



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

MARYORY MEDINA TURCIOS

**BIOMASSA DE RAÍZES EM ILHAS DE MATA DE SAVANAS DE RORAIMA: EFEITO
DA DIMENSÃO DO FRAGMENTO, DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E VARIÁVEIS
EDÁFICAS**

Boa Vista, RR

2015

MARYORY MEDINA TURCIOS

**BIOMASSA DE RAÍZES EM ILHAS DE MATA DA SAVANA DE RORAIMA: EFEITO
DA DIMENSÃO DO FRAGMENTO, DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E VARIÁVEIS
EDÁFICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Recursos Naturais do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais – PRONAT da Universidade Federal de Roraima como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio
Barbosa

Coorientador: Prof. Dr. José Frutuoso do Vale
Júnior

Coorientadora: Profa. Dra. Lidiany Camila da
Silva Carvalho

Boa Vista, RR

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

T932b Turcios, Maryory Medina.

Biomassa de raízes em ilhas de mata de savanas de Roraima: efeito da dimensão do fragmento, distribuição espacial e variáveis edáficas / Maryory Medina Turcios. – Boa Vista, 2015.

53 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa.

Co-orientador: Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

1 – Biomassa subterrânea. 2 – Estoque de carbono subterrâneo. 3 – Lavrado. 4 – Roraima. I – Título. II – Barbosa, Reinaldo Imbrozio (orientador). III – Vale Júnior, José Frutuoso do (co-orientador).

CDU – 581.144.2(811.4)

MARYORY MEDINA TURCIOS

Biomassa de raízes em ilhas de mata da savana de Roraima: efeito da dimensão do fragmento, gradiente e variáveis edáficas

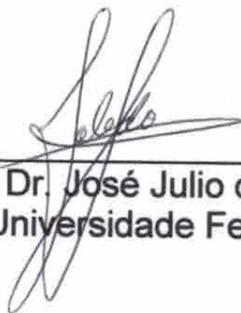
Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 26 de fevereiro de 2015 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:



Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa
Orientador – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia



Prof. Dr. Carlos Eduardo Moura da Silva
Membro – Universidade Estadual de Roraima



Prof. Dr. José Julio de Toledo
Membro – Universidade Federal do Amapá



Profa. Dra. Maristela Ramalho Xaud
Membro - Embrapa Roraima

Minha mãe Dora Turcios, pai Marcos Zuniga, irmão Marcos Medina, sobrinha Valeri Medina e meu companheiro Cesar Alvarado, pela força e motivação no dia a dia, dedico

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado pelo projeto “Ecologia e Manejo dos Recursos Naturais da Savana de Roraima” (PPI-INPA 015/122), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Proc. CNPq 303081/2011-2) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia (INCT-ServAmb).

A Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras providenciaram minha bolsa de pós-graduação (Mestrado).

A Universidade Federal de Roraima (UFRR) pelo aceite para desenvolver meus estudos de mestrado no Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT), nas pessoas do Dr. Marcos Vital e da Dr. Gardênia Holanda, além das secretárias Natália Cristina, Luisa Ximenes e Carolina Ferregueti. Também agradeço a Coordenação de Relações Internacionais da UFRR, nas pessoas de Janaina Lira, Izaulina Lourenço e Alberto Moura pelas orientações antes e depois da minha chegada ao Brasil.

Ao Núcleo de Pesquisas do INPA em Boa Vista (Roraima) pelo apoio logístico e institucional ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Tive o privilégio de trabalhar com o Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa (INPA), meu orientador. A você querido “*pai*”, agradeço seu profundo apoio, além das motivações durante todo o trabalho de campo, laboratorial e escritório. Serão inesquecíveis suas argumentações ao longo da minha formação acadêmica.

Agradeço aos meus coorientadores, Prof. Dr. José Frutuoso Vale Jr. (UFRR), pelos ensinamentos sobre a pedologia de Roraima, e Profa. Dra. Lidiany Camila da Silva Carvalho (UFRR/PRONAT), por seu apoio e presença nos momentos complicados de meus estudos.

O excelente e incansável trabalho de campo de Urias Santana (EAGRO), Williamar Silva (UFRR/PRONAT) e Heleno José Parente (INPA Roraima) foram essenciais às minhas coletas de campo; muito obrigada.

O Prof. Dr. Valdinar Melo disponibilizou o Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Roraima (UFRR) para a realização de minhas análises de solo. MSc. Semiramys Moreira e MSc. Ismael Montero foram de grande ajuda durante as

análises no CCA. Também agradeço a pronta colaboração da Dr. Karine Batista responsável pelo Laboratório de Solos da Embrapa Roraima onde desenvolvi outra parte das análises de solo.

À Deus, pela saúde que deu a meus seres mais queridos neste tempo que eu passei fora de casa.

Agradeço à Cesar Leonardo Alvarado meu companheiro e amigo, pelo apoio incondicional, força, motivação, amor e os momentos de discussão do meu trabalho. Sua presença e paciência foi chave para eu sempre continuar nos momentos difíceis e felizes que passei neste meu querido Brasil.

A meus pais, Dora Turcios Amador e Marcos Medina Zuniga, ao meu irmão Marcos Antonio Medina, e a minha sobrinha Valeri Medina, os quais foram minha inspiração e fonte de força para realizar este meu sonho e dar o melhor de mim em todo momento, esta minha conquista é para vocês.

Agradeço a Margarita Jaramillo pelo convívio e apoio, bem como a meus colegas Paulo Barni e Rodrigo de Oliveira. A Alina Celarié e Diana Sangama quem amavelmente me receberam na sua casa. Também agradeço a Aparecida Moura, Ângela Scaramuzza, Gaby Abreu, Paty Bombonati, Andreia Alencar e suas respectivas famílias pelo enorme apoio durante toda a minha estadia no Brasil. A vocês minhas amigas, que também considero como parte da minha família, e a todas as pessoas e amigos que conheci e deram seu apoio em algum momento durante minha estadia em Brasil, levo no meu coração as lembranças que são partes da minha história em Roraima. Infinitas “*gracias*”.

RESUMO

Biomassa de raízes em sistemas florestais dispersos nas matrizes de savana da Amazônia é pobremente estudada e indiretamente calculada dentro do Inventário Nacional sobre fontes e reservatórios de carbono do Brasil. O objetivo do estudo foi estimar a biomassa de raízes em ilhas de mata dispersas na savana de Roraima levando em consideração o efeito da dimensão destes fragmentos florestais, distribuição espacial (borda e interior) e das variáveis edáficas como fontes de variação da biomassa. A amostragem foi desenvolvida em 12 ilhas de mata distintas por categorias de dimensão (pequenas ≤ 10 ha, médias = 10–20 ha, grandes = 20–60 ha) e pela borda e interior do fragmento. Tradagens de solo (1 m de profundidade) foram realizadas de forma equidistante ao longo de transectos estabelecidos no sentido norte – sul em cada ilha. Todas as raízes com diâmetro ≥ 2 mm foram triadas manualmente a intervalos de 10 cm no perfil vertical do solo e transformadas em massa por unidade de área. Foram realizadas análises químicas e físicas do solo a cada intervalo de 10 cm. A análise dos dados foi realizada através de ANOVA, teste t e regressão linear. A biomassa de raízes não diferiu em relação a dimensão dos fragmentos ($38,8 \pm 22,4$ Mg ha⁻¹ de média geral). No entanto, a média das bordas ($37,6 \pm 19,6$ Mg ha⁻¹) foi distinta do interior ($23,3 \pm 24,4$ Mg ha⁻¹), independente da dimensão das ilhas, sugerindo ser afetada por diferenças florísticas e estruturais entre a borda e o interior. Apenas 50% da variação da biomassa de raízes ao longo do perfil vertical (0–1 m) foram explicados pelas variáveis edáficas devido à uniformidade química e física dos solos amostrados. A maior concentração de raízes foi registrada entre 0–30 cm (finas = 32,8%, médias = 55,9% e grossas = 11,3%), não sendo observadas diferenças entre as dimensões dos fragmentos neste intervalo de profundidade. O valor médio da razão *root:shoot* nas ilhas amostradas foi de $0,40 \pm 0,28$ no perfil de 0 a 1 m de profundidade. A conclusão do estudo é que biomassa de raízes em fragmentos florestais dispersos na savana de Roraima não é afetada pela dimensão dos fragmentos, mas é distinta entre borda e interior das ilhas, podendo ser explicada pelas diferenças na estrutura e composição florística entre borda e interior.

Palavras chave: Biomassa subterrânea, estoque de carbono subterrâneo, *root:shoot*, fragmentos florestais, lavrado.

ABSTRACT

Root biomass in forest ecosystems scattered in Amazonian savanna matrix is poorly studied and indirectly calculated within the National Inventory of carbon sources and reservoirs in Brazil. The goal of the study is to estimate root biomass in forest islands dispersed in Roraima savanna taking into account the size effect of these forest fragments, spatial distribution (edge and interior) and edaphic variables as biomass sources of variation. Sampling was conducted in 12 different forest islands by size categories (small ≤ 10 ha, medium = 10-20 ha, large = 20-60 ha) and the edge and the forest interior. Soil samples (1 m deep) were performed at equal distances along transects established in the north - south direction on each forest island. All root diameter ≥ 2 mm were manually screened at intervals of 10 cm in the soil vertical column and converted in mass per unit area. Chemical and physical soil analyzes were made in each 10 cm interval. Data analysis was performed using ANOVA, t test and linear regression. The average root biomass did not differ in the size of fragments, resulting in 38.8 ± 22.4 t ha⁻¹ as the overall mean for all fragments. However the edge mean (37.6 ± 19.6 t ha⁻¹) was distinct from the interior (23.3 ± 24.4 t ha⁻¹), regardless of the size of the islands, suggesting that it is affected by floristic and structural distinctions between the edge and the interior. Only 50% of the variation in root biomass along the vertical profile (0-1 m) were explained by the soil characteristics due to chemical and physical uniformity of the sampled soils. The highest concentration of roots was recorded between 0-30 cm (fine = 32.8%, medium = 55.9% and coarse = 11.3%), with no differences between the sizes of the fragments in this depth range. The ratio root: shoot in the sampled forest islands was 0.40 ± 0.28 (0-1 m deep). The conclusion is that root biomass in forest fragments dispersed in Roraima savannah is not affected by the size of the fragments, but is distinct between edge and interior of the islands, which can be partially explained by differences in the structure and floristic composition between edge and interior.

Keywords: Belowground biomass, belowground carbon stock, root:shoot, forest fragments, lavrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização do Projeto de Assentamento Nova Amazônia I (PANA I) e distribuição espacial das unidades amostrais (ilhas de mata) amostradas no município de Boa Vista, Roraima	17
Figura 2 -	Esquema dos transectos e dos pontos de tradagens em que foram feitas as coletas de solo e raízes até a profundidade de 1 metro, considerando a borda “B” e interior “I” de cada ilha de mata (esquema de uma ilha média)	19
Figura 3 -	Raízes após a triagem de um perfil de solo (0-1m profundidade) dividido segundo o intervalo de profundidade (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 90-100 cm).	20
Figura 4 -	Biomassa total de raízes (Mg ha^{-1}) segundo a borda e o interior para as ilhas de mata dispersas na savana de Roraima, os pontos pretos representam os valores da biomassa e os vermelhos os valores médios para a borda e o interior	25
Figura 5 -	Relação entre biomassa de raízes total em Mg ha^{-1} (0-1m de profundidade) e Soma de Bases em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+1}$)	26
Figura 6 -	Relação entre biomassa raízes em Mg ha^{-1} (0-30 cm de profundidade) e K^{+1} em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	27
Figura 7 -	Distribuição vertical da biomassa de raízes (Mg ha^{-1}) para a borda e o interior das ilhas de mata dispersas na savana de Roraima, norte da Amazônia brasileira.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Quantidade de subamostras coletadas em cada ilha segundo a borda e o interior, área (ha) e porcentagem da área da borda e do interior de cada ilha ...	19
Tabela 2 -	Biomassa de raízes (Mg ha^{-1}) ponderada pela área da borda ou interior, segundo a dimensão das ilhas de mata amostradas na savana de Roraima, Amazônia brasileira.	24
Tabela 3 -	Distribuição da biomassa de raízes (valores médios) segundo a categoria de diâmetro por intervalo de profundidade ($\text{Mg ha}^{-1} \pm \text{dp}$).	29
Tabela 4 -	Razão <i>root:shoot</i> para as ilhas grandes, médias e pequenas segundo o a borda e o interior, dispersas na savana de Roraima, norte da Amazônia brasileira	30

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE A	Localização geográfica dos 76 perfis do solo coletados	43
APÊNDICE B	Modelos de decaimento exponencial utilizados na estimativa da biomassa de raízes entre os intervalos de 50 – 90 cm. Os modelos são distintos por diâmetro das raízes (finas e médias), dimensão e borda - interior. Y representa o valor da biomassa ($Mgha^{-1}$) e X a profundidade (cm).....	46
APÊNDICE C	Propriedades químicas e físicas dos solos das ilhas de mata distintas pelo intervalo de profundidade. Os dados da tabela representam os valores médios para os seis intervalos. Valores seguidos da mesma letra na mesma linha não diferem entre si (Tukey $_{0,05}$)	47
APÊNDICE D	Diagrama textural com a composição do sistema físico do solo indicando a homogeneidade edáfica das ilhas de mata amostradas. Os pontos representam os valores médios das porcentagens dos atributos físicos (areia, silte e argila) de cada ilha (A). Propriedades químicas dos solos das ilhas de mata, os pontos pretos representam o valor médio de cada ilha distintos segundo a borda e o interior, os pontos vermelhos representam o valor da média para cada distribuição de dados (B)	48
APÊNDICE E	Valores médios das características químicas e físicas dos solos para cada ilha de mata amostrada.....	49
APÊNDICE F	SOIL CHARCOAL AS LONG-TERM CARBON STORAGE IN AMAZONIAN SEASONAL FORESTS (Artigo em fase de preparação).....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Área de estudo.....	17
3.2	Desenho amostral.....	18
3.3	Triagem das raízes	20
3.4	Análise do solo.....	21
3.5	Análise dos dados.....	21
3.5.1	Estimativa do estoque da biomassa.....	21
3.5.2	Padrão de distribuição espacial (dimensão e borda-interior)	22
3.5.3	Efeito das variáveis edáficas	23
3.5.4	Padrão de distribuição vertical.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Resultados.....	24
4.1.1	Padrão de distribuição espacial (dimensão e borda-interior).....	24
4.1.2	Variáveis edáficas e a biomassa de raízes.....	25
4.1.3	Padrão de distribuição vertical da biomassa de raízes.....	27
4.1.4	Razão Root:shoot.....	29
4.2	Discussão.....	30
4.2.1	Padrão de distribuição espacial (dimensão e borda-interior)	30
4.2.2	Variáveis edáficas e a biomassa de raízes	31
4.2.3	Padrão de distribuição vertical da biomassa de raízes.....	32
4.2.4	Razão Root:shoot.....	33
4.3	Potencial de armazenamento dos fragmentos florestais	34
5	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICE	42

1 INTRODUÇÃO

Estoque de biomassa de raízes é uma medida da liberação e armazenamento de carbono (C) em sistemas terrestres (EGGLESTON et al., 2006). A importância de se conhecer a distribuição desses estoques é potencializada em função da grande quantidade de C armazenado na biomassa subterrânea, e das implicações deste C no âmbito da mitigação das mudanças climáticas (JACKSON et al., 1996; JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997). A mensuração desses estoques também é preponderante para decisões adequadas em relação às políticas públicas ambientais e nas discussões realizadas dentro dos acordos de mitigação do clima como, por exemplo, o REDD - Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (GIBBS et al., 2007). No caso da Amazônia, a importância é maximizada porque a região é a maior área contínua de sistemas tropicais do planeta, inferindo que toda sua área represente um gigantesco sumidouro de carbono subterrâneo pobremente quantificado (BARBOSA et al., 2012a). Nesse sentido, conservar o C armazenado na biomassa subterrânea representa um dos principais serviços ambientais dessa região porque ajuda a evitar os impactos correspondentes ao aquecimento global (FEARNSIDE, 2013).

A maioria dos estudos sobre biomassa de raízes na Amazônia vem destacando a importância deste reservatório de carbono em sistemas florestais da área Central da Bacia Amazônica (KLINGE, 1973; LIMA et al., 2012; NEPSTAD, 1994). Alguns estudos têm estimado indiretamente esses estoques para serem utilizados como parâmetros descritores de tipos de solo e estrutura florestal (THOMPSON et al., 1992) e não florestal (BARBOSA et al., 2012a), e outros tem utilizado essas estimativas para explorar o papel de alguns fatores de variação como a textura e a fertilidade do solo sobre o armazenamento de carbono em ecossistemas da floresta Amazônica (SILVER et al., 2000). Apesar deste aporte de informações, a maior parte da Amazônia é desprovida de investigações que avaliem o potencial de armazenamento de carbono subterrâneo nas diferentes fitofisionomias existentes em toda a região. Essa falta de informação geralmente é associada ao intenso trabalho no campo e as dificuldades no uso do método direto para determinar a biomassa de raízes (VOGT; VOGT; BLOOMFIELD, 1998).

As maiores lacunas de informação na Amazônia recaem sobre os sistemas florestais sazonais dispersos na zona de contato entre a floresta contínua e os grandes blocos de savanas ocorrentes em toda a região. Essa carência de informação é exemplificada por Barbosa, Keizer e Pinto (2010),

os quais apresentaram uma estimativa da biomassa de raízes sobre esses sistemas florestais que, no entanto, foi derivada de métodos indiretos baseados em estimativas de sistemas florestais ombrófilos contínuos. Os ecossistemas sazonais da Amazônia estão presentes tanto nos limites das florestas contínuas (ecótonos), quanto dispersos por todas as matrizes de savana destas zonas na forma de ilhas de mata, florestas ribeirinhas ou serras de baixa altitude. Esses fragmentos florestais são naturais e definidos como áreas de tensão ecológica originadas durante o período Quaternário (HUBER et al., 2006; PINHEIRO; MONTEIRO, 2010). Estes fragmentos são muito representativos, estimando-se que, por exemplo, possam corresponder ~30% (12,773 km²) da região de savanas de Roraima (BARBOSA et al., 2007). No caso específico das ilhas de mata, estudos recentes demonstraram que estas são afetadas pela extração seletiva, ação do fogo, uso para conforto térmico do gado e agricultura de subsistência, sendo esta última perturbação a mais evidenciada nas ilhas de maior dimensão (SANTOS; VALE JUNIOR; BARBOSA, 2013).

Apesar de sua importância, na Segunda Comunicação do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas, o estoque de carbono contido na biomassa arbórea e subterrânea dos fragmentos florestais do bioma Amazônia foi desconsiderado, sendo indicado como parte dos estoques presentes nos sistemas florestais contínuos (BRASIL, 2010). Não considerar esses valores representa uma subestimativa nos estoques de carbono apresentados nos inventários de gases de efeito estufa, especialmente para as savanas amazônicas, que são tradicionalmente definidas como “sistemas de baixa biomassa”. A informação desses estoques é necessária para melhorar os valores do inventário nacional de gases de efeito estufa que o Brasil tem que apresentar seu relatório como parte signatária da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (BRASIL, 2010). Constantes ajustes nos valores do Inventário Nacional reduzem as incertezas relacionadas aos sistemas florestais de toda a região Amazônica (NOGUEIRA et al., 2015).

Assim sendo, do mesmo modo como em fragmentos antropogênicos da floresta contínua (derivados de desmatamento – corte raso), a hipótese é de que a biomassa de raízes (subterrânea ou abaixo do solo) das ilhas de mata em áreas de savana da Amazônia, seja influenciada por fatores como dimensão, a borda ou interior do fragmento e variações edáficas (textura e fertilidade). Alguns autores reconhecem a necessidade de esclarecer o efeito da dimensão do fragmento sobre a alocação da biomassa radicular, visto que a dimensão produz um efeito positivo na biomassa acima do solo de fragmentos antropogênicos que, por sua vez, pode favorecer uma relação com a biomassa subterrânea (NASCIMENTO; LAURANCE, 2004). Mesmo com distinções na origem e

formação é de se esperar que ilhas de mata dispersas em áreas de savana tenham comportamento semelhante. No mesmo sentido, a interação das ilhas de mata com o entorno gera uma rápida mudança na composição florística, favorecendo o aumento de espécies pioneiras, em especial nas bordas, um processo muito semelhante ao dos fragmentos antropogênicos, onde esse processo de modificação é intensificado pela extração seletiva de árvores e fogo (NASCIMENTO; LAURANCE, 2006; OLIVEIRA; SANTOS; TABARELLI, 2008). Assim sendo, o armazenamento de carbono na biomassa de raízes pode ser influenciado por esses processos, sendo a borda do fragmento a mais sensível a essa mudança (LAURANCE et al., 1997; LAURANCE et al., 2006; LAURANCE; VASCONCELOS, 2009).

Por fim, as variáveis edáficas também têm sido consideradas como um fator explicativo na distribuição vertical e no acúmulo da biomassa de raízes (JACKSON et al., 2000; SCHENK; JACKSON, 2002a). Assim as altas concentrações de raízes em florestas tropicais são associadas aos solos arenosos (SILVER et al., 2000), e menores estoques na biomassa de raízes podem ser esperados em solos mais férteis (ESPELETA; CLARK, 2007; VITOUSEK; SANDFORD, 1986).

No caso específico das ilhas de mata dispersas em savanas, os fatores edáficos tendem a ser fortalecidos, visto que o entorno destes fragmentos florestais sofre constantes efeitos do fogo (BARBOSA; FEARNESIDE, 2005; SANTOS; VALE JUNIOR; BARBOSA, 2013). Da mesma forma que em fragmentos antropogênicos, a frequência e a intensidade dos fogos sugerem alterações na ciclagem de nutrientes (LUIZÃO, 2007; NASCIMENTO; LAURANCE, 2006) que, por sua vez, podem afetar a biomassa de raízes ao longo do perfil do solo. Desse modo, o estudo dos fatores controladores da alocação da biomassa de raízes (dimensão, borda-interior e variáveis edáficas) em ilhas de floresta sazonal proporcionará estimativas mais detalhadas do potencial de armazenamento e da variação de carbono subterrâneo em matrizes de savanas da Amazônia. Essas estimativas ressaltarão a importância desses fragmentos florestais sazonais como potenciais mitigadores do efeito estufa, melhorando o entendimento de seu papel no contexto regional Amazônico. Além disto, essas estimativas são fundamentais para estimar a razão “*root:shoot*” (razão entre a biomassa subterrânea e a aérea). O uso desse fator é sugerido nos guias metodológicos do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para estimar indiretamente a biomassa abaixo do solo, no caso em que a parte signatária não tenha dados prévios para esse compartimento devido as dificuldades no uso do método direto (EGGLESTON et al., 2006).

Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi estimar a biomassa de raízes de ilhas de mata situadas em uma área de savana de Roraima tomando como base a dimensão, a borda e o interior desses fragmentos florestais, e as variáveis edáficas como fatores que controlam a variação espacial e vertical da biomassa de raízes ao longo do perfil de 1 m de profundidade do solo. O estudo aborda as seguintes perguntas específicas: i) A biomassa de raízes é distinta entre fragmentos de diferentes dimensões? ii) A biomassa de raízes difere entre borda e interior das ilhas de mata, independente da dimensão do fragmento florestal? iii) propriedades físicas e químicas do solo influenciam no total da biomassa subterrânea? iv) biomassa de raízes varia ao longo do perfil vertical (profundidade) independente da dimensão e da borda ou interior das ilhas de mata?

2 OBJETIVOS

Visando responder as perguntas específicas foram construídos os seguintes objetivos:

2.1 Geral

Estimar a biomassa de raízes das ilhas de mata situadas em uma área de savana de Roraima, norte da Amazônia brasileira, em função da dimensão, da borda-interior da ilha e das propriedades físicas e químicas do solo.

2.2 Específicos

- ✓ Avaliar a variação da biomassa de raízes em função da dimensão do fragmento.
- ✓ Estimar os estoques da biomassa de raízes, conforme à borda – interior, independente da dimensão da ilha.
- ✓ Verificar as variações nos estoques da biomassa de raízes em função das propriedades físicas e químicas do solo.
- ✓ Avaliar a biomassa de raízes ao longo do perfil vertical (0 - 1 m) do solo, independente da dimensão e da borda ou interior das ilhas de mata.
- ✓ Estimar a razão *root:shoot* para as ilhas de mata dispersas na savana do extremo norte do bioma Amazônia.

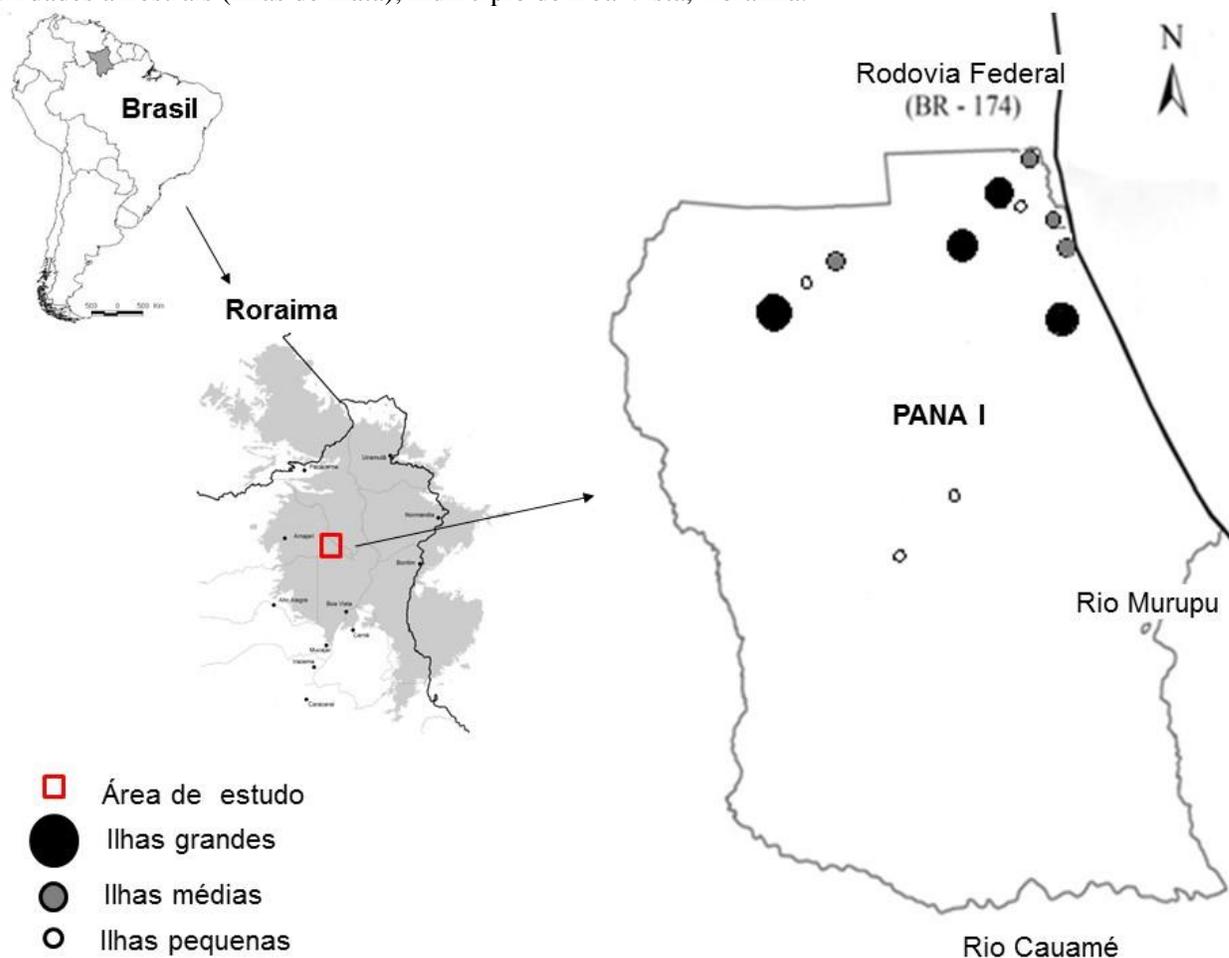
3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais e aplicados os seguintes métodos:

3.1 Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido dentro do Projeto de Assentamento Nova Amazônia I (PANA I), que corresponde a uma área total de 44.050,03 ha e dista ~35 km ao nordeste da cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima (figura 1).

Figura 1- Localização do Projeto de Assentamento Nova Amazônia I (PANA I) e distribuição espacial das unidades amostrais (ilhas de mata), município de Boa Vista, Roraima.



Foram registradas 34 ilhas de mata no PANA I, sendo todas caracterizadas como florestas sazonais de baixa altitude (~90 m acima do nível do mar) que sofrem impacto frequente de fogo de sub-bosque, desmatamento, extrativismo vegetal e pisoteio por gado. De forma geral, a comunidade arbórea destas ilhas de mata é caracterizada pelas famílias Fabaceae (grande grupo das Leguminosae) e Sapotaceae e, alta abundância de espécies pioneiras (SANTOS; VALE JÚNIOR; BARBOSA, 2013).

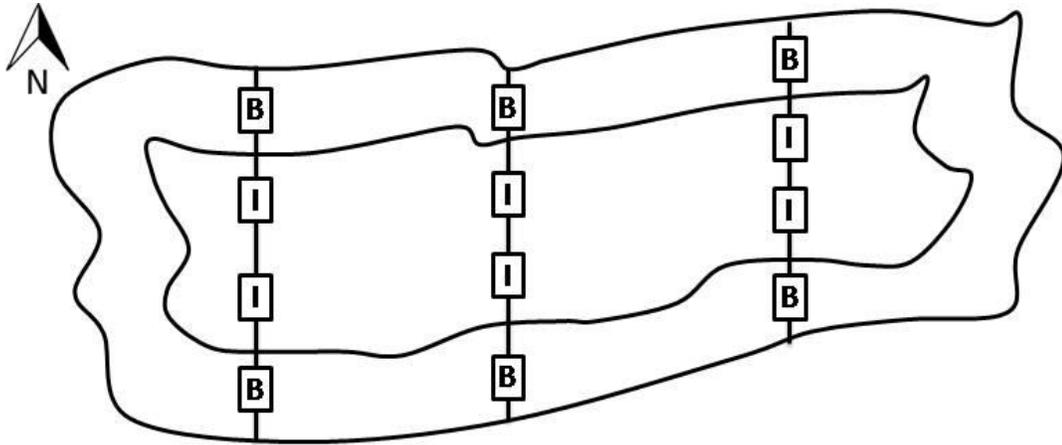
As ilhas de mata do PANA I estão dispersas em relevo plano a suavemente ondulado, assentadas predominante em Latossolo amarelo de textura arenosa, ácidos, de baixa fertilidade, e com densidade aparente do solo variando de $1,21 \text{ g cm}^{-3}$ (0-10 cm) a $1,44 \text{ g cm}^{-3}$ (20-40 cm) (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). Tomando como referência a Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da cidade de Boa Vista, os meses mais secos estão situados entre dezembro e março. As médias anuais de precipitação (1600-1700 mm) e temperatura ($27.8 \pm 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$) são compatíveis com o clima de áreas de savana (Aw), segundo a classificação de Köppen (BARBOSA et al., 2012b).

3.2 Desenho amostral

As 34 ilhas de mata existentes na região do PANA I foram mapeadas e categorizadas por dimensão ($k = 3$): grandes (20-60 ha), médias (10-20 ha) e pequenas (≤ 10 ha), como delimitado por Santos, Vale Junior e Barbosa (2013). Cada fragmento foi tratado como uma unidade amostral (N). Quatro diferentes ilhas de cada categoria foram selecionadas aleatoriamente para serem amostradas ($N_{\text{categoria}} = 4$; $N_{\text{total}} = 12$). Em cada ilha foram traçados transectos no sentido norte-sul (três para ilhas grandes e médias, e um ou dois para ilhas pequenas), onde foram conduzidas as tradagens para coleta de solo e raízes em pontos equidistantes ao longo dos transectos. O comprimento dos transectos variou segundo a área de cada ilha (figura 2).

As tradagens foram realizadas por meio de um amostrador específico para raízes do tipo (*Bipartite root auger*) da linha Eijkelkamp, sendo composto por um tubo cilíndrico com 8 cm de diâmetro e comprimento ajustado até 15 cm. Cada coleta foi realizada em um perfil de 0 a 1 m de profundidade dividido em seis intervalos (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 90-100 cm).

Figura 2- Esquema dos transectos e dos pontos de tradagens em que foram feitas as coletas de solo e raízes até a profundidade de 1 metro, considerando a borda “B” e interior “I” de cada ilha de mata (esquema de uma ilha média).



As tradagens foram distintas segundo a “borda” (estabelecido em um ponto fixo situado à 17 m do limite de cada ilha com a savana) ou “interior” (dependente do comprimento da ilha, mas estabelecido sempre entre 100-150 m do limite com a savana). A distância do trecho marginal do fragmento florestal em relação a savana, juntamente com as alterações na composição e abundância das espécies foram os critérios utilizados para diferenciar a “borda” do “interior” de cada ilha. A distância entre os pontos de tradagem variou segundo o comprimento de cada transecto. A quantidade de tradagens (subamostras) em cada ilha variou segundo sua dimensão, totalizando 76 coletas distribuídas pelas 12 ilhas de mata (tabela 1 e Apêndice A).

Tabela 1- Quantidade de subamostras coletadas em cada ilha segundo a borda e o interior, área (ha) e porcentagem da área da borda e do interior de cada ilha.

Dimensão	Nome da Ilha	Borda			Interior		
		No. de tradagens	Área (ha)	Área (%)	No. de tradagens	Área (ha)	Área (%)
Grande	G1	4	17,43	34,59	4	32,85	65,31
	G2	6	18,59	41,60	4	26,1	58,41
	G3	4	24,43	42,69	4	32,8	57,31
	G4	4	11,39	37,22	4	19,21	62,78
	M5	4	7,45	64,27	4	4,14	35,74
Média	M6	2	10,13	64,12	2	5,67	35,89
	M7	4	7,09	60,91	4	4,55	39,08
	M8	2	8,40	69,36	4	3,72	30,68
	P9	2	1,13	41,84	2	1,57	58,19
Pequena	P10	2	1,88	35,66	2	3,40	64,34
	P11	1	0,62	49,91	1	0,63	50,13
	P12	3	2,38	32,56	3	4,93	67,44

3.3 Triagem das raízes

Foram consideradas como raízes apenas os filamentos (vivos e mortos) com diâmetro ≥ 2 mm, visto que abaixo deste limite as raízes são consideradas como parte do solo (baixa lignificação e de difícil identificação) e não devem ser contabilizadas como biomassa de raízes (EGGLESTON et al.,2006). A partir deste critério, as raízes foram triadas⁽¹⁾ manualmente tendo como base o volume de solo extraído de cada intervalo de profundidade para cada uma das ilhas (figura 3). Todos os fragmentos de raízes foram separados por peneiração (peneira de crivo de 2 mm) e classificados por diâmetro: i) finas (2 – 10 mm), ii) médias (10 – 50 mm) e iii) grossas (> 50 mm), seguindo uma adaptação de Snowdon et al. (2001). Após a classificação, as raízes foram lavadas em água corrente para a remoção dos resíduos de solo e secas em estufa a 100 ± 2 °C até atingir o peso constante.

Figura 3- Raízes após a triagem de um perfil de solo (0-1m profundidade), segundo o intervalo de profundidade (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 90-100 cm).



¹ Peças de carvão também foram triadas e resultaram em um outro estudo relacionado ao estoque de carbono de longo prazo nas ilhas de mata (manuscrito preliminar: Apêndice F).

3.4 Análise do solo

O solo coletado no mesmo intervalo de profundidade, borda ou interior e dimensão de cada ilha foi utilizado para compor uma amostra composta independente, gerando seis subamostras para a borda e seis para o interior (divididas segundo a profundidade), para cada ilha. Cada uma destas subamostras de solo composto (~200 g cada) foi levada ao Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Roraima (UFRR), para determinação do pH (H₂O), K⁺¹ (cmol_c dm⁻³), P⁺⁵ (cmol_c dm⁻³) e granulometria (% areia, % silte e % argila). As análises de Ca⁺² (cmol_c dm⁻³), Mg⁺² (cmol_c dm⁻³), Al⁺³ (cmol_c dm⁻³) e matéria orgânica do solo (MOS g Kg⁻¹) foram realizadas no Laboratório de Solos da EMBRAPA Roraima. Todas as análises foram feitas seguindo o protocolo de Análise de Solos da EMBRAPA (2011).

3.5 Análise dos dados

Os dados foram analisados usando os seguintes testes estatísticos:

3.5.1 Estimativa do estoque da biomassa

Toda a massa de raízes coletada pelo método direto e distinta por diâmetro (finas, médias e grossas) e intervalo de profundidade (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 90-100 cm), foi transformada em biomassa, unidade de massa por unidade de área segundo Brown (1997), desprezando o efeito da densidade do solo (*bulk density*). A biomassa foi calculada utilizando a equação 1, onde Ps é o peso seco em gramas (g) das raízes triadas para cada intervalo de profundidade e Ac é a área em metros quadrados (m²) do cilindro do coletor. Após este cálculo a biomassa foi transformada de g m⁻² para Mg ha⁻¹.

$$\text{Biomassa} = \frac{Ps}{Ac} \quad \text{Equação 1}$$

A biomassa das raízes médias e finas dos intervalos entre 50-90 cm de profundidade foi estimada por método indireto devido ao natural comportamento exponencial de decaimento destas categorias em relação à profundidade (JACKSON et al., 1996). A estimativa foi realizada com base

nos dados coletados pelo método direto, gerando regressões univariadas para cada categoria de diâmetro na borda e interior segundo a dimensão da ilha (Apêndice B). Para as raízes grossas não foi possível gerar uma regressão para estimar a biomassa nos intervalos de 50 – 90 cm devido à baixa presença destas raízes nos perfis coletados. A biomassa total ao longo do perfil do solo (de 0-1 m de profundidade) foi estimada com base na soma de todos os intervalos (obtidos diretamente ou por meio da equação da regressão) para cada categoria de diâmetro de raiz na borda e interior, segundo a dimensão das ilhas.

3.5.2 Padrão de distribuição espacial (dimensão e borda-interior)

Testes de normalidade foram realizados em todos os conjuntos de dados (ZAR, 1999). Para estabelecer a diferença espacial da biomassa de raízes (total e por categoria de diâmetro) em função da interação do efeito dos fatores dimensão, borda-interior das ilhas foi utilizada uma ANOVA fatorial ($\alpha = 0,05$), considerando três tratamentos (grande, média e pequena) com quatro repetições por cada bloco (borda-interior).

O efeito da borda ou interior, independente da dimensão da ilha, também foi testado usando um teste t pareado ($\alpha = 0,05$). Para calcular a biomassa média ponderada de raízes de cada ilha foi estimada a fração de área (ha) correspondente à borda e o interior de cada uma delas, assumindo que o limite entre borda-interior é de 50 m para ilhas grandes e médias e 15 m para ilhas pequenas (tabela 1). A razão *root:shoot* foi calculada considerando a biomassa de raízes estimada neste trabalho (*root*) e a biomassa arbórea viva com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm (*shoot*) como estabelecido por Eggleston et al. (2006), para cada categoria dimensional das ilhas (grande, média e pequena) e borda – interior. Para verificar a diferença espacial da razão *root:shoot* em função da interação do efeito dos fatores dimensão e borda-interior das ilhas também foi utilizada uma ANOVA fatorial ($\alpha = 0,05$), considerando três tratamentos (grande, média e pequena) com quatro repetições por cada bloco (borda-interior). O teste t pareado ($\alpha = 0,05$) também foi utilizado para verificar as possíveis diferenças sobre os valores da razão *root:shoot* entre a borda e o interior de cada ilha (independente da dimensão do fragmento). O grau de correlação entre a razão e as variáveis edáficas foi verificado utilizando o coeficiente de correlação de Pearson.

Os dados da biomassa acima do solo foram obtidos pelo inventário florestal desenvolvido como parte do trabalho de dissertação de mestrado de Margarita Maria Almansa Jaramillo

(UFRR/PRONAT) nas mesmas ilhas de mata amostradas para a biomassa de raízes (Jaramillo, M.M.A, comunicação pessoal).

3.5.3 Efeito das variáveis edáficas

Foi utilizada uma regressão linear múltipla considerando 12 unidades amostrais com o objetivo de estabelecer padrões de respostas da biomassa de raízes (variável dependente) em função das características químicas e físicas do solo (variáveis independentes).

O modelo da regressão linear múltipla para a variável resposta (biomassa total de raízes, 0 – 1 m) foi ajustado a partir de variáveis edáficas independentes (textura, fertilidade) obtidas para cada uma das 12 amostras. A análise também foi feita para o total das raízes finas, médias e grossas (0 - 1m) e para a biomassa total de raízes de 0 - 30 cm devido à maior concentração de raízes nessa profundidade, como sugerido por Jackson et al. (1996).

Técnica de *stepwise* foi adotada para selecionar as variáveis edáficas significativas ($p < 0,05$) e utilizadas no ajuste do modelo da regressão linear múltipla. Essas análises foram performadas porque ainda permanece incerto o papel dos fatores edáficos (textura e fertilidade) como controladores da variabilidade da biomassa subterrânea, em especial de em fragmentos florestais de origem natural, devido inexistência de estudos nestes ecossistemas. Por fim, apenas foram considerados os modelos que apresentaram o maior grau de determinação (R^2) considerando o menor número possível de variáveis preditoras. Para determinar a importância de cada variável independente (significativa) sobre a variável dependente, foi calculado o peso relativo de cada uma delas a partir do método *Hierarchical Partitioning* (HP), com os cálculos realizados através do pacote estatístico *hier.part* do programa R (LOGAN, 2010).

3.5.4 Padrão de distribuição vertical

A variação da biomassa total de raízes ao longo do perfil vertical (0 - 1 m de profundidade), independente da borda ou interior e da dimensão das ilhas de mata, foi verificada utilizando uma ANOVA fator único ($\alpha = 0,05$) seguido do teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) quando necessário. A mesma análise foi feita para o total de raízes finas, médias e grossas ao longo do perfil (0 – 1m).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em seguida são apresentados os resultados e discussões da pesquisa de biomassa de raízes em ilhas de mata de savanas de Roraima:

4.1 Resultados

O efeito da dimensão do fragmento, distribuição espacial e variáveis edáficas sobre a biomassa de raízes apresentou os seguintes resultados:

4.1.1 Padrão de distribuição espacial (dimensão e borda-interior)

O valor médio total da biomassa ponderada pela área da borda e interior de cada ilha de mata, por categoria dimensional foi de $38,77 \pm 22,44 \text{ Mg ha}^{-1}$ ($\pm \text{DP}$) no perfil de 0 a 1 m de profundidade. A biomassa total de raízes não foi influenciada pela interação do efeito da dimensão da ilha e da borda-interior (tabela 2), assim como a biomassa das raízes finas ($F_{\text{interação}} = 0,2$; $p_{\text{interação}} = 0,8$), médias ($F_{\text{interação}} = 0,1$; $p_{\text{interação}} = 0,9$) e grossas ($F_{\text{interação}} = 0,6$; $p_{\text{interação}} = 0,5$).

Tabela 2- Biomassa de raízes (Mg ha^{-1}) ponderada pela área da borda ou interior, segundo a dimensão das ilhas de mata amostradas na savana de Roraima, Amazônia brasileira

Borda - Interior	Média ponderada por dimensão (Mg ha^{-1})			Média ponderada total (Mg ha^{-1})	DP
	Grande	Média	Pequena		
Borda	30,95	49,73	51,04	37,64	19,59
Interior	20,23	28,48	46,54	23,28	24,43
Média ponderada total	26,03	41,28	49,00	38,77	22,44

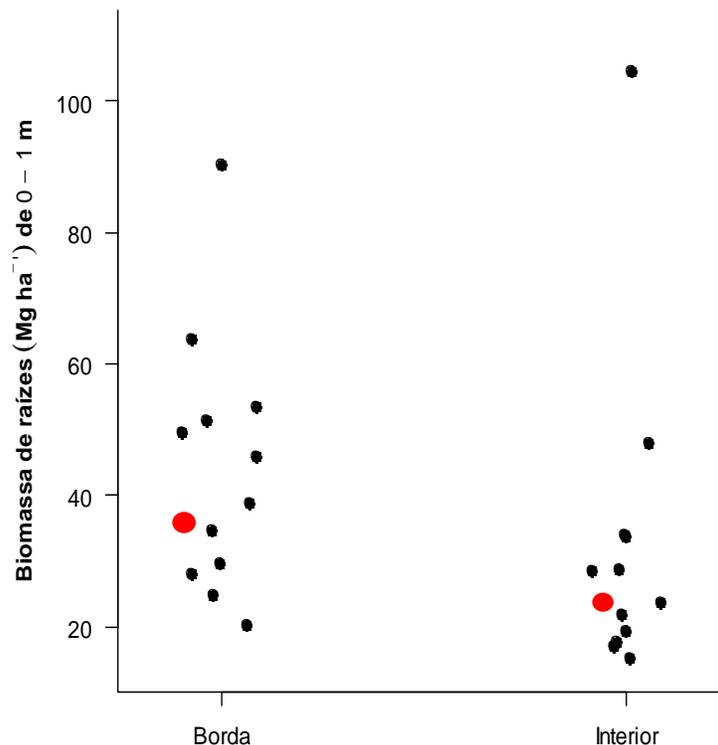
$F_{\text{interação}} = 0,4$; $p_{\text{interação}} = 0,7$

DP: desvio padrão correspondente aos valores individuais de cada ilha amostrada, segundo a borda ou interior.

A análise dos dados sem a interação dos fatores dimensão e borda-interior, indicou que a biomassa total de raízes também não foi influenciada pela dimensão das ilhas. No entanto, a biomassa de raízes da borda ($37,64 \pm 19,59 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi significativamente maior que no interior ($23,28 \pm 24,43 \text{ Mg ha}^{-1}$) das ilhas de mata (t_{pareado} ; $p = 0,007$). Os pontos com biomassa $>80 \text{ Mg ha}^{-1}$ (e.g. ilha P9) na borda e/ou no interior foram associados a maior presença de raízes grossas e, portanto, considerados como “outliers”. No entanto esses valores não foram excluídos das análises (figura 4).

O total da biomassa de raízes (0 - 30 cm de profundidade) também mostrou o mesmo comportamento, não sendo registradas diferenças quanto à dimensão da ilha, mas apenas quanto a borda-interior, sendo a biomassa na borda ($20,69 \pm 13,48 \text{ Mg ha}^{-1}$) maior que a do interior ($13,24 \pm 7,19 \text{ Mg ha}^{-1}$), t_{pareado} ; $p = 0,01$.

Figura 4- Biomassa total de raízes (Mg ha^{-1}) segundo a borda e o interior para as ilhas de mata dispersas na savana de Roraima. Os pontos pretos representam os valores da biomassa e os vermelhos os valores médios para a borda e o interior.



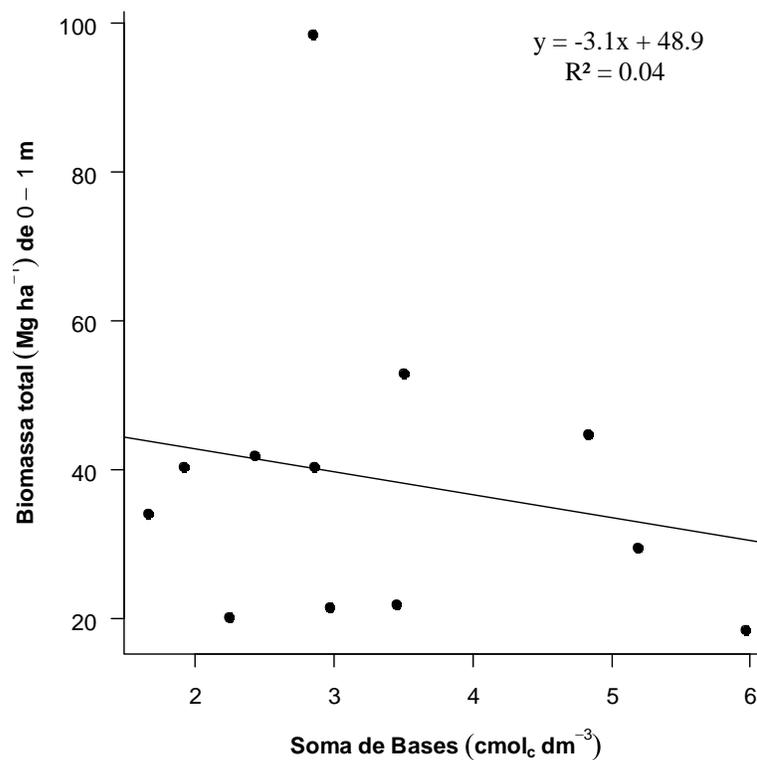
4.1.2 Variáveis edáficas e a biomassa de raízes

Os resultados das análises químicas e físicas do solo mostraram que as ilhas de mata estão distribuídas sobre solos com características muito semelhantes (Apêndice C, D e E), indicando que as variáveis edáficas explicam parcialmente o total da biomassa de raízes e suas categorias (finas, médias e grossas).

A análise *stepwise* utilizada junto à análise de regressão linear múltipla indicou que argila, SB ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+1}$), MOS e pH explicam, em conjunto, 50% ($R^2 = 0,2$) da variabilidade da biomassa total de raízes (0 - 1m de profundidade). O modelo indicou que a variável independente mais significativa na distribuição da biomassa de raízes foi a SB ($p = 0,04$). O método do HP

indicou o peso relativo das variáveis independentes do modelo, mostrando que SB (42,1%) é o fator mais associado à variação do total da biomassa de raízes (0 - 1m de profundidade) entre as ilhas. O uso exclusivo da SB como variável independente preditora do total da biomassa de raízes (0 - 1 m) indicou uma relação fraca ($R^2 = 0,04$), no entanto, as demais variáveis do modelo registraram relações ainda mais fracas, com $R^2 < 0,02$ (figura 5). A análise para o total da biomassa de raízes nas categorias (finas, médias e grossas) não apresentou resultados significativos ($p < 0,05$).

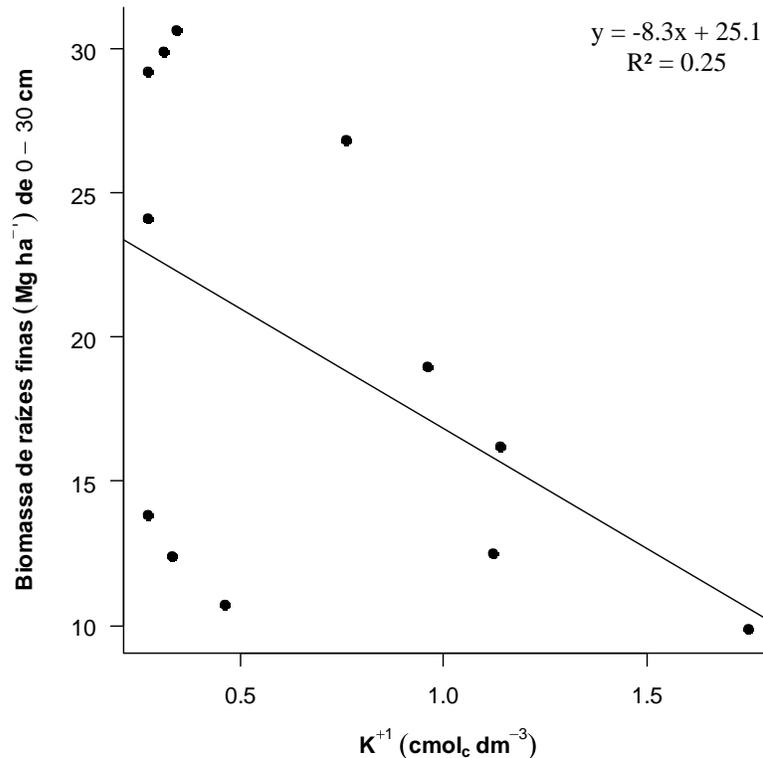
Figura 5- Relação entre biomassa de raízes total em Mg ha^{-1} (0-1m de profundidade) e Soma de Bases em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+1}$).



A análise na camada de 0 - 30 cm de profundidade indicou que as raízes finas foram significativamente sensíveis a alguns nutrientes do solo. O modelo ajustado com as variáveis da análise *stepwise* (MOS, K^{+1} e P^{+5}) para a categoria de raízes finas explicou 62% ($R^2 = 0,5$) da variabilidade neste estoque, sendo o K^{+1} a variável mais significativa ($p = 0,01$) dentro do modelo. O método do HP indicou que o K^{+1} (53,5 %) é o atributo químico mais associado à variação da biomassa de raízes finas de 0 - 30 cm de profundidade. Utilizando exclusivamente a variável

independente mais significativa do modelo (K^{+1}) em função do total da biomassa de raízes finas (0 - 30 cm de profundidade) também foi registrada uma relação fraca com $R^2 = 0,25$ (figura 6).

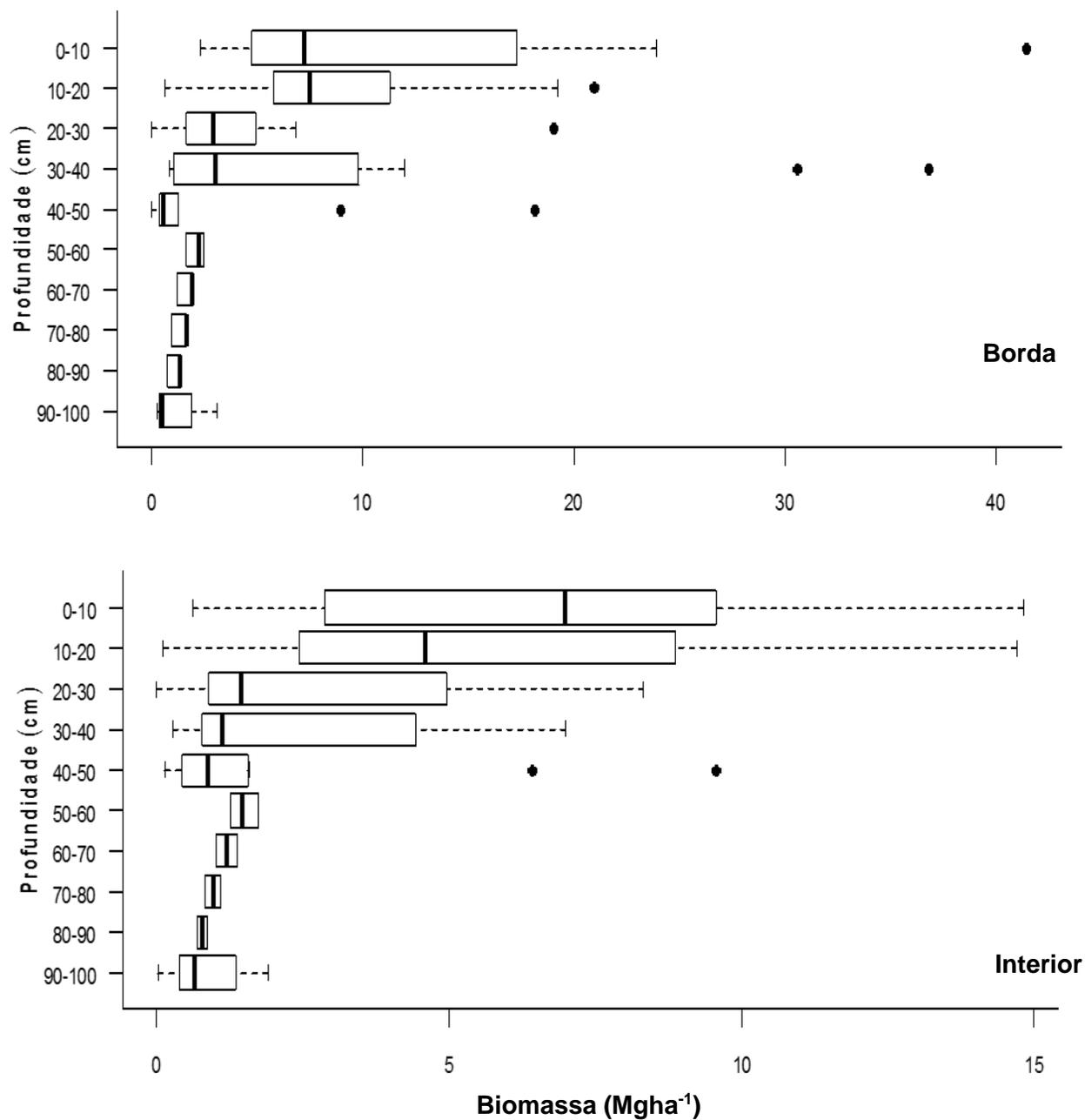
Figura 6- Relação entre biomassa raízes em $Mg\ ha^{-1}$ (0-30 cm de profundidade) e K^{+1} em $cmol_c\ dm^{-3}$.



4.1.3 Padrão de distribuição vertical da biomassa de raízes

Biomassa de raízes ao longo do perfil vertical foi distinta entre os intervalos, indicando que a profundidade influencia direta e inversamente a biomassa de raízes na borda (ANOVA, $p = 0,00005$) e no interior (ANOVA, $p = 0,000003$) das ilhas de mata. A distribuição da biomassa ao longo do perfil sugeriu um comportamento exponencial decrescente com a maior concentração da biomassa nos primeiros intervalos (0 - 30 cm) tanto para borda (59,7%) quanto para o interior (63,1%) independente da dimensão das ilhas de mata (figura 7). A maior presença de raízes grossas (9.2 %) foi registrada na borda das ilhas de mata a 30 cm de profundidade.

Figura 7- Distribuição vertical da biomassa de raízes (Mg ha^{-1}) para a borda e interior das ilhas de mata dispersas na savana de Roraima, norte da Amazônia brasileira.



O box-plot indica o valor da mediana, o primeiro e o terceiro quartis, e as barras o valor máximo e mínimo para cada intervalo de profundidade. Os pontos representam os outliers. O outlier do intervalo 30-40 cm do interior ($176,99 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi retirado apenas para a construção do gráfico, mas mantido nas análises de estoque.

Raízes com diâmetro entre 10 – 50 mm (médias) dominaram a distribuição da biomassa ao longo do perfil vertical (0 - 1m) e contribuíram com 49,6% do total da estimativa de biomassa radicular (tabela 3). Raízes com diâmetro 2 – 10 mm (finas) representaram 31,6% do total da biomassa, enquanto que raízes grossas (50 – 100 mm) ocorreram com baixa frequência e representaram apenas 18,8% do total da biomassa.

Tabela 3- Distribuição da biomassa de raízes (valores médios) segundo a categoria de diâmetro por intervalo de profundidade (Mg ha⁻¹ ± dp).

Profundidade (cm)	Raízes finas (2-10 mm) Mg ha ⁻¹	Raízes médias (10-50 mm) Mg ha ⁻¹	Raízes grossas (50-100 mm) Mg ha ⁻¹
0-10	3,29 ± 1,30 a	4,45 ± 4,19 a	1,65 ± 5,73 a
10-20	2,36 ± 0,70 b	5,12 ± 4,10 a	0,00 ± 0,00 a
20-30	1,11 ± 0,82 c	1,97 ± 2,13 ab	0,68 ± 2,34 a
30-40	1,12 ± 0,60 c	3,16 ± 5,45 ab	4,85 ± 11,80 a
40-50	0,66 ± 0,36 c	1,49 ± 2,19 ab	-
50_60	0,90 ± 0,13 c	0,88 ± 0,10 ab	-
60_70	0,76 ± 0,12 c	0,68 ± 0,07 b	-
70_80	0,64 ± 0,11 c	0,64 ± 0,07 b	-
80_90	0,54 ± 0,10 c	0,41 ± 0,07 b	-
90-100	0,74 ± 0,54 c	0,22 ± 0,39 b	0,02 ± 0,06 a

Valores seguidos da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente semelhantes, teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

4.1.4 Razão Root:shoot

O valor médio da razão *root:shoot* para borda e interior, por categoria dimensional nas ilhas amostradas foi de $0,40 \pm 0,28$ (0 a 1 m de profundidade). A razão não foi influenciada pela interação do efeito da dimensão ou da borda - interior das ilhas (tabela 4). O resultado da análise, independente da dimensão, indicou que a razão também não diferiu entre a borda e o interior (t_{pareado} ; $p = 0,11$). O grau de correlação entre a razão e as variáveis edáficas foi significativo unicamente para o silte ($r = -0,51$) e biomassa acima do solo ($r = -0,54$), e fraca para areia ($r = 0,3$), no entanto para as outras características químicas e físicas do solo as correlações foram ainda mais fracas ($r < 0,3$).

Tabela 4- Razão *root:shoot* para as ilhas grandes, médias e pequenas segundo a borda e o interior, dispersas na savana de Roraima, norte da Amazônia brasileira.

Dimensão	Borda - Interior		Total
	Borda	Interior	
Grande	0,31 ± 0,12	0,23 ± 0,14	0,27 ± 0,13
Média	0,52 ± 0,32	0,33 ± 0,25	0,43 ± 0,28
Pequena	0,48 ± 0,20	0,51 ± 0,44	0,50 ± 0,32
Total	0,44 ± 0,23	0,36 ± 0,30	0,40 ± 0,28

$F_{\text{interação}} = 0,3; p_{\text{interação}} = 0,7$

4.2 Discussão

A discussão correspondente a cada resultado da biomassa de raízes sob os efeitos da dimensão do fragmentos, distribuição espacial e variáveis edáficas é a seguinte:

4.2.1 Padrão de distribuição espacial (dimensão e borda-interior)

O resultado obtido para a biomassa total de raízes nas ilhas de mata dispersas na savana de Roraima, se aproxima dos valores observados em outras regiões da Amazônia, como os de Klinge (1973) para florestas de terra firme no estado do Amazonas (40 Mg ha⁻¹) e de Thompson et al. (1992) para as florestas ombrófilas na ilha de Maracá, Roraima (42,4 Mg ha⁻¹). Embora esses estudos também tenham feito a amostragem de 0 - 1m de profundidade, o cálculo da estimativa da biomassa foi realizado com o uso das raízes com diâmetro < 2 mm, indicando que os valores do Amazonas e de Maracá estão inflados e que a comparação com este estudo pode não estar refletindo uma real proximidade no total de biomassa de raízes no perfil de 1 m de profundidade.

De forma geral, a biomassa média de raízes observada em todas as unidades amostrais não diferiu entre as dimensões das ilhas indicando que o efeito do tamanho do fragmento foi nulo e não determinante para as ilhas de mata observadas na savana de Roraima. Essa constatação é contrária ao esperado, assumindo que fragmentos com maior dimensão apresentariam maior biomassa em relação aos de menor dimensão, como sugerido por Laurance et al. (1997) para fragmentos antropogênicos. Assim, o efeito da dimensão do fragmento parece ser minimizado pela homogeneidade das variáveis edáficas entre as ilhas de mata amostradas para qualquer dimensão.

Embora outros autores também tenham registrado que a biomassa de raízes não varia conforme a dimensão do fragmento, e.g. Lima et al. (2011) em fragmentos florestais da Mata

Atlântica situados na baixada litorânea fluminense, a quase inexistente informação da variação da biomassa de raízes sobre fragmentos florestais sugere que os estudos devam ser ampliados para novas localidades e em um maior número de ilhas com o intuito de reduzir as incertezas devido a uma maior amostragem da variabilidade espacial da biomassa de raízes contidas nestes fragmentos florestais sazonais em áreas de savana.

O total da biomassa de 0 - 1m e 0 - 30 cm de profundidade foi maior na borda do que no interior. A causa mais provável para explicar essa distinção pode estar associada às perturbações antropogênicas e à interação entre a ilha e o seu entorno como, por exemplo, a alta frequência de fogos afetando diferentemente a estrutura e a composição florística na borda e no interior dos fragmentos florestais. No caso específico das ilhas de mata da savana de Roraima, estudos recentes indicaram que elas são afetadas pela ação do fogo, sendo essa perturbação muito comum a todas as ilhas (SANTOS; VALE JUNIOR; BARBOSA, 2013). Como a ocorrência de fogo na savana é comum, as bordas das ilhas são severamente afetadas pelos fogos. Assim, a maior alocação da biomassa de raízes na borda seria uma estratégia para tolerar a alta incidência de fogos, facilitando o acesso a água no solo seco e permitindo a rápida recuperação das árvores após um evento de fogo (CASTRO; KAUFFMAN, 1998; DURIGAN; MELO; BREWER, 2012; KOZLOWSKI; PALLARDY, 2002).

A borda das ilhas de mata é um ambiente propício a colonização de espécies típicas de savana, como registrado no inventário florestal desenvolvido na mesma área de estudo (Jaramillo, M. M. A., comunicação pessoal). Essas árvores, caracterizadas pela alta resistência ao fogo (típicas de savana), agem como uma barreira, dificultando que o fogo atinja o interior do fragmento (BIDDULPH; KELLMAN, 1998; MEIR; PENNINGTON, 2011). Dependendo da intensidade do impacto, a borda seria uma barreira permeável a qual ocasionaria degradação crescente pela mortalidade das árvores, considerando que a maioria das espécies do interior não são adaptadas ao fogo (RODRIGUES; NASCIMENTO, 2006). Outro impacto que contribui para a diminuição da biomassa de raízes no interior é a extração seletiva de árvores (VIANNA; FEARNESIDE, 2014). No caso das ilhas de mata esse impacto tem sido registrado para árvores de maior porte, geralmente localizados no interior do fragmento (SANTOS; VALE JUNIOR; BARBOSA, 2013), o que também pode colaborar para a redução da biomassa de raízes no interior. Assim, essas interações sinérgicas de exploração madeireira e a frequência dos fogos tem o potencial de acelerar a perda da biomassa nestes fragmentos (COCHRANE; LAURANCE, 2002).

4.2.2 Variáveis edáficas e a biomassa de raízes

Os resultados das propriedades químicas e físicas aqui registradas são similares aos valores apresentados por Vale Júnior e Schaefer (2010) para as ilhas de mata da mesma região de estudo. A composição física e química dos solos foi muito semelhante entre a borda e o interior.

O efeito das variáveis edáficas sobre a variável resposta indicou que o total da biomassa de raízes está associada a alguns fatores químicos e físicos do solo (Argila, SB, MOS e pH) descritos como fatores controladores na alocação da biomassa de raízes (SCHENK; JACKSON, 2002b). A SB foi a variável mais significativa dentro desses fatores, indicando que a relação causal desta variável no total da biomassa de raízes (0 - 1 m) sugere uma tendência negativa às altas concentrações desse fator. Consequentemente maiores estoques de biomassa de raízes podem ser esperados em solos menos férteis. O comportamento aqui registrado está de acordo com a teoria de alocação de Bloom, Chapin e Mooney (1985), sugerindo que árvores plenamente estabelecidas irão investir mais energia na produção de raízes em solos menos férteis, da mesma forma como sugerido por Brassard, Chen e Bergeron (2009) e Vitousek e Sandford (1986).

Embora fraca a relação, os maiores estoques de biomassa de raízes finas (0 - 30 cm, intervalo de profundidade com maior alocação de biomassa) estariam relacionados às baixas concentrações de K^{+1} no solo. A translocação é a principal via de transferência de K^{+1} ao solo, este íon é propenso a perda por lixiviação (VITOUSEK; SANDFORD, 1986), logo, a maior quantidade de raízes estaria associada a maximizar a aquisição deste nutriente de tão fácil perda nestes solos com textura predominantemente arenosa. Variações semelhantes na biomassa de raízes finas em função desse nutriente foram observadas previamente por Wright et al. (2011) e Yavitt et al. (2011). Embora as relações entre as variáveis edáficas e a biomassa sejam fracas, estas sugerem que a biomassa tende a diminuir em resposta ao incremento na fertilidade do solo ou do nutriente mais limitante.

4.2.3 Padrão de distribuição vertical da biomassa de raízes

As mais altas concentrações de raízes foram restritas as camadas superiores do solo, com a maioria das raízes ocorrendo nos primeiros 30 cm de profundidade. Assim, o padrão de distribuição das raízes ao longo do perfil do solo para as ilhas de todas as dimensões, tanto na borda quanto no interior, foi tipicamente exponencial, decrescendo em função do aumento da profundidade, sendo

esse um padrão global para os ecossistemas terrestres com vegetação florestal (JACKSON et al., 1996; SCHENK; JACKSON, 2002b).

A maior presença de raízes grossas na borda (9.2%) do que o interior (0 %) a 30 cm de profundidade seria uma estratégia por parte da vegetação na alocação de raízes em função das necessidades (maior captação de água no solo seco) na borda dos fragmentos (SCHENK; JACKSON, 2002b), devido a ocorrência de temperaturas mais altas no solo nessa área como resultado da sensibilidade da borda à frequência dos fogos.

Os resultados sugerem que as ilhas de mata apresentam perfis profundos de enraizamento com 8,4% do total da biomassa de raízes alocada entre 70-100 cm de profundidade, composta principalmente por raízes finas. Como essas ilhas de mata são formações florestais sazonais as raízes finas das camadas mais profundas do solo são menos envolvidas na aquisição de nutrientes, mas importantes para a captação de água como sugerido por Brassard, Chen e Bergeron (2009).

Considerando que as raízes com diâmetro > 10 mm apresentam maior estoque de carbono em comparação às finas (GIFFORD, 2000), é sugerido que as ilhas de mata possuam um alto potencial de armazenamento de carbono abaixo do solo devido à maior presença de raízes médias, representando ~50% do total da biomassa ao longo do perfil vertical. Embora fosse registrada a presença de raízes grossas (> 50 mm), o método utilizado neste estudo não foi eficaz para captar a variação desta categoria de raízes ao longo do perfil do solo, sugerindo que o uso de outras técnicas estimadoras de raízes grossas (e da coroa da raiz, que geralmente é desconsiderada nas estimativas da biomassa de raízes) deva ser empregado com o intuito de gerar estimativas de expansão (e.g. *root:shoot*) mais robustas (VADEBONCOEUR; HAMBURG; YANI, 2007).

4.2.4 Razão Root:shoot

As primeiras estimativas da razão *root:shoot* (0-1m de profundidade) para ilhas de mata (formações de floresta sazonal) distribuídas em Latossolos amarelos são apresentadas neste estudo, indicando que o valor médio de $0,40 \pm 0,28$ está dentro daqueles relatados por Eggleston et al. (2006) e por Mokany, Raison e Prokushkinz (2006) para o domínio climático tropical. Os valores aqui apresentados também estão próximos dos valores estimados para a floresta tropical decidual seca (0,42) por Castellanos, Maass e Kummerow (1991) e para a floresta tropical decidual (0,34) por Jackson et al. (1996).

Os fatores utilizados para estimar a biomassa de raízes não tiveram influência significativa na razão *root:shoot* (0 - 1m de profundidade), sugerindo padrões diferentes na alocação da biomassa acima do solo. Como registrado nos estudos de Abdala et al. (1998) e Litton et al. (2003), a razão foi negativamente correlacionada à biomassa arbórea, como consequência do acúmulo da biomassa acima do solo, especialmente no fuste das árvores. O resultado de que a textura do solo é preditora da razão *root:shoot* também foi estabelecido no estudo de Vitousek e Sanford (1986). Assim o incremento desta razão em solos com maiores porcentagens de areia indica a baixa capacidade na retenção de água desse tipo de solos, confirmando o estabelecido por Mokany, Raison e Prokushkinz (2006) de que o incremento na condição seca do solo deixa maior alocação de carbono.

Uma das limitantes do presente estudo foi a falta de informação sobre as raízes grossas (> 50 mm) e a raiz da coroa, limitando o entendimento da relação *root:shoot* com os fatores controladores utilizados para estimar a biomassa de raízes. Embora o valor do fator de expansão aqui registrado esteja dentro dos valores relatados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), a não inclusão da raiz da coroa nas estimativas diminui o grau de determinação da biomassa de raízes através deste método indireto, embora esse grau de determinação não tenha sido testado neste estudo.

Considerando que a quantificação da biomassa de raízes envolve muitas dificuldades metodológicas em qualquer tipo de ecossistema, o uso do fator de expansão (*root:shoot*) na estimativa da biomassa abaixo do solo deve continuar a ser uma das metodologias mais usadas pelos países nos inventários de gases de efeito estufa (CAIRNS et al., 1997). Assim, o fator de expansão aqui apresentado deve ser considerado para estimar a biomassa abaixo do solo em ecossistemas florestais sazonais de zonas de contato savana-floresta, com o intuito de disponibilizar mais estimativas aos inventários nacionais de gases de efeito estufa e reduzir as incertezas sobre eles.

4.3 Potencial de armazenamento dos fragmentos florestais

A extensão dos remanescentes não florestais (savanas, savanas estépicas, etc) do bioma Amazônia é de 198.447,60 km² (SANTOS et al., 2007). Assumindo a área total dos fragmentos florestais dispersos nessa área em 59.543,28 km² (30% como na savana de Roraima) e o conteúdo

de carbono nas raízes com 50%, o potencial de armazenamento de carbono nessas formações florestais é estimado em 0,115 Pg C na biomassa de raízes (0 - 1 m profundidade). Esse valor representaria 0,20% do estoque total de carbono estimado por Nogueira et al. (2015) para a Amazônia brasileira em 2013. Os resultados obtidos não podem ser comparados aos valores reportados na segunda comunicação do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas, pois esta não incluiu estimativas de sistemas florestais sazonais fragmentados em savanas amazônicas. Contudo, embora essas formações florestais possuam um estoque de carbono baixo em relação à toda a Amazônia, não há como desconsiderá-lo desprezando sua inclusão nos relatórios oficiais do Brasil, visto que acabam representando um estoque de carbono não contabilizado (carbono perdido) pelo Inventário Nacional.

Por fim, as ilhas de mata (fragmentos naturais de florestas sazonais) dispersas sobre a grande área de savana de Roraima, tem seus valores de serviços ambientais cada vez mais reduzidos devido a exploração de seus recursos pela população humana alocada nesta ecorregião, potencializando a perda do carbono armazenado tanto abaixo quanto acima do solo. Estudos recentes sobre contabilização de perda de carbono sugerem que a Amazônia registra a maior perda por fragmentação (PUTZ et al., 2014). Embora essa contabilização seja restrita aos fragmentos gerados pelo desmatamento, a perda de carbono nas ilhas de mata desencadeada por processos antrópicos acentua ainda mais esses valores registrados, caso fossem inclusas nessas estimativas. A Amazônia é um dos lugares que sofrerão os impactos mais graves do aquecimento global caso a perda do carbono estocado na biomassa continue sem controle (FEARNSIDE, 2009). Assim, é necessário que sejam desenvolvidos planos de proteção ambiental e aplicadas propostas que possam fornecer incentivos financeiros (e.g. REDD) para que estes fragmentos de florestas sazonais sejam protegidos da degradação antrópica e assim potencializem seus serviços ambientais (e.g. armazenando carbono) com o intuito de diminuir os impactos do aquecimento global.

5 CONCLUSÃO

A biomassa de raízes em ilhas de mata (fragmentos florestais) dispersos na savana de Roraima não é afetada pela dimensão dos fragmentos, mas é distinta entre a borda e o interior das ilhas. É sugerido que diferenças na estrutura e composição florística da borda-interior sejam os fatores atuantes nesta distinção, embora não tenham sido testados neste estudo.

A biomassa de raízes das ilhas de mata dispersas na savana de Roraima, tende a diminuir em resposta ao incremento na fertilidade do solo ou do nutriente mais limitante.

A distribuição vertical da biomassa de raízes indicou um padrão exponencial decrescente com o aumento da profundidade para as ilhas de qualquer dimensão tanto na borda quanto o interior, da mesma forma como na maioria dos estudos de biomassa subterrânea delimitados nas zonas temperadas e tropicais. A maior presença de raízes grossas nos primeiros intervalos de profundidade na borda em comparação ao interior é indicativa da necessidade da captação de água pela vegetação dessa zona de profundidade, sendo consequência do incremento nas temperaturas da borda pela sensibilidade dessa área à frequência dos fogos.

O valor do fator de expansão (*root:shoot*) apresentado neste solo com textura média e baixa fertilidade (Latosolo amarelo) está estabelecido na faixa de valores reportados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para o domínio climático tropical, sugerindo que o uso deste fator de expansão é apropriado para as áreas com características semelhantes às deste estudo, podendo ser adotado como alternativa de melhoria e ajuste dos valores de biomassa subterrânea apresentados no Inventário Nacional.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, G. C. et al. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 11-23, sem mês. 1998.
- BARBOSA, R. I. et al. Reproductive phenology of the main tree species in the Roraima Savanna, Brazilian Amazon. **Ecotropica**, Frankfurt, v. 18, n. 2, p. 81-92, dec. 2012b.
- BARBOSA, R. I. et al. Root biomass, root: shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. **Australian Journal of Botany**, Collingwood, v. 60, n. 5, p. 405-416, jul. 2012a.
- BARBOSA, R. I. et al. The “Lavrados” of Roraima: biodiversity and conservation of Brazil’s Amazonian Savannas. **Functional Ecosystems and Communities**, Miki, v. 1, n. 1, p. 29-41, apr. 2007.
- BARBOSA, R. I.; FEARNSTIDE, P. M. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, n. 2, p. 371-384, jan. 2005.
- BARBOSA, R. I.; KEIZER, E.; PINTO, F. Ecosistemas terrestres de Roraima: Área e modelagem espacial da biomassa. In: BARBOSA, R. I.; MELO, V. F. **Roraima: Homem, Ambiente e Ecologia**. Boa Vista: FEMACT, 2010. p. 347 – 368.
- BIDDULPH, J.; KELLMAN, M. Fuels and fire at savanna-gallery forest boundaries in southeastern Venezuela. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 14, n. 4, p. 445-461, jul. 1998.
- BLOOM, A. J.; CHAPIN, F. S.; MOONEY, H. A. Resource Limitation in Plants-an Economic Analogy. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 16, p. 363-392, sem mês. 1985.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. 280 p.
- BRASSARD, B. W.; CHEN, H. Y. H.; BERGERON, Y. Influence of Environmental Variability on Root Dynamics in Northern Forests. **Critical Reviews in Plant Science**, Florence, v. 28, n. 3, p. 179-197, apr. 2009.
- BROWN, S. **Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997. 37 p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>. Acesso em: jun 2014.
- CAIRNS, A. M. et al. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, New York, v. 111, n. 1, p. 1-11, jan. 1997.

- CASTELLANOS, J.; MAASS, M.; KUMMEROW, J. Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 131, n. 2, p. 225-228, mar. 1991.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 14, n. 3, p. 263-283, may.1998.
- COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 18, n. 3, p. 311-325, mar. 2002.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; BREWER, J. S. The root to shoot ratio of trees from open- and closed-canopy cerrado in south-eastern Brazil. **Plant Ecology & Diversity**, Abingdon, v. 5, n. 3, p. 333-343, sep. 2012.
- EGGLESTON, S. et al (Ed). **Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 4. ed. Kanagawa: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. 590 p. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: jun 2013.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 229 p.
- ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological Monographs**, Washington, v. 77, n. 3, p. 377-404, aug. 2007.
- FEARNSIDE, P. M. Global warming in Amazonia: Impacts and Mitigation. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 1003-1012, sem mês. 2009.
- FEARNSIDE, P. M. Serviços ambientais provenientes de florestas intactas, degradadas e secundárias na Amazônia brasileira. In: PERES, C. A. **Conservação da Biodiversidade em Paisagens Antropizadas do Brasil**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 2013. p. 26-57.
- GIBBS, H. K. et al. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 2, n. 4, p. 1-13, oct./dec. 2007.
- GIFFORD, M. R. Carbon Content of Woody Roots. **National Carbon Accounting System Technical**, Canberra, v. 1, n. 7, p. 1-10, oct. 2000.
- HUBER, O. et al. Flora and vegetation of the Venezuelan Llanos: a review. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. p. 95-120.
- JACKSON, B. R. et al. A global analysis of root distribution for terrestrial biomes. **Oecologia**, New York, v. 108, n. 3, p. 389-411, jul. 1996.

JACKSON, B. R. et al. Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 10, n. 2, p. 470-483, apr. 2000.

JACKSON, B. R.; MOONEY, A. H.; SCHULZE, D. E. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Science**, Washington, v. 94, n. 14, p. 7362-7366, jul. 1997.

KLINGE, H. Root mass estimation in lowland tropical rain forest of central Amazonia, Brazil. I. Fines root masses of pale yellow latosol and giant humus podzol. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 14, n. 1, p. 29-38, apr. 1973.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. C. Acclimation and Adaptive Responses of Woody Plants to Environmental Stresses. **The New York Botanical Garden**, New York, v. 68, n. 2, p. 270-334, sep. 2002.

LAURANCE, W. F. et al. Biomass Collapse in Amazonian Forest Fragments. **Science**, New York, v. 278, n. 5340, p. 1117-1118, nov. 1997.

LAURANCE, W. F. et al. Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. **Ecology**, Washington, v. 87, n. 2, p. 469-482, feb. 2006.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 434-451, set. 2009.

LIMA, J. A. S. et al. Biomassa radicular fina em fragmentos da mata atlântica fluminense. **FLORESTA**, Curitiba, v. 41, n. 1, p.27-38, jan./mar. 2011.

LIMA, N. J. A. et al. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 227, n. 1, p.163-172, aug. 2012.

LITTON, C. M. et al. Belowground and aboveground biomass in young postfire lodgepole pine forests of contrasting tree density. **Canadian Journal of Forest**, Ottawa, v. 33, n. 2, p. 351-363, feb. 2003.

LOGAN, M. **Biostatistical Design and Analysis Using R**. Singapore: A John Wiley & Sons, 2010. 577p.

LUIZÃO, J. F. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 31-36, set. 2007.

MEIR, P.; PENNINGTON, R. T. Climatic change and seasonally dry tropical forest. In: DIRZO, R. et al. **Seasonally Dry Tropical Forest: Ecology and Conservation**, Washington: Island Press, 2011. p. 279-299.

- MOKANY, K.; RAISON, J. R.; PROKUSHKINZ, S. A. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 12, n. 1, p. 84-96, may 2006.
- NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. Biomass dynamics in amazonian forest fragments. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 4, n. 4, p. S127-S138, ago. 2004.
- NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 183-192, jun. 2006.
- NEPSTAD, C. D. et al. The role of deep roots in the hydrological and carbón cycles of Amazonian forest and pastures. **NATURE**, London, v. 372, p. 666-669, dec. 1994.
- NOGUEIRA, E. M. et al. Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 21, n. 3, p. 1271-1292, mar. 2015.
- OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Profound impoverishment of the large-tree stand in a hyper-fragmented landscape of the Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 11, p. 1910-1917, nov. 2008.
- PINHEIRO, M. H. O.; MONTEIRO, R. Contribution to the discussions on the origin of the Cerrado biome: Brazilian savanna. **Brazilian Journal of Biology**, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 95-102, feb. 2010.
- PUTZ, S. et al. Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests. **Nature Communication**, London, v. 5, n. 5037, p. 1-8, oct. 2014.
- RODRIGUES, P. J. F. P.; NASCIMENTO, M. T. Fragmentação florestal: breves considerações teóricas sobre efeitos de borda. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 1, p. 63-74, jan. 2006.
- SANTOS, C. P. F. et al. Mapeamento dos Remanescentes e Ocupação Antrópica no Bioma Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6941-6948.
- SANTOS, N. M. C.; VALE JÚNIOR, J. F.; BARBOSA, R. I. Florística e estrutura arbórea de ilhas de mata em áreas de savana do norte da Amazônia brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, v. 8, n. 2, p. 205-221, mai./ago. 2013.
- SCHENK, J. H.; JACKSON, B. R. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/ above-groundal lometrieso f plantsi n water-limited ecosystems. **Journal of Ecology**, Hoboken, v. 90, n. 3, p. 480-494, may. 2002b.
- SCHENK, J. H.; JACKSON, B. R. The global biogeography of roots. **Ecological Monographs**, Washington, v. 72, n. 3, p. 311-328, aug. 2002a.
- SILVER, W. et al. Effect of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, New York, v. 3, n. 2, p. 193-209, mar. 2000.

SNOWDON, P. et al. Protocol for sampling tree and stand biomass. **National Carbon Accounting System Technical**, Canberra, v. 3, n. 31, p. 1-112, mar. 2001.

THOMPSON, J. et al. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maraca Island, Roraima, Brazil. I. Physical environment, forest structure and leaf chemistry. **Journal of Ecology**, Hoboken, v. 80, n. 4, p. 689-703, dec. 1992.

VADEBONCOEUR, A. M.; HAMBURG, S. P.; YANAI, D. R. Validation and refinement of allometric equations for roots of northern hardwoods. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 37, n. 9, p. 1777-1783, sep. 2007.

VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos sob savana de Roraima: gênese, classificação e relações ambientais**. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. 219 p.

VIANNA, A. L. M.; FEARNSIDE, P. M. Impact of Community Forest Management on Biomass Carbon Stocks in the Uatumã Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, Florence, v. 33, n. 2, p. 127-151, jan. 2014.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 137-167, nov. 1986.

VOGT, A. K.; VOGT, J. D.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 2000, n. 1, p. 71-89, nov. 1998.

WRIGHT, S. J. et al. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest. **Ecology**, Washington, v. 92, n. 8, p. 1616-1625, aug. 2011.

YAVITT, J. V. et al. Soil fertility and fine root dynamics in response to 4 years of nutrient (N, P, K) fertilization in a lowland tropical moist forest, Panama. **Austral Ecology**, Hoboken, v. 36, n. 4, p. 433-445, jun. 2011.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1999, 663 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Localização geográfica dos 76 perfis do solo coletados.

Dimensão	Nome da Ilha ⁽²⁾	Área (ha) da ilha	Borda - Interior	Transecto	Parcela	Latitude N	Longitude W	
Grande	G1(FID14-G6)	50,282	Borda	1	1	3,090622	-60,927288	
				1	4	3,095534	-60,929149	
				2	1	3,093029	-60,925746	
				2	4	3,09623	-60,926272	
			Interior	1	2	3,092131	-60,927909	
				1	3	3,093867	-60,928493	
				2	2	3,093861	-60,925866	
				2	3	3,095192	-60,925998	
				Borda	1	1	3,096673	-60,825411
					1	3	3,10145	-60,825853
2	1	3,097393	-60,824094					
2	3	3,101212	-60,825026					
3	1	3,095852	-60,826873					
3	2	3,100099	-60,828597					
Grande	G2(FID3-IF1)	44,685	Interior	1	2	3,098304	-60,825448	
				1	4	3,100176	-60,826092	
				2	2	3,098671	-60,824334	
				2	4	3,100053	-60,824683	
			Borda	2	1	3,129679	-60,85301	
				2	2	3,131155	-60,853009	
				3	1	3,131154	-60,849062	
				3	4	3,13598	-60,850457	
				Interior	1	1	3,12669	-60,856201
					1	2	3,128079	-60,855707
				3	2	3,13255	-60,849579	

				3	3	3,134487	-60,850127
				1	1	3,116803	-60,869439
				2	1	3,117455	-60,870621
			Borda	3	1	3,11693	-60,873127
				4	1	3,11236	-60,868423
Grande	G4(FID8-G4)	30,598		1	2	3,115514	-60,869621
			Interior	1	3	3,113438	-60,869842
				2	2	3,115881	-60,870884
				2	3	3,11421	-60,871089
				1	1	3,136693	-60,843714
				2	1	3,136989	-60,845155
			Borda	3	1	3,139602	-60,844511
				4	1	3,135257	-60,842664
Média	M5(FID12-M3)	11,589		1	2	3,137806	-60,844149
			Interior	2	2	3,137954	-60,844785
				3	2	3,139041	-60,843978
				4	2	3,136058	-60,842803
				1	1	3,111138	-60,907105
			Borda	1	4	3,107652	-60,909129
Média	M6 (FID13-M4)	15,798		1	2	3,110162	-60,907712
			Interior	1	3	3,108323	-60,910228
				1	1	3,036297	-60,863646
				1	4	3,038293	-60,863416
			Borda	2	1	3,036037	-60,865649
		11,641		2	4	3,038571	-60,865625
			Interior	1	2	3,036865	-60,863585
				1	3	3,037597	-60,863569

				2	2	3,036787	-60,865681
				2	3	3,03779	-60,865616
			Borda	1	1	3,120727	-60,83293
				2	1	3,12236	-60,832429
Média	M8 (FID24-M1)	12,125		1	2	3,120372	-60,833619
			Interior	2	2	3,121703	-60,832976
				2	3	3,120728	-60,833767
				3	1	3,119832	-60,833
			Borda	1	1	3,130366	-60,848327
Pequena	P9 (FID25-P6)	2,693		1	4	3,129108	-60,849122
			Interior	1	2	3,129819	-60,848728
				1	3	3,129764	-60,848218
			Borda	1	1	3,016508	-60,885798
Pequena	P10 (FID22-P9)	5,285		1	4	3,016039	-60,883954
			Interior	1	2	3,016369	-60,885251
				1	3	3,016266	-60,884529
			Borda	1	1	3,100814	-60,917137
Pequena	P11 (FID29-P16)	1,252		1	2	3,101068	-60,916662
			Interior	1	2	3,101068	-60,916662
			Borda	1	1	3,11001	-60,826286
				2	1	3,109767	-60,82705
			Borda	3	1	3,109248	-60,827974
Pequena	P12 (FID5-IF3)	7,307		2	2	3,110108	-60,827325
			Interior	2	3	3,110605	-60,827557
				3	2	3,109798	-60,827807

² O nome da ilha em parêntesis é a mesma identificação utilizada no estudo de Santos, Vale Junior e Barbosa (2013)

APÊNDICE B. Modelos de decaimento exponencial utilizados na estimativa da biomassa de raízes entre os intervalos de 50 – 90 cm. Os modelos são distintos por diâmetro das raízes (finas e médias), dimensão e borda - Interior. Y representa o valor da biomassa (Mgha¹) e X a profundidade (cm).

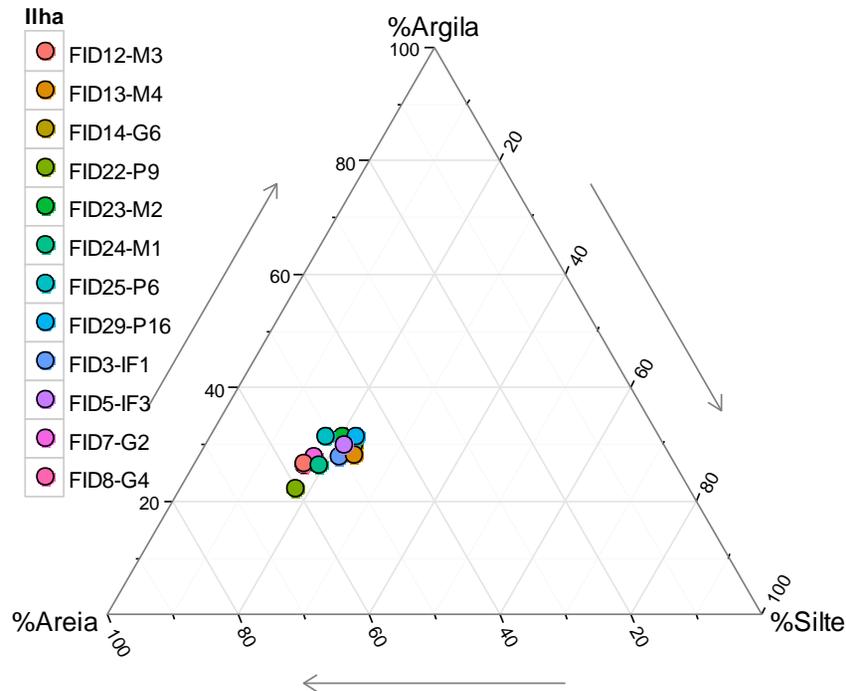
Categoria de Raiz	Borda - Interior	Dimensão da Ilha			
		Grande	Média	Pequena	Independente da dimensão da ilha
Raízes finas (2-10 mm)	Borda	$Y = 2,6331 \exp^{-0,014x}; R^2 = 0,53$	$Y = 3,0304 \exp^{-0,025x}; R^2 = 0,92$	$Y = 2,0744 \exp^{-0,015x}; R^2 = 0,44$	$Y = 2,568e^{-0,01x}; R^2 = 0,765$
	Interior	$Y = 2,4035 \exp^{-0,018x}; R^2 = 0,61$	$Y = 1,9032 \exp^{-0,013x}; R^2 = 0,45$	$Y = 2,1034 \exp^{-0,022x}; R^2 = 0,41$	$Y = 2,212e^{-0,01x}; R^2 = 0,696$
Raízes médias (10-50 mm)	Borda	$Y = 2,4889 \exp^{-0,017x}; R^2 = 0,47$	$Y = 4,786 \exp^{-0,019x}; R^2 = 0,50$	$Y = 12,888 \exp^{-0,052x}; R^2 = 0,57$	$Y = 4,705e^{-0,02x}; R^2 = 0,910$
	Interior	$Y = 2,4821 \exp^{-0,027x}; R^2 = 0,65$	$Y = 7,8838 \exp^{-0,058x}; R^2 = 0,53$	$Y = 4,1365 \exp^{-0,024x}; R^2 = 0,50$	$Y = 4,969e^{-0,03x}; R^2 = 0,983$

APÊNDICE C. Propriedades químicas e físicas dos solos das ilhas de mata distintas pelo intervalo de profundidade. Os dados da tabela representam os valores médios para os seis intervalos. Valores seguidos da mesma letra na mesma linha não diferem entre si (Tukey 0,05).

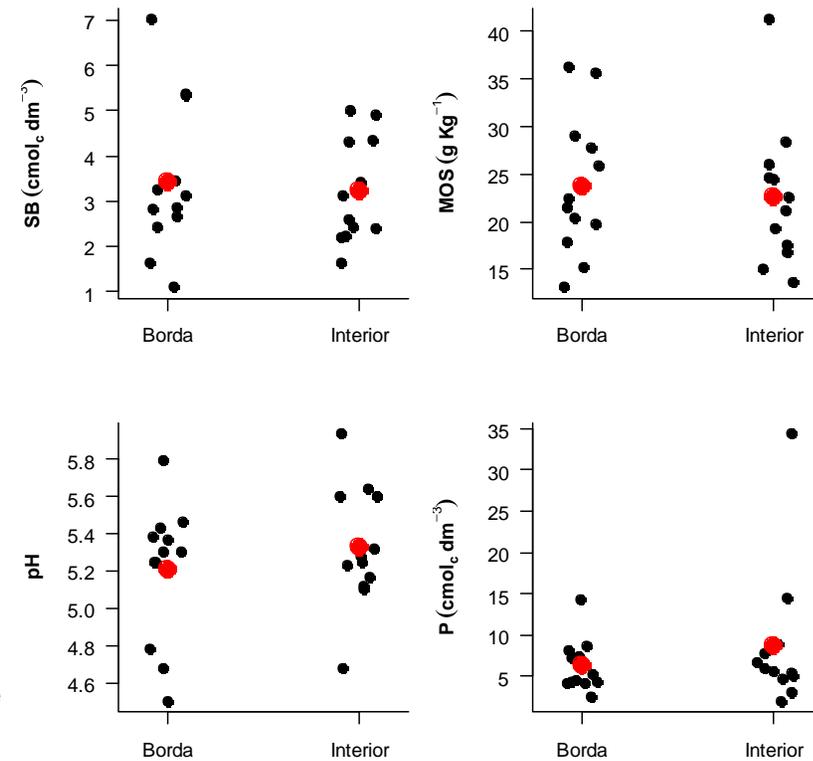
Atributo	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	90-100
pH	5,47 a	5,25 ab	5,10 ab	5,03 b	5,05 b	5,19 ab
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,95 a	1,78 b	1,25 bc	1,00 c	0,91 c	0,75 c
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,07 a	0,80 b	0,64 b	0,56 b	0,61 b	0,60 b
K ⁺¹ (cmol _c dm ⁻³)	1,05 a	0,53 ab	0,27 b	0,23 b	0,21 b	0,21 b
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,04 a	0,08 a	0,10 a	0,11 a	0,11 a	0,06 a
P ^{+3,+5} (mg dm ⁻³)	12,83 a	8,16 ab	6,17 ab	3,52 b	3,27 b	2,54 b
SB (cmol _c dm ⁻³)	5,22 a	3,14 b	2,17 bc	1,80 c	1,73 c	1,56 c
MOS (g kg ⁻¹)	37,11 a	22,68 b	15,49 c	12,37 cd	9,74 d	6,65 d
Argila (%)	18,7 a	21,5 ab	25,6 bc	29,5 cd	31,7 cd	32,5 d
Areia (%)	70,3 a	66,4 ab	62,4 abc	58,2 bcd	54,7 cd	50,75 d
Silte (%)	11,0 a	12,1 ab	11,9 ab	12,3 ab	13,6 ab	16,70 b

APÊNDICE D. Diagrama textural com a composição do sistema físico do solo indicando a homogeneidade edáfica das ilhas de mata amostradas. Os pontos representam os valores médios das porcentagens dos atributos físicos (areia, silte e argila) de cada ilha (A). Propriedades químicas dos solos das ilhas de mata, os pontos pretos representam o valor médio de cada ilha distintos segundo a borda e o interior, os pontos vermelhos representam o valor da média para cada distribuição de dados (B).

A. Propriedades físicas



B. Propriedades químicas



APÊNDICE E. Valores médios das características químicas e físicas dos solos para cada ilha de mata amostrada.

Nome da Ilha	Profundidade	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	SB	Al ⁺³	P ⁺⁵	MOS	Argila	Areia	Silte
	cm	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	%	%	%				
G1(FID14-G6)	0-10	2,330	0,725	1,167	4,222	0,050	7,450	46,582	21,150	65,266	13,584
	10-20	1,245	0,440	0,346	2,031	0,185	4,650	20,186	24,150	61,736	14,114
	20-30	0,840	0,590	0,244	1,674	0,240	3,050	14,837	27,780	56,558	15,663
	30-40	0,605	0,480	0,192	1,277	0,240	1,400	10,186	29,725	49,855	20,420
	40-50	0,675	0,425	0,192	1,292	0,205	1,150	8,209	34,650	44,116	21,234
	90-100	0,700	0,775	0,192	1,667	0,020	0,500	5,419	41,800	35,781	22,419
G2(FID3-IF1)	0-10	2,906	1,244	2,236	6,386	0,026	13,060	44,977	17,930	67,847	14,223
	10-20	0,972	1,474	1,451	3,897	0,036	6,380	18,558	22,270	63,520	14,210
	20-30	1,048	0,682	0,385	2,115	0,066	10,720	13,628	30,734	60,030	9,236
	30-40	0,866	0,644	0,333	1,843	0,054	1,800	10,326	32,330	55,958	11,712
	40-50	0,862	0,550	0,303	1,715	0,046	1,000	8,558	33,200	54,380	12,420
	90-100	0,618	0,620	0,256	1,494	0,026	0,000	5,442	30,070	50,110	19,821
G3(FID7-G2)	0-10	3,145	0,925	0,513	4,583	0,015	9,150	32,745	17,050	74,526	8,424
	10-20	2,060	0,860	0,346	3,266	0,045	6,150	20,535	21,850	69,029	9,121
	20-30	1,435	0,605	0,256	2,296	0,045	3,550	14,023	22,130	66,965	10,905
	30-40	1,045	0,580	0,205	1,830	0,035	1,950	8,675	26,400	63,458	10,143
	40-50	0,960	0,660	0,205	1,825	0,035	1,750	7,163	27,500	61,098	11,403
	90-100	0,780	0,660	0,141	1,581	0,030	0,200	4,837	33,225	57,106	9,669
G4(FID8-G4)	0-10	2,435	1,110	0,397	3,942	0,040	34,050	23,326	16,400	75,320	8,280
	10-20	1,615	0,655	0,269	2,539	0,050	23,300	18,326	19,975	72,633	7,393
	20-30	1,165	0,595	0,154	1,914	0,060	15,450	10,768	22,075	68,214	9,711
	30-40	0,945	0,570	0,090	1,605	0,065	15,450	14,023	28,100	63,621	8,279

P9(FID25-P6)	0-10	2,935	1,020	1,756	5,711	0,020	17,650	42,628	21,750	68,611	9,639
	10-20	1,715	0,840	0,410	2,965	0,060	11,950	26,349	25,025	65,450	9,522
	20-30	1,300	0,795	0,359	2,454	0,055	7,250	20,303	27,650	62,396	9,954
	30-40	0,845	0,850	0,385	2,080	0,070	4,400	18,558	33,175	57,055	9,770
	40-50	0,695	0,730	0,128	1,553	0,145	2,050	16,000	37,625	52,090	10,285
	90-100	0,780	0,745	0,218	1,743	0,020	0,650	12,163	30,500	51,246	18,254
P10(FID22-P9)	0-10	1,455	0,475	0,346	2,276	0,230	14,450	32,745	13,750	80,154	6,096
	10-20	1,015	0,490	0,282	1,787	0,285	9,200	28,326	14,525	76,603	8,872
	20-30	0,840	0,345	0,244	1,429	0,275	7,150	20,535	16,050	74,701	9,249
	30-40	0,395	0,210	0,205	0,810	0,395	3,850	14,372	16,650	72,990	10,360
	40-50	0,375	0,235	0,192	0,802	0,410	2,250	11,465	22,375	71,143	6,483
	90-100	0,395	0,365	0,115	0,875	0,200	1,000	6,116	27,125	63,833	9,042
P11(FID29-P16)	0-10	3,570	1,350	2,462	7,382	0,020	6,950	36,698	26,100	58,590	15,310
	10-20	2,855	0,885	1,410	5,150	0,020	3,800	26,814	29,475	56,406	14,119
	20-30	1,805	0,800	0,385	2,990	0,040	10,450	20,768	32,150	55,212	12,639
	30-40	1,725	0,810	0,410	2,945	0,030	2,550	17,396	32,000	53,094	14,906
	40-50	1,675	0,695	0,346	2,716	0,025	1,100	12,628	35,950	47,005	17,045
	90-100	1,285	0,880	0,859	3,024	0,005	1,100	22,163	36,875	43,669	19,456
P12(FID5-IF3)	0-10	4,300	1,700	0,436	6,436	0,025	4,200	42,977	23,725	63,813	12,463
	10-20	2,815	0,735	0,295	3,845	0,055	2,950	25,186	21,800	61,963	16,238
	20-30	1,485	0,825	0,205	2,515	0,055	1,350	14,140	35,225	53,551	11,224
	30-40	1,315	0,685	0,179	2,179	0,100	0,500	11,930	39,050	50,569	10,381
	40-50	1,030	0,745	0,179	1,954	0,070	0,050	9,256	38,200	46,913	14,887
	90-100	0,730	0,770	0,154	1,654	0,040	0,000	10,070	34,550	46,569	18,881

APÊNDICE F – SOIL CHARCOAL AS LONG-TERM CARBON STORAGE IN AMAZONIAN SEASONAL FORESTS (Artigo em fase de preparação)

Maryory Medina Turcios

Federal University of Roraima - UFRR
 Post-graduate Program in Natural Resources – PRONAT
 Av. Cap. Ene Garcez 2413, Bairro Aeroporto
 69304-000 Boa Vista – Roraima, Brazil
 e-mail: mmedinaturcios@gmail.com

José Frutuoso do Vale Jr.

Federal University of Roraima – UFRR
 Center for Agricultural Sciences – CCA
 69310-000 Boa Vista - Roraima, Brazil
 e-mail: valejr51@gmail.com

Philip Martin Fearnside

National Institute for Research in the Amazon - INPA
 Department of Environmental Dynamics - CDAM
 Av. André Araújo 2936 – Aleixo
 69060-000 Manaus - Amazonas, Brazil
 e-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Reinaldo Imbrozio Barbosa (*)

National Institute for Research in the Amazon - INPA
 Department of Environmental Dynamics - CDAM
 Roraima's Office
 Rua Coronel Pinto 315 – Centro
 69301-150 Boa Vista – Roraima, Brazil
 e-mail: reinaldo@inpa.gov.br
 (*) **Corresponding Author**

Abstract

Soil charcoal is treated as a long-term storage of carbon source in the Amazon forest systems. This forest compartment is recognized as a "carbon reservoir lost" because it is not included in global models of emission and sequestration of greenhouse gases due to the uncertainties associated with their quantification. The goal of the study was to estimate the carbon stock derived from the soil charcoal on the vertical profile of forest fragments scattered in the savanna matrix of Roraima, extreme north of the Brazilian Amazon. Were collected 69 soil samples to 1 m depth in 12 forest fragments (forest islands). The fragments were distinguished by size and soil samples were collected systematically between the edge and the inside of each fragment at 10 cm depth intervals. The average soil charcoal biomass to coal evaluated fragments was estimated at $5,36 \pm 7,65 \text{ Mg ha}^{-1}$. The carbon stock derived from the soil charcoal ($3,48 \pm 4,97 \text{ Mg C ha}^{-1}$) did not differ between

forest islands of different sizes or between edge and interior. However to 10 cm depth the soil carbon stock on the edge fragment was higher ($0,69 \pm 1,06 \text{ MgC ha}^{-1}$) than the inside ($0,15 \pm 0,13 \text{ MgC ha}^{-1}$), this behavior could be explained by the greater accumulation of dead biomass on the edge, making this gradient the most affected by the high occurrence of fires in the savannah.. The results indicate that the long-term carbon storage in forests fragments dispersed in the bush Roraima can reach $4,44 \times 10^6 \text{ Mg C}$ in the form of carbon particles (1 m depth). This value is 0,009-0,006% of the total carbon stored in vegetation throughout the Amazon and is overlooked by the Brazilian national inventory of greenhouse gases.

Keywords: Soil Charcoal, Carbon sequestration, Forest islands, Global carbon cycle.

Resumo

Carvão do solo é considerado como uma fonte de armazenamento de carbono de longo prazo em sistemas florestais amazônicos. Este compartimento florestal é reconhecido como um “reservatório perdido de carbono” porque não é incluído nos modelos globais de emissão e sequestro de gases do efeito estufa devido às incertezas associadas à sua quantificação. O objetivo do estudo foi estimar o estoque de carbono derivado de carvão do solo no perfil vertical de fragmentos florestais dispersos na matriz de savana de Roraima, extremo norte da Amazônia brasileira. Foram coletadas 69 amostras de solo até 1 m de profundidade em 12 fragmentos florestais (ilhas de mata). Os fragmentos foram distintos por dimensão e as amostras de solo foram coletadas de forma sistemática entre a borda e o interior de cada fragmento em intervalos de 10 cm de profundidade. O valor médio da biomassa de carvão para os fragmentos avaliados foi estimado em $5,36 \pm 7,65 \text{ Mg ha}^{-1}$. O estoque de carbono derivado do carvão ($3,48 \pm 4,97 \text{ Mg C ha}^{-1}$) não diferiu entre ilhas de mata de diferentes dimensões ou mesmo entre borda e interior. No entanto a 10 cm de profundidade o estoque de carbono da borda ($0,69 \pm 1,06 \text{ MgC ha}^{-1}$) foi maior do que o interior ($0,15 \pm 0,13 \text{ MgC ha}^{-1}$), esse comportamento poderia ser explicado pelo maior acúmulo de biomassa morta na borda, sendo essa área a mais afetada pela alta ocorrência de fogos na savana. Os resultados indicam que o armazenamento de carbono de longo prazo em fragmentos florestais dispersos na savana de Roraima pode alcançar $4,44 \times 10^6 \text{ Mg C}$ na forma de partículas de carvão (1 m profundidade). Esse valor representa de 0,009 a 0,006% do total de carbono estocado na vegetação para toda a Amazônia e é desconsiderado pelo inventário nacional brasileiro de gases de efeito estufa.

Palavras chave: Carvão no solo, armazenamento de carbono, fragmentos florestais, ciclo global do carbono.