	346,9 \pm 34,6 (38,6) abc
Pasto invadido (n = 21)	284,6 \pm 35,8 (57,7)	32,1 \pm 4,4 (63,4)	44 \pm 7,6 (79,1)	14 \pm 2,9 (93,9)	374,6 \pm 38,5 (47) abc
Pasto limpo (n = 17)	261,6 \pm 32,8 (51,7)	28,7 \pm 6,2 (89,5)	11,5 \pm 5,7 (206)	13,7 \pm 3,1 (93,4)	315,5 \pm 35,7 (46,6) bc
Cultivo Anual (n = 14)	108,7 \pm 25,9 (89,1)	22,6 \pm 6,8 (112,8)	26,4 \pm 10,6 (149,8)	31,5 \pm 6,3 (74,8)	189,1 \pm 30,3 (60) c
Cultivo Perene (n = 3)	113,3 \pm 21,2 (32,3)	41,4 \pm 7,9 (33,1)	48,3 \pm 12,5 (44,9)	43,1 \pm 11,9 (47,8)	246,1 \pm 33 (23,2) abc

* Classes diamétricas das raízes finas: R1 = \leq 1mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (\leq 5 mm); Total = R1 + R2 + R3 + RM

Tabela 2.3. Percentual de contribuição das variáveis de raízes finas, solos e vegetação à variância dos eixos das análises de co-inércia e percentual de influência dos eixos sobre as variáveis.

Co-inércia		Contribuição da variável à		Influência do eixo sobre a	
		variância do eixo (%)		variável (%)	
Variáveis		Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Raízes finas* x Solo# (Coef. de correlação = 9%; p = 0,003)	R1*	1,00	43,62	7,56	92,44
	R2*	22,26	39,32	66,94	33,06
	R3*	67,17	15,02	94,12	5,88
	RM	9,57	2,04	94,38	5,62
	Argila	0,79	19,25	12,76	87,24
	Silte	2,59	0,20	97,89	2,11
	Areia	0,32	20,63	5,19	94,81
	pH	18,63	1,31	98,06	1,94
	Al⁺³	14,53	0,63	98,80	1,20
	Ca⁺²	18,24	3,71	94,62	5,38
	Mg⁺²	2,33	0,01	99,93	0,07
	K⁺	3,28	1,74	87,06	12,94
	P	0,90	3,67	46,69	53,31
	NH₄⁺	6,69	3,78	86,36	13,64
	C	0,01	11,17	0,42	99,58
	N	1,43	10,39	32,93	67,07
	Da	6,32	12,64	64,12	35,88
	Vi	23,96	10,86	88,76	11,24
Raízes finas* x Vegetação# (Coef. de correlação = 37%; p = 0,001)	R1	0,16	31,20	41,73	58,27
	R2	24,38	10,01	99,71	0,29
	R3	69,07	16,93	99,83	0,17
	RM	6,39	41,85	95,60	4,40
	Densidade do Inferior	1,30	2,34	98,75	1,25
	Densidade do Médio	35,20	30,82	99,39	0,61
	Densidade do Superior	23,18	33,64	98,99	1,01
	Rinueza do Inferior	1,60	0,45	99,80	0,20
	Riqueza do Médio	21,81	12,12	99,61	0,39
	Riqueza do Superior	16,91	20,63	99,15	0,85

* Classes diamétricas das raízes finas: R1 = ≤ 1mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm).

Um resumo da descrição e dos valores de média ± desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis de solo e vegetação é apresentado no Apêndice A.

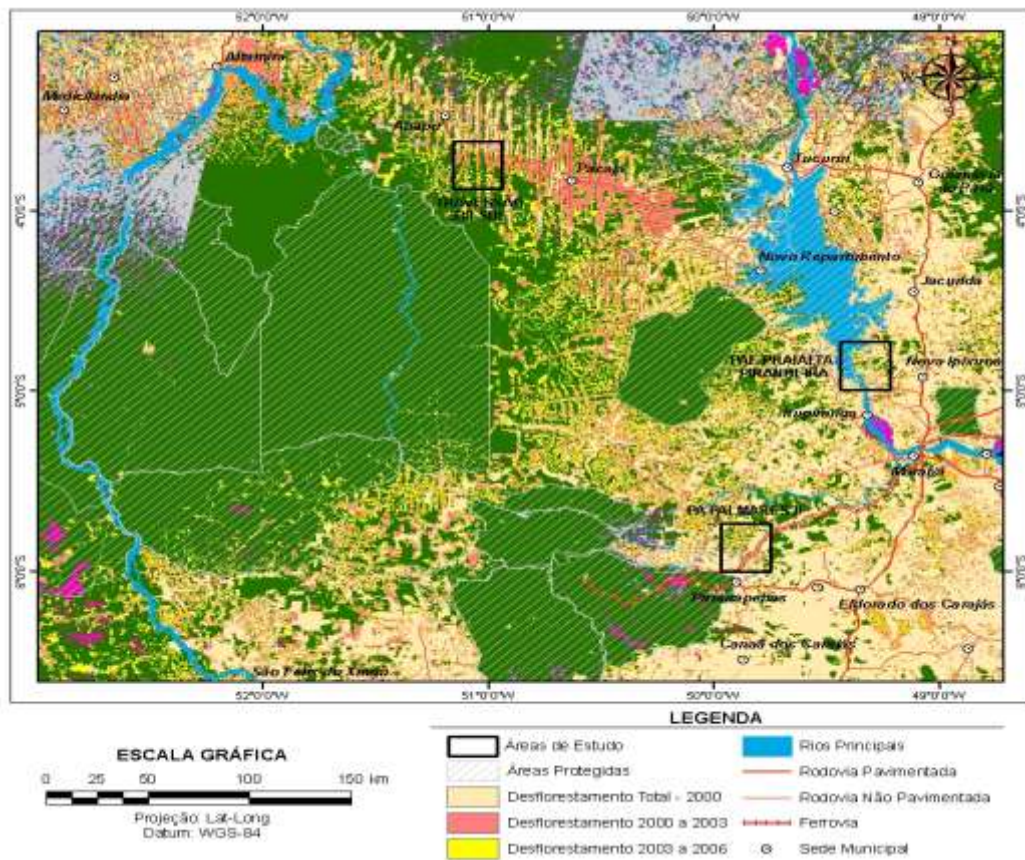


Figura 2.1. Localização das áreas de pesquisa no estado do Pará.

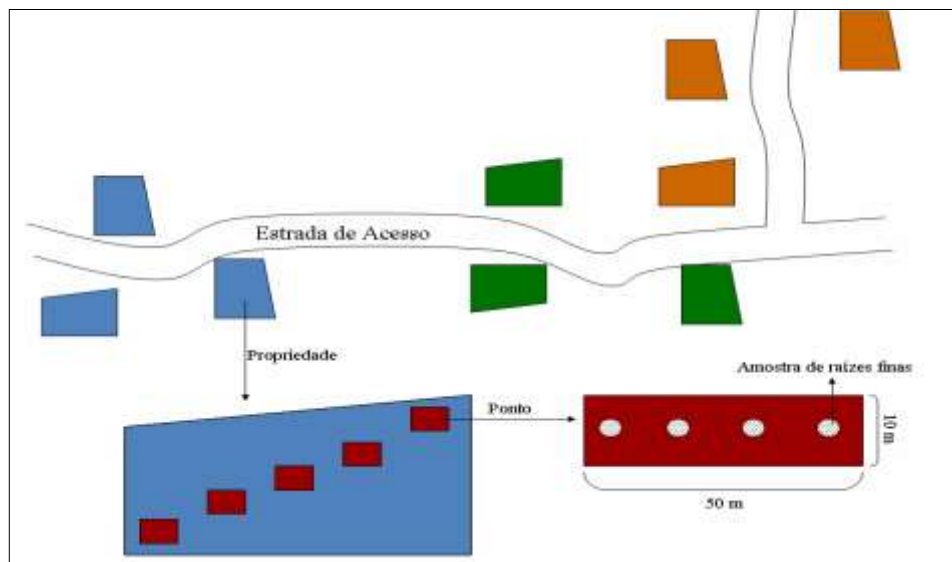


Figura 2.2. Desenho esquemático da localização de nove propriedades, em cada propriedade cinco parcelas amostrais e em cada parcela quatro pontos de coleta de solos para análises da biomassa de raízes finas.

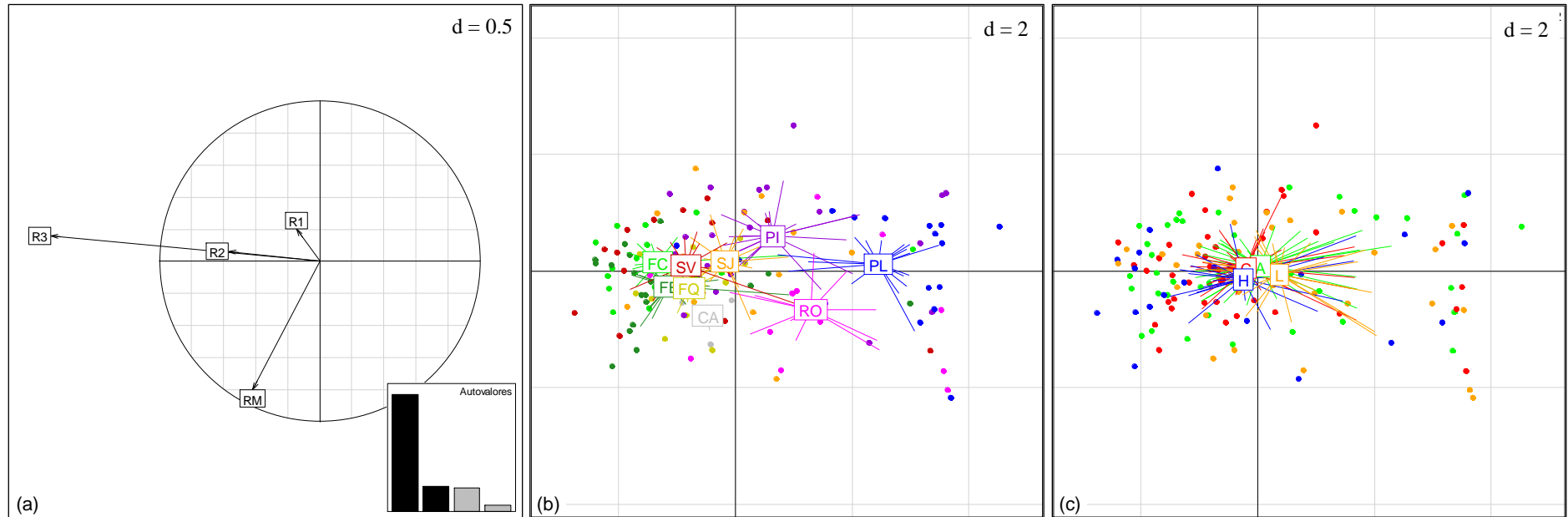


Figura 2.3. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de componente principal mostrando: (a) Círculo de correlação das variáveis de raízes finas; (b) Ordenação das 135 parcelas agrupadas por tipos de cobertura vegetal; (c) Ordenação das 135 parcelas agrupadas de acordo com a classificação do tipo de solo. FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual; A = Argissolo; C = Cambissolo; H = Solo hidromórfico; L = Latossolo.

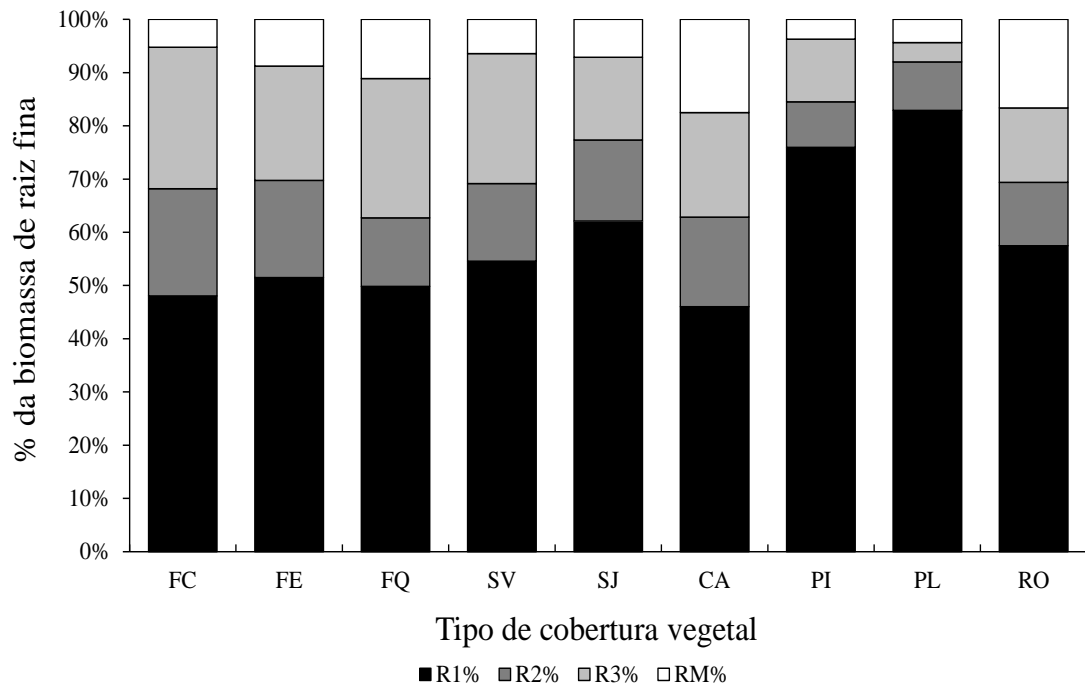


Figura 2.4. Proporção da biomassa de raízes finas entre as classes diamétricas nos diferentes tipos de cobertura vegetal em três áreas da região do arco do desmatamento, Pará, FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual.

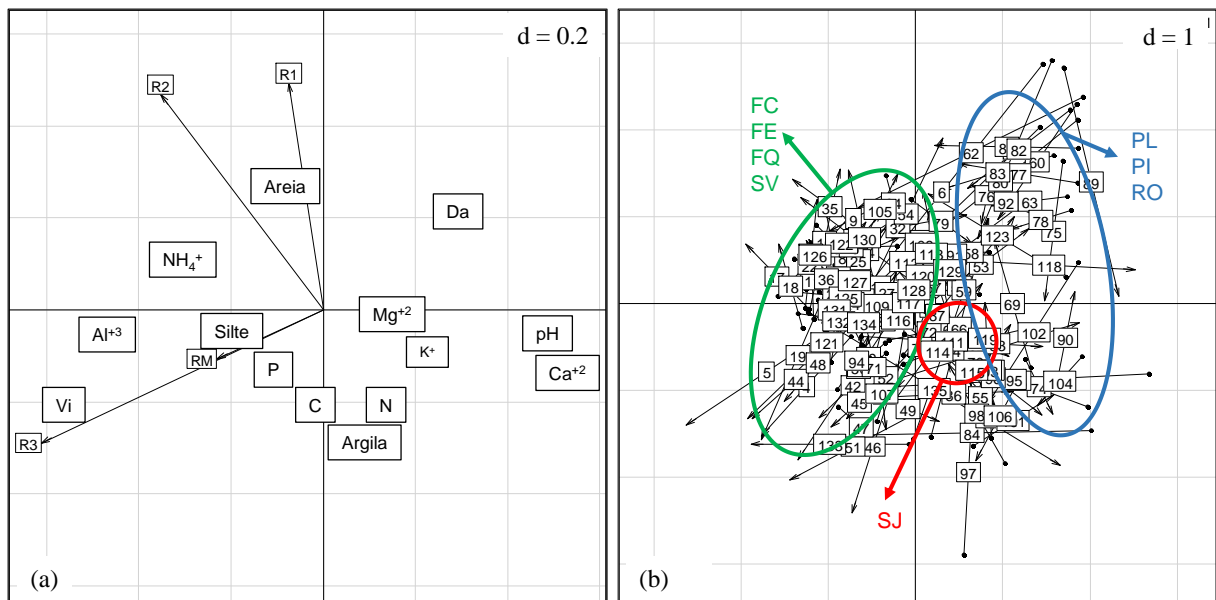


Figura 2.5. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inéncia entre a biomassa de raízes finas e características físicas e químicas do solo: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e de solo; (b) Ordenação das 135 parcelas amostrais e indicação dos grupos em relação ao eixo 1. FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual. Um resumo da descrição e dos valores de média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis de solo é apresentado no Apêndice A.

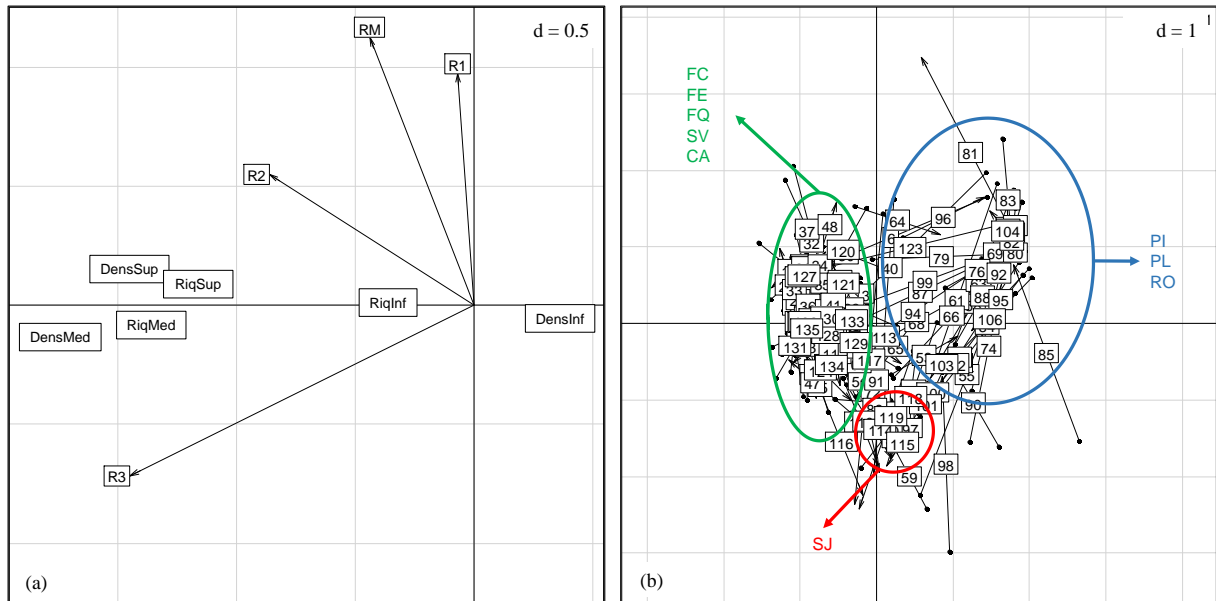


Figura 2.6. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e da estrutura da vegetação; (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e de vegetação; (b) Ordenação das 135 parcelas amostrais e a indicação dos grupos ao ao longo do eixo 1. FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual. Um resumo da descrição e dos valores de média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis de vegetação é apresentado no Apêndice A.

Apêndice A. Média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis utilizadas para estabelecer a relação com a biomassa e carbono das raízes finas em três assentamentos de agricultura familiar localizados na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil.

Variáveis	Descrição	CA	FC	FE	FQ	SV	PI	PL	RO	SJ	
Estrutura da vegetação	DensInf	Densidade do estrato inferior	190 \pm 67 (35,26)	150,93 \pm 62,05 (41,11)	126,33 \pm 57,67 (45,65)	113,31 \pm 62,14 (54,84)	103,2 \pm 74,62 (72,31)	189,05 \pm 135,62 (71,74)	194,24 \pm 155,27 (79,94)	285,43 \pm 165 (57,81)	242,07 \pm 264,6 (109,31)
	DensMed	Densidade do estrato médio	81,67 \pm 62,93 (77,06)	83,07 \pm 28,59 (34,42)	90,04 \pm 41,85 (46,48)	85,69 \pm 34,11 (39,81)	123 \pm 77,59 (63,08)	27,95 \pm 27,18 (97,24)	6,47 \pm 20,06 (309,96)	30,68 \pm 42,86 (139,71)	135,8 \pm 97,96 (72,13)
	DensSup	Densidade do estrato superior	8 \pm 6,24 (78,06)	22,4 \pm 5,85 (26,13)	20,25 \pm 13,07 (64,52)	17,88 \pm 9,06 (50,7)	9,3 \pm 7,38 (79,35)	0,57 \pm 1,25 (218,37)	1,94 \pm 8 (412,31)	0,21 \pm 0,58 (270,17)	0,67 \pm 1,45 (217,12)
	RiqInf	Riqueza do estrato inferior	31 \pm 7 (22,58)	33,87 \pm 8,08 (23,85)	36,75 \pm 11,51 (31,31)	29,06 \pm 8,63 (29,69)	37,4 \pm 15,39 (41,14)	19,38 \pm 11,66 (60,14)	16,53 \pm 7,61 (46,03)	27,93 \pm 7,69 (27,54)	27,8 \pm 8,43 (30,32)
	RiqMed	Riqueza do estrato médio	16,33 \pm 16,44 (100,66)	31,13 \pm 10,98 (35,27)	27,79 \pm 13,31 (47,89)	25,56 \pm 8,3 (32,48)	30,8 \pm 16,27 (52,82)	6,52 \pm 5,64 (86,52)	0,94 \pm 2,73 (289,69)	4,61 \pm 5,06 (109,87)	17,6 \pm 9,36 (53,16)
	RiqSup	Riqueza do estrato superior	4,33 \pm 1,15 (26,65)	14,87 \pm 3,04 (20,48)	6,9 \pm 11,96 \pm 5,3 (44,28)	8,69 \pm 3,38 (38,91)	6,9 \pm 3,73 (53,99)	0,43 \pm 0,98 (228,28)	1,24 \pm 5,09 (412,31)	0,14 \pm 0,36 (254,2)	0,67 \pm 1,45 (217,12)
Física e química dos solos	Argila	Teor de argila	15,03 \pm 3,06 (20,37)	17,99 \pm 11,31 (62,87)	20,89 \pm 13,43 (64,31)	20,61 \pm 14,09 (68,34)	55,93 \pm 10,09 (18,04)	22,82 \pm 14,63 (64,1)	27,59 \pm 21,05 (76,28)	26,06 \pm 13,21 (50,71)	23,49 \pm 12,96 (55,19)
	Silte	Teor de silte	20,63 \pm 8,94 (43,31)	14,21 \pm 9,05 (63,74)	7,91 \pm 18,1 \pm 9,14 (50,51)	16,33 \pm 12,07 (73,92)	1,8 36,19 \pm (22,72)	14,44 \pm 7,47 (51,74)	13,5 \pm 7,59 (56,23)	14,57 \pm 6,91 (47,44)	17,34 \pm 14,3 (82,48)
	Areia	Teor de areia total	64,4 \pm 9,59 (14,89)	67,82 \pm 15,15 (22,33)	61,03 \pm 15,42 (25,27)	63,06 \pm 19,26 (30,55)	10,11 (27,93)	62,75 \pm 15,7 (25,01)	58,94 \pm 20,39 (34,59)	59,39 \pm 10,71 (18,03)	59,18 \pm 21,5 (36,32)
	pH _{KCl}	pH _{KCl}	6,62 \pm 1,31 (19,78)	4,7 \pm 0,46 (9,88)	5,09 \pm 0,74 (14,6)	5,13 \pm 0,63 (12,3)	4,47 \pm 0,36 (8)	5,88 \pm 0,65 (11,14)	5,63 \pm 0,78 (13,81)	6,56 \pm 1,17 (17,89)	6 \pm 0,73 (12,11)
	Al ³⁺	Al ³⁺ (cmolc Kg ⁻¹)	0,05 \pm 0,05 (96,63)	0,84 \pm 0,82 (97,47)	1,21 \pm 0,62 \pm 0,67 (107,22)	0,72 \pm 0,78 (109,12)	0,74 (61,16)	0,14 \pm 0,23 (161,2)	0,23 \pm 0,41 (176,32)	0,08 \pm 0,14 (182,25)	0,12 \pm 0,18 (144,9)

Variáveis	Descrição	CA	FC	FE	FQ	SV	PI	PL	RO	SJ
Ca ⁺²	Ca ⁺² (cmolc Kg ⁻¹)	3,85 ± 2,4 (62,42)	0,73 ± 0,97 (133,95)	1,51 ± 2,08 (137,08)	1,09 ± 0,88 (80,95)	1,05 ± 0,57 (54,17)	2,27 ± 1,23 (54,49)	2,34 ± 1,92 (81,81)	3,98 ± 2,02 (50,59)	3,44 ± 1,99 (57,79)
Mg ⁺²	Mg ⁺² (cmolc Kg ⁻¹)	0,59 ± 0,35 (58,44)	0,49 ± 0,36 (73,14)	0,74 ± 0,66 (89,91)	0,74 ± 0,61 (81,86)	0,61 ± 0,22 (36,04)	0,8 ± 0,41 (51,37)	0,85 ± 0,61 (71,81)	0,83 ± 0,37 (44,24)	1,1 ± 0,57 (51,87)
K ⁺	K ⁺ (cmolc Kg ⁻¹)	0,12 ± 0,04 (32,45)	0,12 ± 0,04 (29,63)	0,17 ± 0,11 (65,84)	0,21 ± 0,27 (129,91)	0,17 ± 0,06 (36,39)	0,16 ± 0,07 (47,67)	0,25 ± 0,15 (60,32)	0,24 ± 0,12 (50,16)	0,2 ± 0,08 (41,89)
P	P disponível (mg Kg ⁻¹)	45,5 ± 57,62 (126,63)	5,26 ± 1,25 (23,75)	8,25 ± 7,31 (88,62)	6,28 ± 2,25 (35,89)	6,38 ± 3,27 (51,31)	6,38 ± 4,4 (68,98)	5,94 ± 3,47 (58,43)	11,39 ± 9,53 (83,64)	7,53 ± 5,8 (77,09)
NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺ (mg Kg ⁻¹)	32,13 ± 21,56 (67,11)	24,21 ± 10,2 (42,13)	20,95 (73,12)	21,75 ± 10,73 (49,36)	28,65 ± 17,25 ± 1,9 (11,03)	24,28 ± 16,18 (66,65)	19,66 ± 8,8 (44,78)	22,11 ± 12,76 (57,7)	24,45 ± 17,65 (72,2)
C _{total}	Carbono total na camada de 0-30 cm de profundidade (g Kg ⁻¹)	8,83 ± 1,97 (22,25)	10,44 ± 3,51 (33,65)	10,58 ± 2,89 (27,34)	11,44 ± 3,9 (34,07)	14,87 ± 3,29 (22,16)	9,89 ± 2,54 (25,71)	10,91 ± 3,4 (31,18)	10,83 ± 2,8 (25,84)	10,37 ± 2,6 (25,02)
N _{total}	Nitrogênio total na camada de 0-30 cm de profundidade (g Kg ⁻¹)	0,56 ± 0,25 (44,81)	0,94 ± 0,32 (33,81)	0,92 ± 0,34 (37,32)	0,99 ± 0,41 (41,04)	1,43 ± 0,32 (22,74)	0,81 ± 0,34 (42,38)	1,01 ± 0,31 (30,46)	1,11 ± 0,27 (24,63)	0,93 ± 0,34 (36,28)
Da	Densidade aparente do solo	1,47 ± 0,08 (5,09)	1,36 ± 0,11 (7,96)	1,39 ± 0,09 (6,58)	1,35 ± 0,11 (8,44)	1,21 ± 0,08 (6,75)	1,43 ± 0,1 (7,2)	1,44 ± 0,13 (9,18)	1,37 ± 0,11 (8,27)	1,39 ± 0,11 (7,71)
Vi	Taxa de infiltração da água no solo (mm h ⁻¹)	2377,33 ± 3191,88 (134,26)	2815,2 ± 2023,24 (71,87)	1839,88 ± 1852,95 (100,71)	1560,81 ± 1450,59 (92,94)	3433,9 ± 2115,57 (61,61)	783,76 ± 963,65 (122,95)	401,29 ± 352,83 (87,92)	2192,21 ± 1939,87 (88,49)	1932 ± 2002,49 (103,65)

FC = Floresta conservada; FE = Floresta explorada; FQ = Floresta queimada; SV = Floresta Secundária velha; SJ = Floresta Secundária jovem; CA = Cultivo Perene; PI = Pasto invadido; PL = Pasto limpo; RO = Cultivo Anual,

3. PADRÕES DE BIOMASSA E CARBONO DE RAÍZES FINAS EM ÁREAS AGRÍCOLAS DA REGIÃO DO ARCO DO DESMATAMENTO, AMAZÔNIA BRASILEIRA²

RESUMO

Este trabalho avaliou os padrões de biomassa e estoque de carbono das raízes finas de três áreas de pequenos agricultores familiares, buscando identificar os fatores mais importantes para as raízes finas na escala das áreas. As três áreas estudadas estão localizadas na região do arco do desmatamento da Amazônia no estado do Pará, onde foram selecionadas nove propriedades em cada área e avaliados a biomassa (R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2 mm; R3 = 2-5 mm; RM = raiz morta ≤ 5 mm) e carbono da biomassa total (R1 + R2 + R3 +RM) de raízes finas. Foi realizado um levantamento socioeconômico das 27 propriedades, as quais também foram caracterizadas quanto a paisagem, estrutura da vegetação e propriedades físicas e químicas dos solos. A biomassa total variou de 2,69 Mg ha⁻¹ a 4,73 Mg ha⁻¹ e o carbono variou de 1,01 Mg ha⁻¹ a 2,06 Mg ha⁻¹. Em todas as áreas a maior proporção de biomassa ocorreu na classe R1 que representou de 54% a 67% da biomassa total. O contexto socioeconômico influenciou o carbono das raízes e a distribuição da biomassa entre as classes diamétricas, o que esteve muito associado as atividades de produção dominantes nas áreas. Na escala das áreas os fatores que influenciam a biomassa e o estoque de carbono nas raízes finas ocupam posições diferentes daquelas vistas em escalas menores. Em ordem de importância as variáveis socioeconômicas foram as mais determinantes para as raízes finas, seguidas das variáveis do solo, da vegetação e por fim das variáveis da paisagem.

Palavras-chave: Fragmentação; Interações abaixo do solo; Paisagem; Socioeconomia; Vegetação

² Este capítulo será enviado para a revista Agriculture, Ecosystems & Environment e segue as normas de formatação da mesma.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the patterns of biomass and carbon storage of fine roots of three different areas of small family farmers, intending to identify the most important factors to fine roots in a landscape scale. The three studied areas are located in the arc of deforestation region in the Brazilian Amazon, in Pará state where nine properties were chosen in each area, evaluated the biomass (R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2 mm; R3 = 2-5 mm; RM = dead root ≤ 5 mm) and total carbon biomass (R1 + R2 + R3 +RM) of fine roots. A socioeconomic survey was conducted in the 27 properties; they were also characterized in relation to the landscape, structure of vegetation and physical and chemical properties of the soil. Total biomass varied from 2.69 Mg ha⁻¹ to 4.73 Mg ha⁻¹ and carbon varied from 1.01 Mg ha⁻¹ to 2.06 Mg ha⁻¹. In all properties the highest proportion of biomass occurred in the R1 class that represented 54% to 67% of total biomass. The socioeconomic context influenced the roots' carbon and the distribution of biomass among diameter classes that were associated to the dominant production activities in the areas. In the landscape scale, the factors that influenced the biomass and carbon storage of fine roots occupied different positions from those seen in lower scales. In order of importance, the socioeconomic variables were determinant to fine roots, followed by soil variables, vegetation, and finally, landscape variables.

Key words: fragmentation; interaction belowground; landscape; socioeconomy; vegetation

3.1. Introdução

Estudos sobre raízes finas tem ganhado projeção no cenário científico dada a sua importância na produtividade dos ecossistemas terrestres (Jackson et al., 1997) e contribuição para a ciclagem de nutrientes (Goebel et al., 2011; Silver et al., 2005). As quantidades de biomassa e carbono das raízes finas são consequências diretas dos tipos de vegetação e solos (Finér et al., 2011; Lima et al., 2012; Brassard et al., 2013), e os seus comportamentos podem variar mesmo sobre um ambiente homogêneo (Silveira et al., 2000). Grandes áreas florestais já foram alvo de estudos para estimar a biomassa e o estoque de carbono das raízes finas (Cairns et al., 1997; Finér et al., 2011), mas não se tem estudado sobre como essas variáveis respondem as modificações de cobertura e uso da terra na escala da paisagem.

Estudos ecológicos na escala da paisagem têm sido estimulados, uma vez que as causas e consequências das modificações de cobertura e uso da terra podem mostrar padrões e processos não encontrados ou não importantes na escala local (Brondizio e Moran, 2012; Arroyo-Rodríguez et al., 2015). A paisagem dos projetos de assentamentos na Amazônia brasileira é formada por um mosaico de coberturas da terra, que vão desde fragmentos de floresta primária em diferentes graus de conservação até roças, pastos degradados ou não degradado a florestas secundárias de diversas idades. A mudança de uso da terra é muito comum nesses assentamentos e depende das características socioeconômicas dos proprietários, do tipo e infraestrutura do assentamento, do tempo de ocupação da área e contexto local (Brandão Jr., 2013; Brondizio e Moran 2012; Calandino et al., 2012; Godar et al., 2012).

As consequências da mudança de uso e cobertura da terra tem sido estudada, seja sobre a diversidade de espécies vegetais (Coelho et al., 2012, 2013; Do Vale et al., 2015), biomassa vegetal (Costa et al., 2012; Le Clec'h et al., 2013; Berenguer et al., 2014), diversidade de pássaros (Moura et al., 2013), solo (Grimaldi et al., 2014), macroinvertebrados do solo (Marichal et al., 2014). Mas ainda são poucas as pesquisas que aliam os aspectos socioeconômicos com as mudanças ambientais (Oszwald et al. 2011; Calandino et al., 2012), embora haja uma necessidade de trazer as abordagens sociais e ecológicas em conjunto, de modo que a mudança no uso da terra e suas consequências possam ser investigadas de uma forma mais holística (Dirzo e Loreau, 2005; Mattison e Norris, 2005; Millennium Ecosystem Assesment, 2006).

O processo de colonização da Amazônia brasileira é marcado pela criação de áreas de assentamentos oriundos da reforma agrária (Brandão Jr., 2013); que no estado do Pará tem

contribuído com 22% do desmatamento (Fonseca et al., 2014) e estão concentrados em uma região conhecida como o arco do desmatamento. Dentro desta região, este trabalho avaliou os padrões de biomassa e estoque de carbono das raízes finas de três áreas agrícolas, buscando identificar quais fatores são mais importantes para as raízes finas na escala da paisagem: os fatores que refletem as métricas das paisagens, dos solos, da vegetação ou aqueles ligados à situação socioeconômica das áreas?

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Área de estudo

Este estudo foi conduzido em três áreas de agricultura familiar localizadas na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil. As áreas são caracterizadas pela expansão da agricultura, pecuária e desmatamento e sua expansão reflete o histórico da dinâmica de uso da terra (Oszwald et al., 2011). As três áreas representam diferentes modalidades de ocupação: Projeto de Assentamento Federal Palmares II, Projeto Agroextrativista Praia Alta Piranhira (localidade Maçaranduba) e uma área de colonização agrícola não oficializada pelo INCRA (Travessão 338-S). Descrições mais detalhadas das áreas de estudo e alguns dos seus padrões biológicos estão disponíveis em Oszwald et al. (2010; 2011; 2012), Costa et al. (2012), Le Clec'h et al. (2013) Grimaldi et al. (2014), Marichal et al. (2014) e Do Vale et al. (2015).

Palmares II está localizado no sudeste paraense, distante a 20 km da cidade de Parauapebas, foi instituído em 2001, a partir da desapropriação de uma fazenda em 1995 (INCRA 2014; Moreno e Guerra, 2012). É caracterizado por uma dinâmica de uso da terra acentuada e paisagem fortemente fragmentada com manchas de tamanhos pequenos e médios, todas as propriedades têm acesso às estradas e as residências são localizadas em uma vila, próxima aos locais de cultivo (Oszwald et al., 2011). A paisagem de Palmares II é a única, dentre as estudadas, em que foi registrada a ocorrência de florestas queimadas e não foi registrada a ocorrência de florestas conservadas (Tabela 3.1), apesar de ainda ter o componente florestal como um componente marcante na formação da paisagem (Oszwald et al., 2011). Os cultivos agrícolas têm maior importância nesta paisagem do que nas demais.

Maçaranduba é o assentamento mais antigo. Está localizado no município de Nova Ipixuna, foi criado em 1997, porém a sua ocupação data de meados de 1970, incentivada pelo Plano de Integração Nacional. A paisagem é caracterizada pela presença marcante de pastos e florestas secundárias em diferentes estágios de desenvolvimento, apresentando uma paisagem

menos heterogênea do que Palmares II. Os fragmentos de florestas nativas se concentram às margens dos rios e/ou distante da sede das propriedades (Oszwald et al., 2011).

A terceira área de estudo é uma área de colonização agrícola localizada no Travessão 338-Sul da Rodovia Transamazônica, no município de Pacajá, no sudoeste paraense. Esta área é a mais recente a sofrer a ação antrópica e sua paisagem ainda concentra extensas áreas de florestas conservadas, apresentando uma paisagem mais homogênea do que as demais (Oszwald et al., 2011). É a única área, dentre as estudadas, a apresentar agricultura perene (*Theobroma cacao* L. consorciado com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke).

3.2.2. Desenho amostral

Em cada área foram selecionadas nove propriedades rurais identificadas por levantamentos socioeconômicos e sensoriamento remoto; essas propriedades são representativas da diversidade de produtores, dinâmica de cobertura da terra e tamanho da propriedade nas áreas (De Sartre et al., 2011). Em cada uma das 27 propriedades foram estabelecidas cinco parcelas amostrais (10 m x 50 m) distribuídas regularmente ao longo da maior diagonal da propriedade, totalizando 135 parcelas classificadas em diferentes tipos de cobertura vegetal (Tabela 1). A distribuição das parcelas em cada propriedade amostrou as coberturas vegetais dominantes na propriedade. A escolha de usar várias parcelas pequenas foi para amostrar uma maior variabilidade espacial das áreas de estudo e também para reduzir as incertezas na estimativa da biomassa inventariada para o cálculo de carbono, conforme recomendado por Sierra et al. (2007), Kauffman et al. (2009) e Breugel et al. (2011).

3.2.3. Biomassa e carbono de raízes

Em cada parcela foram coletadas quatro amostras de solo a uma profundidade de 0-30 cm, totalizando 540 amostras (45 parcelas x 4 amostras x 3 áreas). As amostras foram coletadas com um cilindro de aço inoxidável com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. A coleta de raízes ocorreu no final do período chuvoso, entre maio e julho de 2008.

Todas as amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e congeladas (-2° C) até a triagem manual das raízes. Para a separação das raízes finas do solo, cada amostra foi colocada em sacos de tecido, com malha de 0,005 mm de abertura e lavada em água corrente

para retirar o excesso de solo. Em seguida o material restante foi colocado em uma bandeja com água para a triagem manual das raízes finas com o auxílio de uma pinça.

Foram consideradas raízes finas aquelas com diâmetro menor ou igual a 5 mm e classificadas em vivas ($R1 \leq 1$ mm; $R2 > 1$ mm e ≤ 2 mm; $R3 > 2$ e ≤ 5 mm de diâmetro) e mortas ($RM \leq 5$ mm de diâmetro). As raízes de coloração escura, com pouca flexibilidade, geralmente quebradiças, foram classificadas como mortas (Makkonen e Helmisaari 1999; Yavitt e Wright 2001). Após a triagem as amostras foram acondicionadas em envelopes de papel, previamente secas ao ar livre, e em seguida secas em estufa com circulação forçada de ar a 75°C por um período de 24 h a 48 h. Os valores de biomassa expressos em Mg ha^{-1} foram obtidos a partir da razão da massa de raízes pela área da base do cilindro.

Para determinar a quantidade de carbono na biomassa de raízes as quatro amostras de uma parcela foram unidas, tendo uma amostra composta por parcela, totalizando 135 amostras, ou seja 45 por localidade. Essa medida foi necessária para obter a quantidade mínima de material (150 mg) necessário para a análise de carbono. As amostras compostas foram moídas em um pulverizador de alta rotação. De cada amostra composta moída foi retirada uma porção de aproximadamente 150 mg e submetidas às análises do conteúdo de carbono (Mg.ha^{-1}) por combustão total no analisador elementar Leco CHN-S Truspec.

3.2.4. Composição e estrutura da paisagem

A análise e a classificação das paisagens das áreas foi apresentada em detalhes por Oszwald et al. (2011), que trabalhou com imagens Landsat TM obtidas durante a estação seca dos anos de 1990, 1994, 1998, 2002 e 2007 e fez uma validação no campo durante as estações secas de 2007 e 2008.

Para avaliar a resposta das raízes finas à composição e estrutura das paisagens das três áreas de estudo foram considerados quatro indicadores propostos por Oszwald et al (2011): indicador da estrutura da paisagem em 2007 (EST), indicador da ocupação da paisagem em 2007 (OCU); indicador da dinâmica da estrutura da paisagem no período de 1990 a 2007 (DE), e indicador da dinâmica da ocupação da paisagem no período de 1990 a 2007 (DO). Nove métricas foram utilizadas para gerar os indicadores de estrutura (EST e DE): área total em hectares, densidade da borda (m ha^{-1}), densidade média dos elementos da paisagem (m ha^{-1}), riqueza de componentes da paisagem, índice de diversidade de Shannon, índice de equabilidade de Shannon, índice de dominância, razão do perímetro pela área do componente, índice de irregularidade. O indicador de ocupação da paisagem (OCU) considerou oito tipos

de componentes da paisagem: Floresta, Floresta primária queimada, Florestas secundária jovens e velhas, Pasto limpo, Pasto invadido, Solo exposto e Água. O indicador da dinâmica de ocupação da paisagem (DO) considerou a trajetória de mudança das oito tipologias no período de 1990 a 2007. Os indicadores propostos por Oszwald et al. (2011) refletem o grau de artificialização da composição e estrutura das paisagens em cada uma das 27 propriedades estudadas.

3.2.5. Estrutura da vegetação

O inventário da vegetação foi realizado nas 135 parcelas, sendo considerados três estratos: estrato superior (Sup), estrato médio (Med) e estrato inferior (Inf). Para o estrato superior foi considerada a parcela de 10 m x 50 m e inventariados todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm. Dentro dessa parcela foi alocada uma sub-parcela de 5 m x 50 m para o levantamento do estrato médio no qual foram considerados todos os indivíduos com DAP < 10 cm e altura $> 2,0$ m. Para o estrato inferior foram distribuídas regularmente 10 sub-parcelas de 1 m x 1 m no centro da parcela de 10 m x 50 m, onde foram inventariados os indivíduos com $10 \text{ cm} \leq \text{altura} \leq 2,0 \text{ m}$.

Amostras de todas as espécies foram coletadas e identificadas por meio de comparação junto ao Herbário do Museu Paraense Emilio Goeldi. A coleta dos dados para a estrutura da vegetação também ocorreu entre abril e julho de 2008. A riqueza de espécies por estrato (RiqInf, RiqMed, RiqSup) e a densidade de indivíduos, também por estrato (DensInf, DensMed, DensSup), foram as variáveis utilizadas nas análises. A metodologia para obtenção das variáveis da vegetação foi detalhada por Costa et al. (2012) que analisou a biomassa acima do solo nos mesmos pontos amostrais que o presente estudo.

3.2.6. Características químicas e físicas dos solos

Para a caracterização química e física do solo foram coletadas em cada parcela duas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm para formar uma amostra composta, totalizando 135 amostras (45 parcelas x 1 amostra composta x 3 áreas). Os solos encontrados nas áreas foram classificados como argissolo, latossolo, cambissolo e solo hidromórfico. Quinze variáveis dos solos foram consideradas: teores de areia total, argila e silte, taxa de infiltração da água no solo (V_i), determinada pelo teste de infiltração de Beerkan (Labassatère et al. 2006), densidade aparente do solo (D_a), determinada pelo método do cilindro com 7 cm de

diâmetro, pH_{KCl} (em KCl 1M; solo: solução 1:2.5), Al^{+3} trocável (extraídos com 0,5 M solução de $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$, P disponível (método de extração Mehlich “ácido duplo”), NH_4^+ (de acordo com Pansu e Gautheyrou, 2006) e cátions básicos: Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ (extraídos com solução de 1 M KCl). O carbono total (C_{total}) e nitrogênio total (N_{total}) da camada 0-30cm foram calculados à partir dos teores de C_{total} e N_{total} das camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm determinados usando um analisador elementar CHNS.

Um estudo mais detalhado sobre os solos das áreas do presente trabalho é apresentado em Grimaldi et al., (2014), que separaram as variáveis do solo em variáveis que apresentam pouca sensibilidade ao uso da terra (textura do solo) e variáveis sensíveis ao uso da terra (estrutura e propriedades hídricas e químicas do solo).

3.2.7. Variáveis Socioeconômicas

Em cada uma das 27 propriedades selecionadas foi aplicado questionário sócio demográfico em entrevistas semiestruturadas (Projeto AMAZ, dados não publicados). As seguintes variáveis foram utilizadas neste trabalho para compor a matriz socioeconômica: tamanho da área da propriedade em hectares (HA), total das receitas brutas referentes as aberturas na propriedade (PBTABER), tempo de presença na propriedade em anos (DAT), escolaridade do proprietário, obtido a partir da quantidade de anos estudados (ESC), porcentagem do produto bovino por propriedade (PBB), porcentagem do produto obtido dos cultivos anuais (PBAN), porcentagem do produto obtido dos cultivos perenes (PBPER), mão de obra familiar disponível em número de pessoas (UTE) e o crédito total acessado pelo proprietário (CTT).

3.2.8. Análise estatística

Para as análises foram calculadas as médias e desvio padrão da biomassa e carbono por propriedade, totalizando 27 amostras, nove em cada uma das três áreas. Para descrever a biomassa e estoque de carbono de raízes finas nas áreas de estudo foi realizado teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade, seguido de teste de comparação múltipla (Siegel e Castellan, 1988, Zar, 2010); também foi realizada uma análise de componente principal (ACP) com a matriz de raízes (cinco variáveis: R1, R2, R3, RM e C) das três áreas. A intensidade da correlação entre a biomassa de raízes das diferentes classes com a quantidade de carbono foi verificada com a análise de correlação de Spearman (r).

Foram realizadas quatro análises de Co-Inércia para relacionar a matriz de raízes com: i) a matriz de paisagem (quatro variáveis: OCU, DO, EST, DE); ii) a matriz socioeconômica (nove variáveis: HA, PBTABER, DAT, ESC, PBB, PBAN, PBPER, UTE, CTT); iii) a matriz de vegetação (seis variáveis: RiqInf, RiqMed, RiqSup, DensInf, DensMed, DensSup); iv) a matriz de solos (com 15 variáveis: Areia total, argila, silte, Vi, Da, pH, H⁺, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P, NH₄⁺, C_{total} e N_{total}) (**Apêndice 3.1**). A análise de co-inércia permite unir dois conjuntos de variáveis diferentes e verificar as relações entre essas variáveis, organizando as amostras em um plano fatorial de acordo com a co-variância das variáveis das duas matrizes (Dolédec e Chessel, 1994). A análise da correlação de Spearman também foi aplicada entre a matriz de raiz e as demais matrizes para verificar a significância e a porcentagem de correlação entre as variáveis. A significância dos grupos apresentados na ACP e Co-Inércia foi determinada com o teste de permutação de Monte-Carlo a 5%. Uma análise de co-inércia múltipla (MCOA) foi realizada usando as cinco matrizes para determinar qual matriz tem maior influência sobre as variáveis de raízes finas. As análises estatísticas foram realizadas no software R 2.12.0 (R Core Team, 2013) com suporte dos pacotes ADE-4, MASS (Venables e Ripley, 2002) e pgirmess (Giraudoux, 2013).

3.3. Resultados

3.3.1. Biomassa e Carbono de raízes finas

O Travessão 338-S e Maçaranduba se destacaram como as áreas com maiores médias de biomassa total de raízes finas ($U = 17,5$; $p < 0,001$), resultado semelhante foi encontrado na classe R1 ($U = 12,6$; $p < 0,005$). Em todas as classes de raízes vivas não foram observadas diferenças entre as médias de Maçaranduba e Travessão 338-S (Tabela 3.2). O estoque de carbono encontrado na biomassa total de raízes finas foi menor em Palmares II ($U = 18,5$; $p < 0,0001$), onde também foi observada a maior variação (Tabela 3.2).

Houve grande variação na biomassa e carbono das raízes finas nas três áreas e essa variação aumentou de R1 para R3 e RM (Tabela 3.2). O menor coeficiente de variação da biomassa total ocorreu no Travessão 338-S ($CV = 11,46\%$ na biomassa total de raízes).

Houve correlação positiva e significativa entre a quantidade de carbono e a biomassa de raízes vivas nas diferentes classes diamétricas (r : R1 = 0,61; R2 = 0,71; R3 = 0,60, $p < 0,001$), porém não foi observada correlação entre o carbono e a biomassa de raízes mortas ($r = 0,36$; $p = 0,07$).

As áreas estudadas explicaram cerca de 53% da variabilidade total da biomassa e da quantidade de carbono das raízes finas (Teste de Monte Carlo 52,8%; $p = 0,001$). Os dois primeiros eixos da ACP da matriz de raiz acumularam 90,8% da variância total dos dados, onde o primeiro eixo explicou 65,22% da variância e o segundo eixo explicou 25,5% (Figura 3.1a e 3.1b).

A quantidade de carbono nas raízes finas foi a variável que mais contribuiu para a formação do primeiro eixo (36,9%), o qual também reflete a quantidade de biomassa total, uma vez que todas as variáveis de raízes se projetaram para o mesmo lado do eixo 1 (Figura 3.1a). Portanto, o primeiro eixo representa um gradiente de quantidade de carbono e biomassa total, onde temos Travessão 338-S e Maçaranduba com maiores valores e o Palmares II com menor quantidade de carbono e biomassa de raiz fina (Figura 3.1b).

A biomassa da classe R1 contribuiu de forma semelhante para os dois primeiros eixos (eixo 1 = 32,8%; eixo 2 = 34,7%). A variável R3 foi a que mais contribuiu para a formação do eixo 2 (R3 = 51,7%), separando Maçaranduba das demais áreas, por apresentar menor biomassa de R3 (Figura 3.1a e 3.1b).

3.3.2. Relação entre raízes finas e a paisagem

A co-inércia entre as variáveis de raízes e as da paisagem mostrou que as duas matrizes apresentaram uma estrutura comum na qual 19,6% da variância das raízes e do estoque de carbono pode ser explicada pela paisagem (teste de Monte Carlo, $p = 0,038$). O primeiro eixo correspondeu a 70,6% da variância dos dados e recebeu maior contribuição para a sua formação da biomassa da classe R3 (50,3%), dinâmica da estrutura da paisagem (DE, 38,6%) e biomassa de raízes mortas (RM, 28,1%) (Figura 3.2a). A relação entre as variáveis no eixo 1 opôs o Travessão 338-S, que apresenta uma matriz florestal, das demais paisagens, que apresentam uma matriz agrícola (Figura 3.2b).

O segundo eixo da co-inércia correspondeu a 29% da variância das raízes e do estoque de carbono, separando bem as três áreas estudadas. O gradiente formado no eixo 2 da co-inércia entre raízes e paisagem mostrou o mesmo gradiente do eixo 1 da ACP da matriz de raiz (Figura 3.1 e 3.2), evidenciando a importância das variáveis de raízes para a ordenação das paisagens. R1 e C foram as variáveis de raízes que mais contribuíram para a formação do eixo 2 (R1 = 51%, C = 36,7%).

A ordenação das áreas no eixo 2 da co-inércia também evidencia a importância e a oposição das variáveis de ocupação e de estrutura das paisagens em 2007 (contribuição

absoluta das variáveis à variância do eixo 2: OCU = 38,2% e EST = 35,3%). Maçaranduba, ocupada principalmente por pastos, está associada com maior biomassa de R1, com comportamento oposto à paisagem de Palmares II que se destaca pela maior quantidade de cultivos anuais, sendo também a área mais fragmentada (Figura 23.b).

3.3.3. Relação entre raízes finas e a vegetação

Houve co-variância significativa entre as matrizes de raízes e de vegetação, as quais respondem a 35,2% da variância entre as áreas (Teste de Monte-Carlo; $p = 0,002$). Os dois primeiros eixos explicam 98,25% da variabilidade total dos dados (eixo 1 = 77,8%; eixo 2 = 20,4%).

A quantidade de carbono das raízes e a densidade e riqueza do estrato superior da vegetação foram as variáveis que mais contribuíram para a formação do eixo 1 (31,9%; 33,6% e 29,6%, respectivamente). A quantidade de carbono foi correlacionada positivamente com a densidade ($r = 0,47$; $p = 0,014$) e riqueza do estrato superior ($r = 0,43$; $p = 0,026$), a contribuição destas três variáveis agrupou Maçaranduba e Travessão 338-S nesse eixo 1, separando-os de Palmares II (Figura 3.3a e 3.3b).

O eixo 2 foi formado, principalmente, pela contribuição da riqueza do estrato inferior da vegetação (95,6%), seguida pela biomassa das classes R3 (47,6%) e R1 (38,6%). A Riqueza do estrato inferior co-variou negativamente com a biomassa de R1 ($r = -0,42$; $p = 0,03$) e positivamente com R3 ($r = 0,64$; $p < 0,001$). A biomassa de R3 também co-variou positivamente com a densidade e riqueza do estrato superior ($r = 0,39$ e $0,51$, respectivamente; $p < 0,05$) (Figura 3.3b).

A importância e a relação dessas variáveis no segundo eixo separaram Maçaranduba do Travessão 338-S e ordenou de forma espalhada as propriedades de Palmares II ao longo do eixo sem que ele formasse um grupo específico. Portanto, ao longo desse eixo é observado um gradiente de conservação da riqueza do estrato inferior que é oposto ao gradiente de biomassa de raízes muito finas (R1) (Figura 3.3b).

3.3.4. Relação entre raízes finas e solos

Também foi verificada variância significativa da matriz de raízes com a matriz de solos (Teste de Monte-Carlo; $p = 0,001$), correspondendo a 50,4% da variância entre as áreas. O eixo 1 explica 91,9% da variância total, sendo as variáveis C (34,73%), R1 (33,93%), N_{total}

(19,57%), Areia (19,12%), C_{total} (16,68%) e Argila (13,76%), as que mais contribuíram para a formação do eixo. As demais variáveis de solo contribuíram com menos de 5% da variância do eixo 1.

Assim como nas outras co-inércias, a área de Palmares II também ficou separada das demais, estando relacionada positivamente ao teor de argila e a quantidade de macronutrientes (Figura 3.4a e 3.4b). O carbono e a biomassa de R1 foram positivamente relacionados com o teor de argila ($r = 0,56$ e $0,61$, respectivamente; $p < 0,005$), caracterizando Maçaranduba e Travessão 338-S. Todas as variáveis de raízes foram negativamente relacionadas a quantidade de N_{total} e C_{total} na camada de 0-30 cm do solo (Correlação de Spearman, $p < 0,001$) (Figura 3.4b).

3.3.5. Relação entre raízes finas e a socioeconomia

Foi observada co-variância significativa entre as matrizes de raízes finas e de socioeconomia (Teste de Monte-Carlo $p = 0,001$), as quais juntas explicam 54% da variância dos dados. O primeiro eixo da co-inércia é responsável por 85,1% da variabilidade dos dados, sendo formado, principalmente, pela contribuição positiva das variáveis: R1 (43%), C (40%), HA (26,9%), agrupando Maçaranduba e Travessão. A importância dos cultivos anuais (PBAN) contribuiu em 20,3% com a formação do eixo 1, estando a paisagem de Palmares associado positivamente a esta variável (Figura 3.5a e 3.5b).

Os resultados da análise de correlação de Spearman entre as duas matrizes mostrou que o tamanho da propriedade (HA), a importância do produto bovino (PBB) e o tempo de presença na propriedade (DAT) foram as variáveis socioeconômicas que co-variaram positiva e significativamente com a biomassa de R1 (r : HA = 0,63; PBB = 0,57; DAT = 0,46; $p < 0,01$). O tamanho da propriedade foi a única variável socioeconômica que co-variou positivamente com a quantidade de carbono nas raízes finas ($r = 0,76$; $p < 0,001$) (Figura 3.5b).

O tamanho das propriedades também foi positivamente relacionado ao Travessão 338-S, o qual também foi caracterizado pela importância dos cultivos perenes (PBPER), maior biomassa da classe R3 e quantidade de carbono (Figura 3.5a). Todas as variáveis de raízes foram correlacionadas negativamente a Palmares II; exceto as variáveis: importância dos cultivos anuais (PBAN); quantidade de crédito recebido pelo produtor (Ctt) e a renda bruta (PBTABER), que variaram positivamente com essa localidade. Estas variáveis

socioeconômicas foram negativamente correlacionadas com as demais áreas (Figura 3.5a e 3.5b).

As variáveis R3 (56,85%), PBPER (29,71%) e DAT (22,10%) foram as que apresentaram maior contribuição para a formação do eixo 2 (Figura 3.5a e 3.5b), o qual explicou 13,24% da variância dos dados.

3.3.6. Análise de co-inércia múltipla - MCOA

Os dois primeiros eixos da MCOA explicaram 57% da variação total dos dados (eixo 1 = 44,3%; eixo 2 = 12,7%). As correlações apresentadas nas quatro análises de co-inércias foram mantidas na MCOA (Figura 3.6a) e o agrupamento das áreas seguiu o padrão apresentado na co-inércia entre raiz e socioeconomia (Figura 3.6b). Dentre as quatro matrizes, a matriz socioeconômica foi a que apresentou maior correlação com a biomassa e carbono das raízes finas ($r = 0,54$) seguida pela matriz de solos ($r = 0,50$), de vegetação ($r = 0,352$) e por último a de paisagem ($r = 0,20$).

3.4. Discussão

A análise de co-inércia múltipla (MCOA) confirmou a importância de cada conjunto de variáveis analisadas separadamente. Em ordem de importância temos as variáveis socioeconômicas, as variáveis do solo, da vegetação e por fim as variáveis da paisagem.

A quantidade de biomassa e carbono das raízes finas em cada área responde às características da paisagem. A menor biomassa e carbono das raízes finas está relacionada diretamente às paisagens mais fragmentadas e, no entanto, mais produtivas, como em Palmares II; por outro lado, a maior biomassa e carbono estão no Travessão 338S, onde as florestas ainda dominavam.

A fragmentação das florestas levando aos mosaicos agrícolas é consequência das decisões dos produtores impulsionados pelo contexto socioeconômico e também ambiental. Esse efeito cascata descrito por Mattison e Norris (2005) e constatado por Brondizio e Moran (2012) em diferentes escalas da paisagem na Amazônia, resulta em perdas na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos.

Alguns trabalhos têm destacado a importância de se estudar os padrões e processos biológicos na escala da paisagem (Norris et al., 2010; Arroyo-Rodríguez et al., 2015), mas os indicadores de estrutura e ocupação da paisagem usados no presente estudo não explicaram a

biomassa e estoque de carbono das raízes finas tão bem quanto as variáveis que influenciam a paisagem, tais como, as variáveis socioeconômicas, os solos e a vegetação.

As variáveis socioeconômicas, além de influenciar fortemente a ordenação dos dados de biomassa e carbono das raízes finas, também influenciaram a distribuição da biomassa entre as classes diamétricas, especialmente as atividades de produção; por exemplo, a atividade pecuária (PBB) em Maçaranduba contribuiu para a maior biomassa das raízes mais finas (R1); os cultivos perenes contribuíram positivamente para a biomassa da classe R3; e, os cultivos anuais contribuíram com maior biomassa de raízes mortas (RM).

A maioria dos trabalhos sobre raízes limita-se a avaliar as raízes com diâmetro menor ou igual a 2 mm, o que é compreensível dada a importância dessas raízes para absorção e ciclagem de nutrientes, porém nossos resultados mostram que o detalhamento das classes diamétricas de raízes pode contribuir para compreender melhor os efeitos na mudança da paisagem sobre a biomassa vegetal abaixo do solo e avaliar melhor a estocagem do carbono nas raízes.

A relação entre as variáveis de raiz e socioeconomia mostra que a menor quantidade de biomassa e carbono de Palmares II pode ser uma consequência de algumas de suas características (o maior acesso ao crédito, o menor tamanho das propriedades e a importância dos cultivos anuais). Costa (2012) também relacionou o maior acesso ao crédito em Palmares II à menor quantidade de biomassa aérea.

Quando o tamanho da propriedade é relativamente pequeno o produtor tende a diminuir o tempo de pousio das florestas secundárias, reiniciando o ciclo agrícola em um curto espaço de tempo, e ainda usando o fogo para a limpeza da área. Na literatura há relatos das consequências negativas dessas ações sobre a vegetação (Araújo et al., 2013) e o solo (Vasconcelos et al., 2013). Os resultados obtidos aqui corroboram com esses relatos, sendo a menor biomassa e carbono das raízes finas também uma consequência negativa.

Nossos resultados mostraram que na escala das áreas as características edáficas influenciam mais a biomassa e carbono das raízes finas do que a estrutura da vegetação; embora na escala pontual a estrutura da vegetação apresente maior influência sobre as raízes finas conforme mostrado no capítulo 2. O teor de argila e a quantidade de carbono e nitrogênio no solo foram as variáveis que mais influenciaram negativamente as raízes finas, enquanto que o teor de areia influencia positivamente. Estes resultados estão de acordo com o padrão encontrado na literatura em que solos arenosos contribuem com maior biomassa de raízes finas (Silver et al., 2005; Metcalfe et al., 2008).

Os solos argilosos foram predominantes na paisagem de Palmares II, que também apresentou a menor biomassa de raízes finas. Além da presença de solos argilosos, em Palmares II os cultivos anuais foram muito presentes (22% dos pontos amostrais), nesses cultivos o corte e queima da vegetação é bastante utilizado; e, o uso do fogo aumenta a concentração de nitrogênio no solo (Chen et al., 2010); assim, argila e nitrogênio total contribuíram para uma menor biomassa e carbono das raízes finas em Palmares II. Na literatura não há um consenso do efeito do nitrogênio sobre as raízes finas, provavelmente, porque os efeitos do nitrogênio sobre as raízes finas dependem da forma como o nitrogênio está disponível para a planta (Freitas et al., 2008).

Os tipos de uso da terra têm pouca influência sobre as características edáficas das áreas de estudo (Grimaldi et al., 2014), o que pode ter influenciado o fato das variáveis de raízes apresentarem maior contribuição para a formação do eixo 1 da co-inércia entre raiz e solo, destacando o potencial das raízes finas como indicadoras de mudança de uso da terra (capítulo 2).

A co-inércia entre a vegetação e as variáveis de raízes mostrou que a manutenção do estrato superior da vegetação tem mais influência sobre o estoque de carbono das raízes do que sobre a quantidade de biomassa. A estrutura da vegetação pode ser um resultado do tipo de uso da terra (Gonçalves, 2014), portanto atividades com menor impacto sobre o estrato superior da vegetação (indivíduos com $DAP \geq 10$ cm) podem influenciar positivamente no acúmulo de carbono abaixo do solo. A separação em dois grupos das propriedades de Palmares II cada um associado com as outras áreas ao longo do eixo 2 da co-inércia entre raiz e vegetação, mostrou ser uma resposta da vegetação dominante em cada propriedade. As propriedades de Palmares II associadas à Maçaranduba são aquelas com predominância de pastos e correlacionadas com maior biomassa de R1, enquanto que as propriedades de Palmares II associadas ao Travessão 338-S são aquelas com predominância de floresta.

A riqueza do estrato inferior foi a outra variável que se destacou nas análises, esse estrato da vegetação é mais rico no Travessão 338-S e Palmares II (Do Vale et al., 2015; Castro, 2014). A variação positiva de R3 com a Riqueza do estrato inferior mostra a importância dos indivíduos desse estrato para a formação de raízes mais grossas (2 - 5 mm de diâmetro) na camada superficial do solo. Logo, a simplificação da cobertura vegetal, diminuindo a riqueza do estrato inferior como ocorre na conversão de floresta para pasto, pode resultar na diminuição da biomassa de raízes com diâmetro maior do que 2 mm (Capítulo 2).

A falta de correlação significativa entre a biomassa de R1 com as variáveis de vegetação comprova que em escalas maiores outras variáveis contribuem mais com a biomassa de raízes muito finas do que a densidade e riqueza da vegetação. A ausência dessa relação também foi encontrada em áreas de floresta explorada na Amazônia (Leão et al., 2014).

3.5. Conclusão

A maioria dos trabalhos sobre raízes limita-se a avaliar as raízes com diâmetro menor ou igual a 2 mm, o que é compreensível dada a importância dessas raízes para absorção e ciclagem de nutrientes, porém nossos resultados mostram que o detalhamento das classes diamétricas de raízes pode contribuir para compreender melhor os efeitos da mudança de uso da terra na escala da paisagem.

A grandeza com que as variáveis socioeconômicas, edáficas, da estrutura da vegetação e da paisagem influenciam a biomassa e carbono das raízes finas cai na ordem em que foram citadas acima. Isso evidencia a importância das decisões dos produtores, que são influenciadas por suas situações socioeconômicas, sobre o estoque de biomassa e carbono; além de evidenciar as diferenças encontradas entre escalas. Enquanto na escala da paisagem, as características edáficas são mais importantes para a biomassa e carbono das raízes finas do que a estrutura da vegetação, na escala local é o inverso, como mostrado no capítulo 2.

3.6. Referências

- Araújo, H.J.B., Oliveira, L.C., Vasconcelos, S.S., Correia, M.F. 2013. Danos provocados pelo fogo sobre a vegetação natural em uma floresta primária no estado do Acre, Amazônia brasileira. *Ci. Fl.* 23 (2), 297-308.
- Arroyo-Rodríguez, V., Melo, F. P. L., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., Chazdon, R. L., Meave, J. A., Norden, N., Santos, B. A., Leal, I. R., Tabarelli, M. 2015. Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biol Rev.* doi:10.1111/brv.12231
- Berenguer, E., Ferreira, J., Gardner, T.A., Aragao, L.E., De Camargo, P.B., Cerri, C.E., Durigan, M., Cosme De Oliveira Junior, R., Vieira, I.C., Barlow, J., 2014. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob. Chang. Biol.* 20, 3713-3726.

- Brandão Jr., A., Souza Jr., C., Pinto, A., Amaral, P. Situação do desmatamento nos assentamentos de reforma agrária no Estado do Pará. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2013. 32 p.
- Brassard, B. W., Chen, H. Y. H., Cavard, X., Laganière, J., Reich, P. B., Bergeron, Y., Paré, D., Yuan, Z. 2013. Tree species diversity increases fine root productivity through increased soil volume filling. *J. Ecol.*, 101, 210–219.
- Breugel, M.V., Ransijn, J., Craven, D., Bongers, F., Hall, J.S. 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *For. Ecol. Manage.* 262, 1648–1657.
- Brondizio, E.S., Moran, E.F., 2012. Level-dependent deforestation trajectories in the Brazilian Amazon from 1970 to 2001. *Popul. Environ.* 34 (1), 69-85.
- Cairns, M.A.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1-11.
- Calandino, D., Wehrmann, M., Koblitz, R. 2012. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 26, 161-170.
- Castro, L.N. Diversidade de ervas terrestres em três áreas agrícolas na região do arco do desmatamento, no estado do Pará, Brasil. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.
- Chen, Y., Randerson, J.T., Van Der Werf, G.R., Morton, D.C., Mu, M., Kasibhatla, P.S., 2010. Nitrogen deposition in tropical forests from savanna and deforestation fires. *Glob. Chang. Biol.* 16, 2024-2038.
- Coelho, R. F. R., Miranda, Izildinha S., Miranda, I. S., Mitja, D. 2012. Caracterização do processo sucessional no Projeto de Assentamento Benfica, sudeste do estado do Pará, Amazônia oriental. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.* 7, 251-282.
- Coelho, R. F. R., Miranda, Izildinha S., Mitja, D. 2013. Conservação das florestas do projeto de Assentamento Benfica, Sudeste da Amazônia. *Ci. Fl.* 23, 1-17.
- Costa, L.G.S. 2012. Biomassa aérea e carbono em projetos de assentamentos no arco do desmatamento, Estado do Pará. 70f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém,.
- Costa, L.G.S., Miranda, I.S., Grimaldi, M., Silva Jr.,M.L., Mitja, D., Lima, T.T.S. 2012. Biomass in different types of land use in the Brazil's 'arc of deforestation'. *For. Ecol. Manage.*, 278, 101-109.

- De Sartre, X. A., Oszwald, J., Ramírez, B., Rodríguez, G., Velazquez, J., Sebillé, P., Lavelle, P. 2011. Características socio-econômicas d'une integração regional em Amazonie colombienne (région de Florencia, Caqueta) 1988. Caravelle. Cahiers du monde hispanique et luso-brésilien, 96, 91-110.
- Dirzo, R., Loreau, M. 2005. Biodiversity Science evolves. *Science*, 310, 943.
- Do Vale, I., Miranda, I.S., Mitja, D., Grimaldi, M., Nelson, B.W., Desjardins, T., Costa, L.G., 2015. Tree regeneration under different land-use mosaics in the Brazilian Amazon's "Arc of Deforestation". *Environ. Manage.* 56, 342-354.
- Dolédec, S., Chessel, D. 1994. Co-inertia analysis: an alternative method for studying species – environment relationships. *Freshw. Biol.* 31, 277-294.
- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K., Hirano, Y. 2011. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 261, 265–277.
- Fonseca, A., Souza Jr., C., Veríssimo, A. 2014. Boletim Transparência Florestal da Amazônia Legal (Julho de 2014). Imazon. Disponível em: <http://www.imazon.org.br/publicacoes/transparencia-florestal/transparencia-florestal-amazonia-legal/boletim-do-desmatamento-sad-julho-2014>. Acessado em 17 de setembro de 2014.
- Freitas, T. A. S., D. G. Barroso, and J. G. A. Carneiro. 2008. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. *Ciência Florestal*. 18(1),133-142.
- Giraudoux, P. 2013. *pgirmess: Data analysis in ecology*. R package version 1.5.8. <http://CRAN.R-project.org/package=pgirmess>
- Godar, J., Tizado, E.J., Pokorny, B., 2012. Who is responsible for deforestation in the Amazon? A spatially explicit analysis along the Transamazon Highway in Brazil. *Forest Ecology and Management* 267, 58-73.
- Goebel, M., Hobbie, S.E., Bulaj, B., Zadworny, M., Archibald, D.D., Oleksyn, J., Reich, P.B., Eissenstat, D.M. 2011. Decomposition of the finest root branching orders: linking belowground dynamics to fine-root function and structure. *Ecol. Monogr.* 81 (1), 89-102.
- Gonçalves, I.V. 2014. Padrões de regeneração arbórea em mosaicos agrícolas do sudeste do Pará. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – INPA, Manaus.
- Grimaldi, M., J. Oszwald, J., Dolédec, S., Hurtado, M.P., Miranda, I.S., Sartre, X.A., Assis, W.S., Castañeda, E., Desjardins, T., Dubs, F., Guevara, E., Gond, V., Lima, T.T.S., Marichal, R., Michelotti, F., Mitja, D., Noronha, N.C., Oliveira, M.N.D., Ramirez, B., Rodriguez, G., Sarrazin, M., Silva Jr., M.L., Costa, L.G.S; Souza, S.L.,

- Veiga, I., Velasquez, E., Lavelle, P. 2011. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: searching for landscape drivers. *Landscape Ecol.* 29, 311 - 328.
- INCRA- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Projetos de reforma agrária conforme fases de implementação. Relatório 0227. Disponível em: http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/reforma-agraria/questao-agraria/reforma-agraria/relacao_de_projetos_de_reforma_agraria.pdf. Acessado em 19 de março de 2014.
- Jackson, R.B., Mooney, H.A., Schulze, E.D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 94, 7362-7366.
- Kauffman, J.B., Hughes, R.F., Heider, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecol. Appl.* 19, 1211–1222.
- Lassabatère, L., R. Angulo-Jaramillo, J. M. Soria Ugalde, R. Cuenca, I. Braud, and R. Haverkamp. 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments - BEST. *Soil Science Society of America Journal* 70, 521-532.
- Le Clec'h, S., Oszwald, J., Jegou, N., Dufour, S., Cornillon, P., Miranda, I., Gonzaga, L., Grimaldi, M., Gond V., Arnauld De Sartre X. 2013. Cartographie le carbone stocké dans la végétation: perspectives pour la spatialisation d'un Service Ecosystémique. *Bois et forêts des tropiques*, 67, 35-47.
- Leão, F.M., Miranda, I.S., Jardim, F.C.S. 2014. Fine root biomass in gaps of 'Terra Firme' forest in eastern Amazonia. *Rev. Cienc. Agrar.* 57 (2), 130-137.
- Lima, T.T.S., Miranda, I.S., Vasconcelos, S.S. 2012. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. *Acta Amaz.* 42 (1), 95-104.
- Marichal, R., Grimaldi, M., Feijoo M, A., Oszwald, J., Praxedes, C., Ruiz Cobo, D.H., del Pilar Hurtado, M., Desjardins, T., Silva Junior, M.L.d., Silva Costa, L.G.d., Miranda, I.S., Delgado Oliveira, M.N., Brown, G.G., Tsélouiko, S., Martins, M.B., Decaëns, T., Velasquez, E., Lavelle, P., 2014. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Applied Soil Ecology* 83, 177-185.
- Makkonen, K.; Helmisaari, H. 1999. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand - comparison of soil core and root ingrowth core methods. *Plant Soil.* 210, 43-50.
- Mattison, H., Norris, K., 2005. Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and

- biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 610-616.
- Metcalf, D. B., P. Meir, L. E. O. C. Aragão, A. C. L. Costa, A. P. Braga, P. H. L. Gonçalves, J. A. Silva Junior, S. S. Almeida, L. A. Dawson, Y. Malhi, and M. Williams. 2008. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant Soil*. 311, 189–199.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2006. *Ecosystem and Human well-being*, vol. 2: Scenarios. Island Press. MAweb.org.
- Moreno, G.S., Guerra, G.A.D. 2012. O drama da instalação de famílias agricultoras na mesorregião sudeste paraense. *Rev. NERA*. 21, 79-99.
- Moura, N.G.M., Lees, A.C.L., Andretti, C., Davis, B., Solar, R., Aleixo, A., Barlow, J., Ferreira, J., Gardner, T. 2013. Avian biodiversity in multiple-use landscapes of the Brazilian Amazon. *Biological Conservation* 167, 339-348.
- Norris, K., Asase, A., Collen, B., Gockowksi, J., Mason, J., Phalan, B., Wade, A., 2010. Biodiversity in a forest-agriculture mosaic – The changing face of West African rainforests. *Biological Conservation* 143, 2341-2350.
- Oszwald, J., Lefebvre, A., Arnaud de Sartre, X., Thalès, M., Gond, V. 2010. Analyse des directions de Changement des états de surface Végétaux pour renseigner la Dynamique du front pionnier de Maçaranduba (para, Brésil) entre 1997 et 2006. *Revue Télédétection*. 9 (2), 97-111.
- Oszwald, J., Lefebvre, A., Arnaud de Sartre, X., Thibaut, D., Gond, V., Grimaldi, M., Lefebvre, A., Araujo, F. R. L., Lindoso, s. s., Marichal, R., Veiga, I., Velasquez, E., Lavelle, P. 2012. Utilisation de la télédétection et de données socio-économiques et écologiques pour comprendre l'impact des dynamiques de l'occupation des sols a pacajá (Brésil). *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*. 198-199, 1-17.
- Oszwald, J., Gond, V., Dolédec, S., Lavelle, P. 2011. Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères. *Bois For. Trop.* 307 (1), 7-21.
- Pansu, M., Gautheyrou, J. 2006. *Handbook of soil Analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. New York, Springer, 993p.
- R Core Team 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Siegel, S., Castellan, N.C.Jr. 1988. *Nonparametric statistics for behavioural sciences*. New York, McGraw Hill Book Company, 399p.

- Sierra, C.A., del Valle, J.I., Orrego, S.A., Moreno, F.H., Harmon, M.E., Zapata, M., Colorado, G.J., Herrera, M.A., Lara, W., Restrepo, D.E., Berrouet, L.M., Loaiza, L.M., Benjumea, J.F., 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. *For. Ecol. Manage.* 243, 299-309.
- Silveira, A.M., Victoria, R.L., Ballester, M.V., Camargo, P.B., Martinelli, L.A., Piccolo, M.C. 2000. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do Rio Piracicaba. *Pesq. Agropec. Bras.* 35 (2), 389-399.
- Silver, W.L., Thompson, A.W., McGroddy, M.E., Varner, R.K., Dias, J.D., Silva, H., Crill, P.M., Keller, M. 2005. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forests soils. *Glob. Chang. Biol.* 11, 290-306.
- Vasconcelos, M.C.C.A., Gonçalves Júnior, J.M., Silva, A.F.A., Lima, R.S. 2013. Características químicas de solos sob cultivo tradicional no município de Vargem Grande-MA. *Agropecuária Científica no Semiárido.* 9 (3), 26-29.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. 2002. *Modern Applied Statistics with S.* Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Yavitt, J.B., Wright, S.J. 2001. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. *Biotropica*, 33, 421-434.
- Zar, J.H. 2010. *Biostatistical analysis.* Fifth ed. New Jersey, Prentice Hall, 944p.

Tabela 3.1. Tipos de Coberturas e usos da terra estudados em três áreas de agricultura familiar da região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil^a

Tipos de coberturas vegetais	Descrição	Número de parcelas amostrais			Total
		Palmares II	Maçaranduba	Travessão 338 Sul	
Floresta Conservada	Florestas com uma estrutura vertical bem definida e sem sinal de exploração	-	8	7	15
Floresta Explorada	Florestas com evidências de exploração com clareiras oriundas da extração de madeira	5	3	16	24
Floresta Queimada	Florestas que apresentam em seu interior a passagem de fogo. ^b	10	-	-	10
Floresta Secundária Velha	Floresta secundária com o estrato superior bem definido e idade maior do que 10 anos	3	9	4	16
Floresta Secundária Jovem	Floresta secundária sem o estrato superior bem definido e idade menor do que 10 anos	6	4	5	15
Pasto Invasido	Pastos com alta abundância de herbáceas e plantas jovens de espécies lenhosas. ^c	4	11	6	21
Pasto Limpo	Pastos com baixa densidade de espécies lenhosas. ^c	7	9	1	17
Cultivos anuais	Áreas cultivadas com: arroz (<i>Oryza</i> sp.), milho (<i>Zea mays</i> L.), mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Cranz) ou feijão (<i>Vigna</i> sp.)	10	1	3	14
Cultivos perenes	Áreas cultivadas com cacau (<i>Theobroma cacao</i> L.) geralmente em consórcio com paricá (<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>).	-	-	3	3
Total de parcelas amostradas		45	45	45	135

^a Tabela adaptada de Gonçalves (2014).

^b A ocorrência de floresta queimada está associada ao uso de fogo para a limpeza das áreas a serem cultivadas. Algumas vezes a queimada sai do controle e atinge as florestas adjacentes.

^c *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf foi a espécie forrageira predominante no PA Palmares II e PAE Maçaranduba, enquanto que *Brachiaria decumbens* Stapf foi predominante no Travessão 338 Sul.

Tabela 3.2. Biomassa (Mg ha^{-1}) e Carbono da biomassa total (Mg ha^{-1}) de raízes finas em três áreas de agricultura familiar na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil. C = quantidade de carbono das raízes finas; Classes diamétricas: R1 = biomassa de raízes $\leq 1\text{mm}$; R2 = biomassa de raízes $> 1\text{mm}$ e $\leq 2\text{mm}$; R3 = biomassa de raízes > 2 e $\leq 5\text{mm}$; RM = biomassa de raízes mortas ($\leq 5\text{mm}$); Total = biomassa total de raízes ($\leq 5\text{mm}$). Valores são média \pm desvio padrão

Área	C	R1	R2	R3	RM	Total
Maçaranduba (n=9)	1,81 \pm 0,27 a	2,76 \pm 0,48 a	0,59 \pm 0,2 ab	0,62 \pm 0,36 ab	0,18 \pm 0,11 a	4,14 \pm 0,63 a
Palmares II (n=9)	1,01 \pm 0,3 b	1,56 \pm 0,6 b	0,38 \pm 0,14 b	0,49 \pm 0,25 b	0,26 \pm 0,1 ab	2,69 \pm 0,78 b
Travessão 338-S (n=9)	2,06 \pm 0,32 a	2,56 \pm 0,49 a	0,74 \pm 0,15 a	1,04 \pm 0,35 a	0,4 \pm 0,15 b	4,73 \pm 0,54 a

Letras iguais em cada coluna mostram semelhança entre as áreas em relação a quantidade de carbono e a biomassa de cada classe diamétrica (Teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

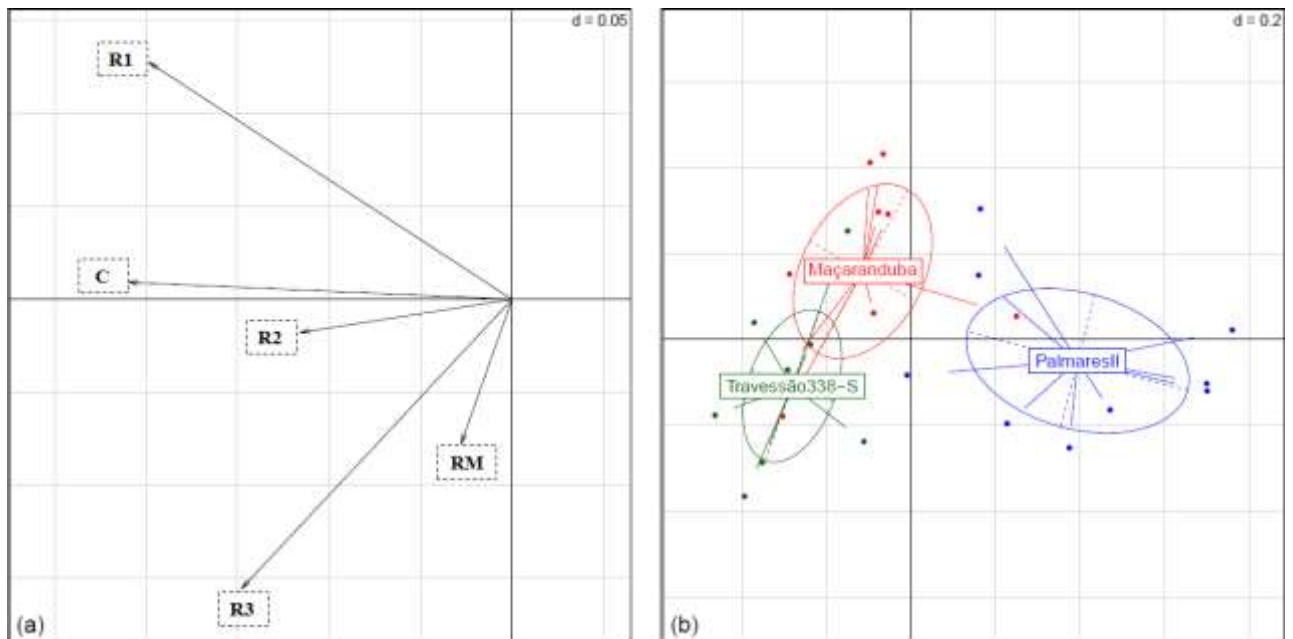


Figura 3.1. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de componente principal mostrando: (a) Associação das variáveis de raízes finas com os dois primeiros eixos; (b) Ordenação das 27 propriedades agrupadas por área. C = quantidade de carbono das raízes finas; Classes diamétricas: R1 = biomassa de raízes $\leq 1\text{mm}$; R2 = biomassa de raízes $> 1\text{mm}$ e $\leq 2\text{mm}$; R3 = biomassa de raízes > 2 e $\leq 5\text{mm}$; RM = biomassa de raízes mortas ($\leq 5\text{mm}$).

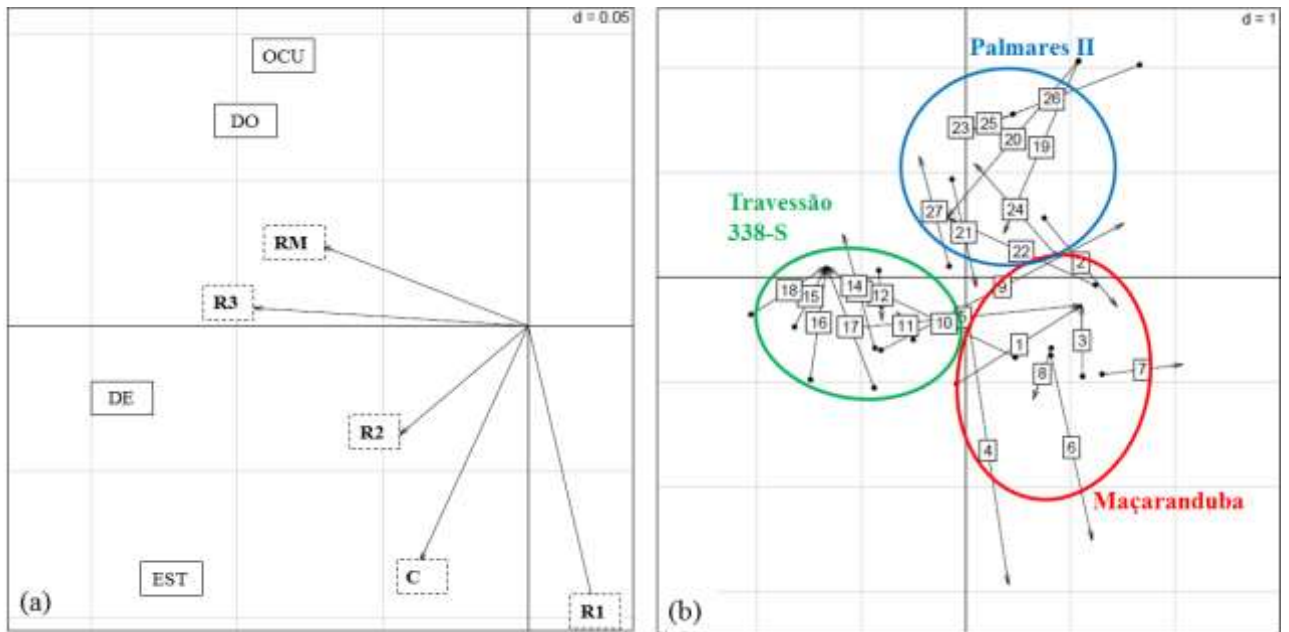


Figura 3.2. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e a paisagem: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e paisagem no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm); EST = indicador da estrutura da paisagem em 2007; OCU = indicador da ocupação da paisagem em 2007; DE = indicador da dinâmica da estrutura da paisagem no período de 1990 a 2007; DO = indicador da dinâmica da ocupação da paisagem no período de 1990 a 2007

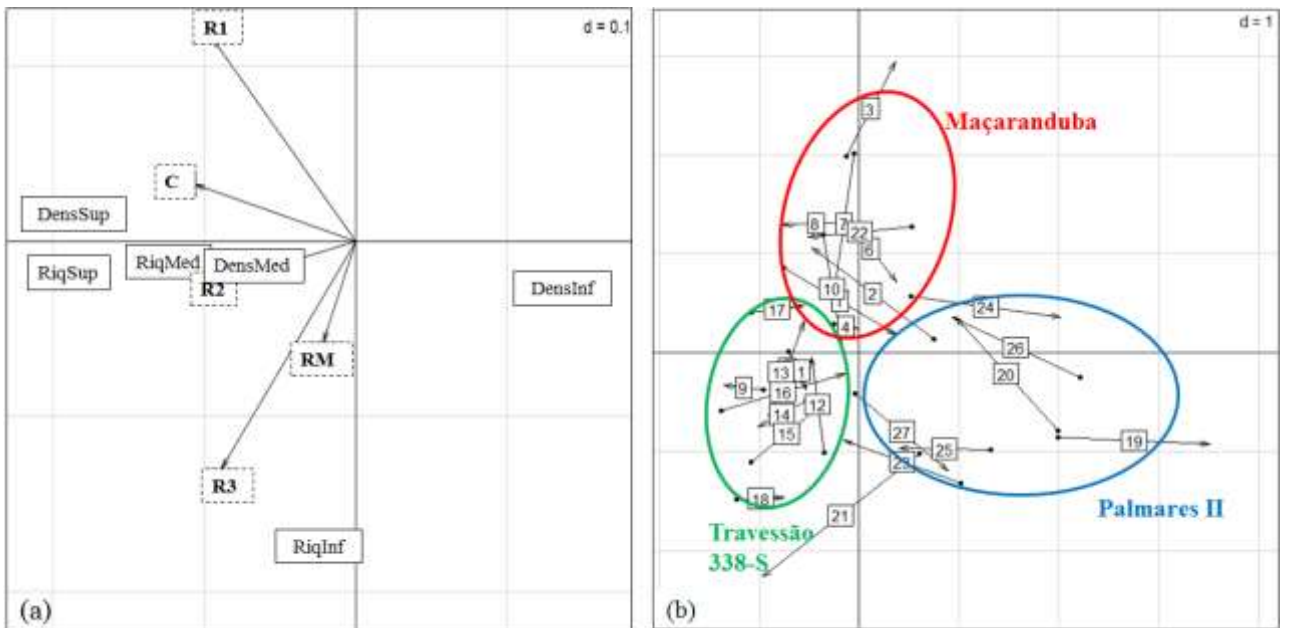


Figura 3.3. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e a vegetação: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e vegetação no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm); Riqueza de espécies por estrato (RiqInf, RiqMed, RiqSup); Densidade de indivíduos, também por estrato (DensInf, DensMed, DensSup).

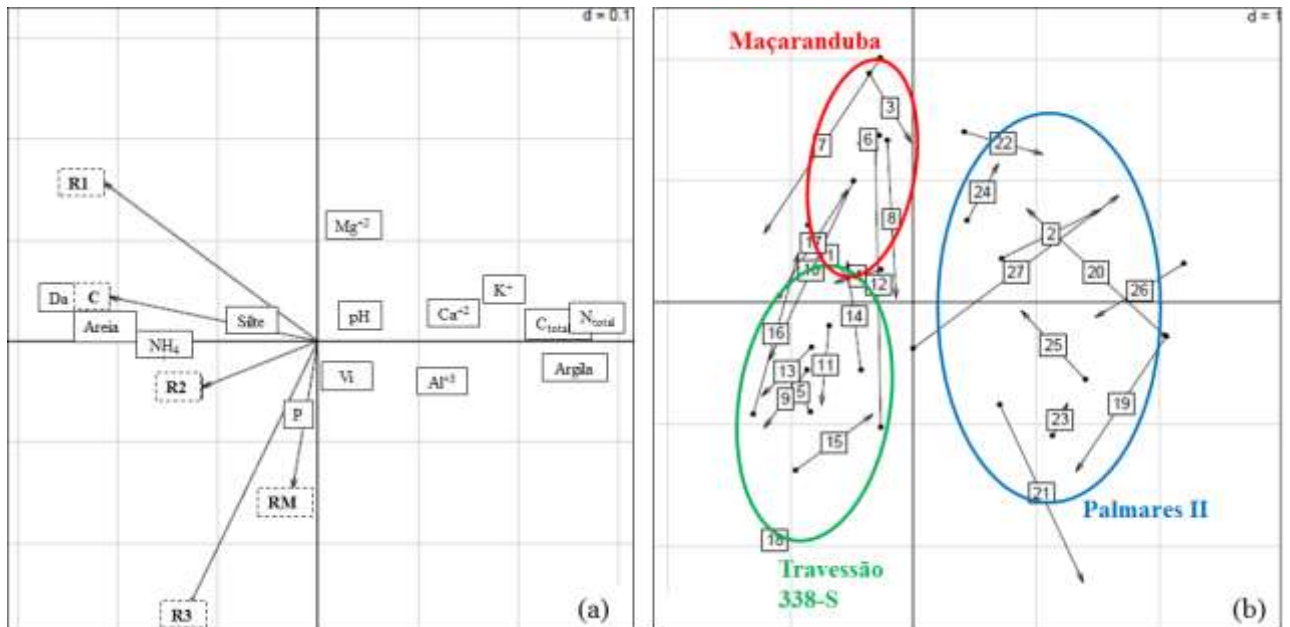


Figura 3.4. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e solo: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e solo no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm).

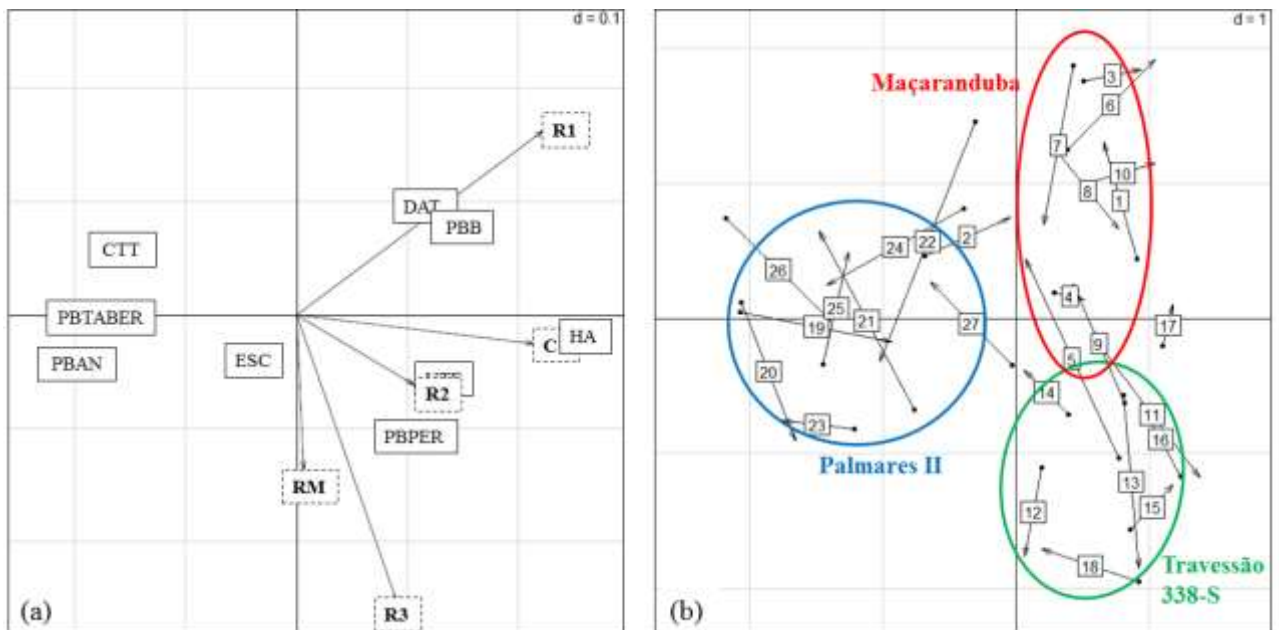


Figura 3.5. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia entre a biomassa de raízes finas e a socioeconomia: (a) Ordenação das variáveis de raízes finas e socioeconomia no plano fatorial da co-inércia; (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia. C = Carbono da biomassa total; R1 = ≤ 1 mm; R2 = 1-2mm; R3 = 2-5 mm; RM = raízes mortas (≤ 5 mm); HA = tamanho da área da propriedade; PBTABER = total das receitas brutas referentes as aberturas na propriedade; DAT = tempo de presença na propriedade; ESC = nível de escolaridade do proprietário; PBB = importância na propriedade do produto bovino; PBAN = importância na propriedade dos cultivos anuais; PBPER = importância na propriedade dos cultivos perenes; UTE = trabalho familiar disponível; CTT = crédito total acessado pelo proprietário.

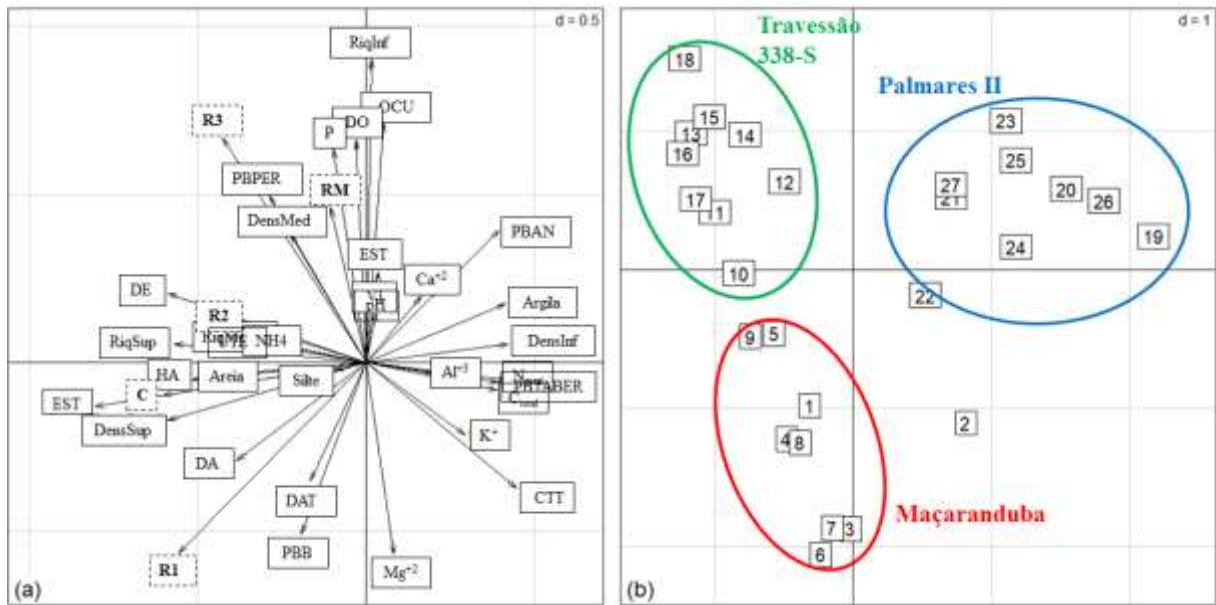


Figura 3.6. Ordenação do primeiro e segundo eixo da análise de co-inércia múltipla entre a biomassa de raízes finas, paisagem, a socioeconomia, vegetação e solo: (a) Ordenação das variáveis no plano fatorial da co-inércia múltipla. (b) Ordenação das 27 propriedades das três áreas no plano fatorial da co-inércia múltipla.

Apêndice 3.1. Média \pm desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis utilizadas para estabelecer a relação com a biomassa e carbono das raízes finas em três áreas de agricultura familiar localizadas na região do arco do desmatamento no Estado do Pará, Brasil.

Variáveis	Descrição	Maçaranduba	Travessão 338-S	Palmares II	
Paisagem	OCU	Ocupação da paisagem em 2007	3,33 \pm 1 (30)	9,56 \pm 0,88 (9,23)	8,44 \pm 1,67 (19,74)
	DO	Dinâmica da ocupação (1990 - 2007)	3,11 \pm 1,05 (33,88)	8,67 \pm 2 (23,08)	7,56 \pm 0,88 (11,67)
	EST	Estrutura da paisagem em 2007	4,67 \pm 2,65 (56,69)	9,11 \pm 1,05 (11,57)	4,67 \pm 1 (21,43)
	DE	Dinâmica da estrutura (1990 -2007)	2,89 \pm 2,03 (70,19)	9,78 \pm 0,67 (6,82)	4,44 \pm 1,33 (30)
Estrutura da vegetação	DensInf	Densidade do estrato inferior	154,64 \pm 44,8 (28,97)	141,29 \pm 41,43 (29,32)	227,67 \pm 119,94 (52,68)
	DensMed	Densidade do estrato médio	53,44 \pm 11 (20,59)	83,49 \pm 32,05 (38,39)	70,96 \pm 34,48 (48,6)
	DensSup	Densidade do estrato superior	12,22 \pm 5,34 (43,71)	11,18 \pm 2,98 (26,7)	5,13 \pm 3,32 (64,7)
	RiqInf	Riqueza do estrato inferior	23,78 \pm 4,17 (17,56)	30,2 \pm 4,12 (13,64)	30,89 \pm 7,58 (24,53)
	RiqMed	Riqueza do estrato médio	18,13 \pm 5,57 (30,72)	17,53 \pm 3,77 (21,51)	17,2 \pm 8,26 (48,02)
	RiqSup	Riqueza do estrato superior	6,38 \pm 3,28 (51,44)	7,13 \pm 1,97 (27,68)	3,69 \pm 2,25 (61,05)
Física e química dos solos	Argila	Teor de argila	17,81 \pm 6,76 (37,96)	15,88 \pm 3,59 (22,62)	41,21 \pm 11,18 (27,12)
	Silte	Teor de silte	16,51 \pm 11,37 (68,84)	16,05 \pm 3,75 (23,34)	12,92 \pm 4,89 (37,88)
	Areia	Teor de areia total	65,69 \pm 17,37 (26,45)	68,08 \pm 5,33 (7,83)	45,89 \pm 7,06 (15,38)
	pH	pH _{KCl}	5,31 \pm 0,31 (5,91)	5,59 \pm 0,44 (7,88)	5,56 \pm 0,77 (13,82)
	Al ⁺³	Al ⁺³ (cmolc Kg ⁻¹)	0,47 \pm 0,31 (66,05)	0,27 \pm 0,17 (62,8)	0,62 \pm 0,43 (68,9)
	Ca ⁺²	Ca ⁺² (cmolc Kg ⁻¹)	1,55 \pm 0,5 (32,66)	2,13 \pm 1,05 (49,12)	2,58 \pm 1,19 (46,16)
	Mg ⁺²	Mg ⁺² (cmolc Kg ⁻¹)	0,84 \pm 0,32 (37,72)	0,71 \pm 0,28 (39,84)	0,77 \pm 0,21 (26,97)
	K ⁺	K ⁺ (cmolc Kg ⁻¹)	0,18 \pm 0,06 (34,3)	0,14 \pm 0,05 (36,87)	0,24 \pm 0,08 (33,3)
	P	P disponível (mg Kg ⁻¹)	5,64 \pm 1,33 (23,6)	10,73 \pm 6,82 (63,56)	7,74 \pm 4,13 (53,37)
	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺ (mg Kg ⁻¹)	23,53 \pm 6,49 (27,56)	30,11 \pm 18,33 (60,87)	17,21 \pm 1,25 (7,27)
	C _{total}	Carbono total na camada de 0-30 cm de profundidade (g Kg ⁻¹)	10,39 \pm 2,31 (22,22)	9,16 \pm 0,83 (9,08)	13,1 \pm 1,38 (10,51)
	N _{total}	Nitrogênio total na camada de 0-30 cm de profundidade (g Kg ⁻¹)	0,87 \pm 0,22 (24,67)	0,73 \pm 0,12 (16,24)	1,32 \pm 0,13 (10,19)
	Da	Densidade aparente do solo	1,42 \pm 0,06 (4,33)	1,42 \pm 0,04 (2,7)	1,3 \pm 0,04 (3,34)
	Vi	Taxa de infiltração da água no solo (mm h ⁻¹)	1707,13 \pm 1011,77 (59,27)	1662,91 \pm 545,95 (32,83)	1869,53 \pm 1067,23 (57,09)
Socioeconomia	HA	Tamanho da área da propriedade em hectares	71,11 \pm 25,59 (35,99)	86,39 \pm 48,88 (56,58)	26,2 \pm 2,3 (8,8)
	PBB	Porcentagem do produto bovino	0,54 \pm 0,36 (65,98)	0,22 \pm 0,3 (137,83)	0,1 \pm 0,15 (146,05)
	PBAN	Porcentagem do produto obtido dos	0,1 \pm 0,15	0,32 \pm 0,23	0,58 \pm 0,21

	cultivos anuais	(150,66)	(71,25)	(35,95)
PBPER	Porcentagem do produto obtido dos cultivos perenes	0 ± 0 (0)	0,26 ± 0,22 (84,9)	0,04 ± 0,08 (200,54)
PBTABER	Total das receitas brutas referentes as aberturas na propriedade	82,98 ± 47,44 (57,18)	56,17 ± 46,69 (83,12)	278,63 ± 327,31 (117,47)
DAT	Tempo de vivência na propriedade (anos)	14,78 ± 7,4 (50,05)	12,67 ± 5,92 (46,71)	7,89 ± 2,85 (36,1)
UTE	Mão de obra familiar disponível (Número de pessoas)	3,18 ± 0,96 (30,09)	3,69 ± 2,01 (54,49)	2,13 ± 0,79 (36,91)
Ctt	Crédito total acessado pelo proprietário (R\$)	2980,02 ± 3469,11 (116,41)	597,12 ± 1417,89 (237,45)	3632,69 ± 1203,72 (33,14)
EST	Escolaridade do proprietário (Quantidade de anos estudados)	2,33 ± 2,55 (109,26)	3,44 ± 2,55 (74,18)	4,56 ± 3,54 (77,7)

4. CONCLUSÕES GERAIS

A biomassa de raízes finas é influenciada pelas mudanças de uso da terra, sendo maior em tipos de uso onde a presença de espécies arbóreas é predominante.

A biomassa de raízes finas nas distintas classes diamétricas é significativamente influenciada pelos tipos de uso da terra.

Tipos de uso com a presença marcante do estrato superior (marcadamente composto por espécies arbóreas) contribuem com maior biomassa de raízes com diâmetro > 2 mm.

Independente da escala de observação, a biomassa das raízes com diâmetro ≤ 1 mm apresentou maior proporção da biomassa total, ressaltando a importância das raízes muito finas para a quantificação da biomassa radicular.

O carbono e a biomassa de raízes finas diminuem com a fragmentação da paisagem, a qual responde ao contexto socioeconômico dos produtores.

Na escala da área, o contexto socioeconômico influenciou o carbono das raízes e a distribuição da biomassa entre as classes diamétricas, o que esteve muito associado as atividades de produção dominantes nas áreas. Onde predominou a atividade pecuária a biomassa das raízes com diâmetro ≤ 1 mm foi maior; os cultivos perenes contribuíram positivamente para a biomassa da classe R3; e, os cultivos anuais contribuíram com maior biomassa de raízes mortas.

Em ordem de importância na escala da área, as variáveis socioeconômicas foram as mais determinantes para as raízes finas, seguidas das variáveis do solo, da vegetação e, por fim, das variáveis da paisagem.

A influência da estrutura da vegetação e das propriedades físicas e químicas do solo depende da escala de observação. Na escala da parcela, representada aqui como os usos da terra, a estrutura da vegetação foi mais determinante para a biomassa das raízes finas do que as características dos solos, o inverso ocorre na escala da área.