



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

PERLA NATALIA RAMÍREZ NARVÁEZ

EFEITO DOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E DA ALTITUDE EM ESTIMATIVAS  
DA BIOMASSA DE RAÍZES GROSSAS DE ÁRVORES EM FLORESTAS DO ECÓTONO  
NORTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Boa Vista, RR

2017

PERLA NATALIA RAMÍREZ NARVÁEZ

**EFEITO DOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E DA ALTITUDE EM  
ESTIMATIVAS DA BIOMASSA DE RAÍZES GROSSAS DE ÁRVORES EM  
FLORESTAS DO ECÓTONO NORTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos em Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa

Coorientadora: Profa. Dra. Lidiany Camila da Silva Carvalho

Boa Vista, RR

2017

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

R173e Ramírez Narváez, Perla Natalia.  
Efeito dos parâmetros biométricos e da altitude em estimativas da biomassa de raízes grossas de árvores em florestas do ecótono norte da Amazônia brasileira / Perla Natalia Ramírez Narváez. – Boa Vista, 2017.  
46 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa.  
Coorientadora: Profa. Dra. Lidiany Camila da Silva Carvalho.

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

1 – Root:shoot. 2 – Gravidade específica. 3 – Raízes grossas. 4 – Raízes aéreas. 5 – Raízes tabulares. I – Título. II – Barbosa, Reinaldo Imbrozio (orientador). III – Carvalho, Lidiany Camila da Silva (coorientadora).

CDU – 581.144.2(811)

**Perla Natalia Ramirez Narváez**

**“EFEITO DOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E DA ALTITUDE EM ESTIMATIVAS DA BIOMASSA DE RAÍZES GROSSAS DE ÁRVORES EM FLORESTAS DO ECÓTONO NORTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA”**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 11 de julho de 2017 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:



---

Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa  
Orientador - INPA/RR



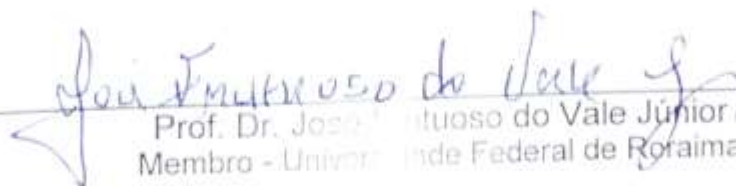
---

Prof. Dr. Paulo Eduardo Barni  
Membro - Universidade Estadual de Roraima



---

Prof. Dr. Paulo Emilio Kaminski  
Membro - EMBRAPA/RR



---

Prof. Dr. José Antunes do Vale Júnior  
Membro - Universidade Federal de Roraima

Dedico à natureza, em especial as florestas e rios, por sua beleza e capacidade de preencher de energia todos os dias de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A pesquisa foi apoiada pelo projeto institucional “Ecologia e Manejo dos Recursos Naturais da Savana de Roraima” (PPI-INPA 015/122), sendo financiada pelo projeto “Serviços ambientais prestados pela savana de Roraima e seus ecossistemas florestais associados: estudos integrados sobre impactos, determinantes e estoques de carbono” (Proc. CNPq 304204/2015-3) e pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia (INCT ServAmb – Proc. FAPEAM/CNPq).

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras que concederam minha bolsa de Mestrado.

À Universidade Federal de Roraima (UFRR) pelo aceite para desenvolver meus estudos de mestrado no Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT) e proporcionar aprendizagem nos níveis pessoal e acadêmico.

Ao Núcleo de Roraima do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Boa Vista-Roraima, pelo apoio logístico e institucional ao longo do desenvolvimento deste estudo. Em especial a meu orientador Prof. Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa, prezado pesquisador com quem estou muito agradecida pela oportunidade de fazer parte de sua equipe, pela amizade, hospitalidade, seus ensinamentos em campo, laboratório e aulas. Vou lembrar sua coerência e carinho por suas pesquisas, que me motivaram a novos questionamentos e a continuar minha aprendizagem.

À Profa. Dra. Lidiany Camila da Silva Carvalho (UFRR/PRONAT), minha coorientadora, por suas contribuições durante o período de estudo.

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT), nas figuras do Dr. Marcos Vital e da Dr. Gardênia Holanda, juntamente com a Coordenação de Relações Internacionais da UFRR, nas pessoas de Claudir Cruz e Bento Moraes, que forneceram orientações antes e depois de minha chegada ao Brasil.

Pelo excelente apoio em campo e por compartilhar sua amizade, a Carlos Angulo e Williamar Silva, ambos pertencentes à UFRR/PRONAT.

Para Deus, por permitir realizar outro de meus objetivos de vida.

Agradeço a meus pais, Dina Lucia Narváez Narváez e Luis Eduardo Ramírez Córdoba, pelo amor, apoio espiritual, mental e físico, durante todo o tempo necessário para cumprir com meus sonhos. Também a meus familiares em especial Esther Narváez, Teresa Ramírez, Blanca

Ramírez, Fernando Ramírez e Monica Narváez por seu carinho e lembrar de mim enquanto estava fora de meu país.

Aos meus amigos Jhonathan Cubides, Brenda Pinedo, Alina Celarié e Diana Sangama, que ajudaram para formar um ambiente acolhedor e familiar em Boa Vista, além de Yanne Castro e sua respectiva família pelo convite em datas especiais, que me permitiram o aprendizado de suas tradições.

Por fim, para todas as pessoas que compartilharam e deram seu apoio durante minha estadia no Brasil. Muito obrigada.

## RESUMO

Biomassa de raízes (subterrâneas e aéreas) dos diferentes tipos florestais da Amazônia são estimadas com alto grau de incerteza dentro das avaliações realizadas pelo Inventário Nacional sobre Fontes e Reservatórios de Carbono do Brasil. Melhorar essas estimativas resulta em um refinamento do entendimento da resposta do papel mitigador que as florestas amazônicas possuem frente às mudanças climáticas. O objetivo do estudo foi estimar a biomassa de raízes grossas de árvores situadas em florestas do ecótono norte da Amazônia brasileira, considerando o efeito dos parâmetros biométricos do indivíduo (DAP = diâmetro à altura do peito; H = altura total) e de sua posição no gradiente altitudinal. Para tanto, foram amostradas 65 árvores tombadas (DAP  $\geq$  10 cm, raízes expostas e histórico de mortalidade conhecido) a partir de caminhamentos ao longo de 60 km de trilhas que cortam uma grade de pesquisa do PPBio (Programa de Pesquisa em Biodiversidade) situada na Estação Ecológica de Maracá, Roraima. A biomassa das raízes grossas de cada indivíduo foi considerada como a soma de raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq$  20 mm, das raízes aéreas tabulares e do colo do fuste. Esses três componentes foram estimados de forma indireta associando o volume das peças expostas com a gravidade específica de galhos e raízes. A análise dos dados foi realizada através de modelos de regressão linear, não linear e comparação das médias entre os tipos florestais dominantes (teste t). A biomassa de raízes grossas foi positivamente relacionada com o DAP tanto no conjunto amostral das florestas ombrófilas ( $Y = 0.0011 \times X^{1.7206}$ ;  $n = 33$ ;  $R^2 = 0.7855$ ) quanto nas estacionais ( $Y = 0.0016 \times X^{1.5742}$ ;  $n = 32$ ;  $R^2 = 0.7061$ ). A relação da biomassa de raízes grossas com a altura total foi parcialmente explicada tomando como base o total de indivíduos amostrados, independente do tipo florestal ( $Y = 0.0004 \times X^{2.2512}$ ;  $n = 65$ ;  $R^2 = 0.4858$ ). Variação no gradiente altitudinal não definiu distinções de biomassa de raízes entre os indivíduos amostrados. A média total de biomassa de raízes entre o conjunto das florestas ombrófila ( $117.9 \pm 34.1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e estacional ( $118.9 \pm 39.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) não diferiu significativamente. Contudo, o valor da média de *root:shoot* da floresta ombrófila ( $0,53 \pm 0,13$ ) foi maior ( $t = 4.7314$ ;  $p < 0.0000$ ) do que o calculado para a floresta estacional ( $0,41 \pm 0,14$ ). As conclusões do estudo indicam que o DAP é o melhor preditor de biomassa de raízes, devido ao seu maior poder explicativo em relação à altura total do indivíduo e de sua posição no gradiente altitudinal. Com esses resultados são esperadas melhorias nas estimativas do Brasil em relação à biomassa de raízes dos diferentes tipos de florestas na Amazônia.

Palavras-chave: root:shoot. Gravidade específica. Raízes grossas. Raízes aéreas. Raízes tabulares. Colo do fuste.



## ABSTRACT

Root biomass (belowground and aerial) of the different Amazonian forest types are estimated with a high degree of uncertainty in the evaluations carried out by the Brazilian National Inventory on Sources and Carbon Reservoirs. Improving these estimates results in a refinement of the understanding the mitigating role that Amazonian forests have face to the climate change. The aim of the study was to estimate the coarse-root biomass of trees located in ecotone forests of the northern Brazilian Amazonia, considering the effect of the biometric parameters of each individual (DAP = diameter of the breast height, H = total height) and its position in the altitudinal gradient. In this sense, 65 trees were sampled (DAP  $\geq$  10 cm, roots exposed and known mortality history) along 60 km of trails which crossing a PPBio (Brazilian Program for Biodiversity Research) research grid located in Maracá Ecological Station, Roraima. The biomass of the coarse roots of each sampled tree was considered as the sum of three components: all belowground root pieces (segment) with diameter  $\geq$  20 mm, buttress roots (aboveground roots) and stem base (base of the stem just below to the superficial soil line). These three compositional units were indirectly estimated associating their volume with the specific gravity of branches (buttress roots and stem base) and roots (belowground root). Data analysis was performed using linear and non-linear regression models. A t test was used to compare the means between dominant forest types. The coarse root biomass was positively related to the DBH of both forest types: ombrophilous ( $Y = 0.0011 \times X^{1.7206}$ ;  $n = 33$ ;  $R^2 = 0.7855$ ) and seasonal ( $Y = 0.0016 \times X^{1.5742}$ ;  $n = 32$ ;  $R^2 = 0.7061$ ). The relation between coarse roots biomass and total height was partially explained taking into account the total number of sampled individuals, independent of the forest type ( $Y = 0.0004 \times X^{2.2512}$ ;  $n = 65$ ;  $R^2 = 0.4858$ ). Variation in the altitudinal gradient did not define distinctions the root biomass between individuals sampled. The mean of total coarse root biomass of ombrophilous forests ( $117.9 \pm 34.1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) did not differ significantly from seasonal forests ( $118.9 \pm 39.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). The mean of root:shoot ratio of ombrophilous forests ( $0.53 \pm 0.13$ ) was higher ( $t = 4.7314$ ,  $p < 0.0000$ ) than that calculated for seasonal forest ( $0.41 \pm 0.14$ ). The conclusions of the study indicate that DBH is a good predictor of root biomass, because it has better explanatory power in relation to the total height of the trees and its position in the altitudinal gradient. With these results are expected improvements in the Brazilian estimates in relation to root biomass of different forest types in the Amazon.

Key-words: root:shoot. Specific gravity. Coarse root. Buttress root. Aerial roots. Stem base.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da Estação Ecológica (ESEC) Maracá na região noroeste de Roraima.....	18
Figura 2 -	Árvore tombada com raízes expostas.....	20
Figura 3 -	Esquema da grade de pesquisa do PPBio (ESEC Maracá), onde L1-6 são as trilhas Norte-Sul e N1-6 são as trilhas Leste-Oeste. Círculos pretos representam unidades amostrais.....	21
Figura 4 -	Medições de raízes subterrâneas com diâmetro $\geq 20$ mm: a) circunferência e b) comprimento .....	23
Figura 5 -	Medição de raiz tabular.....	24
Figura 6 -	Medição de a) altura e b) diâmetro de colo de fuste.....	24
Figura 7 -	Medição de altura e diâmetro de colo de fuste em árvores com raízes tabulares.....	25
Figura 8 -	Medição de diâmetro e espessura para determinar a porcentagem relativa da fração exposta de raiz.....	26
Figura 9 -	Reidratação das amostras de galhos e raízes coletadas em campo.....	27
Figura 10 -	Medição do peso da água deslocada.....	28
Figura 11 -	Modelos de regressão da biomassa de raízes grossas (Mg) em relação a DAP (cm) de árvores presentes em florestas do ecótono do noroeste de Roraima: (a) floresta ombrófila e (b) floresta estacional.....	30
Figura 12 -	Modelo linear entre a biomassa de raízes grossas (Mg) e a altura total (m) das árvores situadas em florestas ecotonais do noroeste de Roraima..	31
Figura 13 -	Regressão não significativa entre biomassa de raízes grossas (Mg) e a altitude (m) do local onde as árvores das florestas ombrófilas e estacionais foram observadas.....	31
Figura 14 -	Gráfico da relação de biomassa das raízes grossas com os tipos florestais dominantes. Indica o valor da mediana, o primeiro e o terceiro quartis, e as barras o valor máximo e mínimo para cada intervalo. OMB = florestas ombrófilas e EST = florestas estacionais.....	32
Figura 15 -	Diferenças de porcentagem nas florestas ombrófila e estacional de raízes subterrâneas com diâmetro $\geq 20$ mm (Raiz_sub), raízes tabulares (Raiz_tab) e colo de fuste (Colo). Barras verticais representam o desvio padrão (DP).....	33

Figura 16 - Gráfico das diferenças de valores de *root:shoot*, para floresta ombrófila (OMB) e estacional (EST). Indica o valor da mediana de *root:shoot*, o primeiro e o terceiro quartis, e as barras o valor máximo e mínimo para cada intervalo. OMB = florestas ombrófilas e EST = florestas estacionais..... 33

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A	<p>a) Modelo relacional entre a gravidade específica de galhos e raízes (COM casca) de árvores de florestas ecotonais dispersas no leste da Ilha de Maracá, Roraima, extremo norte da Amazônia. <math>Y = 0.9529 + 0.0044 \times X</math> (n = 65; <math>F_{0.05} = 391.5</math>; <math>P &lt; 0.0000</math>; <math>R^2 = 0.8614</math>).....</p>	44
	<p>b) Modelo relacional entre a gravidade específica de galhos e raízes (SEM casca) de árvores de florestas ecotonais dispersas no leste da Ilha de Maracá, Roraima, extremo norte da Amazônia. <math>Y = 1.107 - 0.0837 \times X</math> (n = 65; <math>F_{0.05} = 357.4</math>; <math>P &lt; 0.0000</math>; <math>R^2 = 0.8501</math>).....</p>	44
APÊNDICE B	<p>a) Modelo geral da relação hipsométrica entre altura total (Y em m) e DAP (X em cm), considerando o conjunto total de árvores amostradas em florestas ombrófila e estacional situadas no leste da Ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira. <math>Y = 10.956 \ln(X) - 15.341</math> (n = 65; <math>R^2 = 0.7142</math>).....</p>	45
	<p>b) Modelo da relação hipsométrica entre altura total (Y em m) e DAP (X em cm), considerando o conjunto de árvores amostradas na floresta ombrófila situada no leste da Ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira. <math>Y = 9.847 \ln(X) - 11.345</math> (n = 33; <math>R^2 = 0.7575</math>).....</p>	45
	<p>c) Modelo da relação hipsométrica entre altura total (Y em m) e DAP (X em cm), considerando o conjunto de árvores amostradas na floresta estacional situada no leste da Ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira. <math>Y = 12.619 \ln(X) - 21.528</math> (n = 32; <math>R^2 = 0.6931</math>) .....</p>	46

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2.1	Geologia e Geomorfologia.....	18
3.2.2	Solos.....	19
3.2.3	Vegetação.....	19
3.2.4	Clima.....	20
3.3	DESENHO AMOSTRAL.....	20
3.4	MEDIÇÕES RELACIONADAS ÀS UNIDADES AMOSTRAIS.....	21
3.4.1	Estimativa de biomassa de raízes grossas.....	22
3.4.2	Determinação da fração exposta de raiz.....	25
3.4.3	Gravidade específica.....	26
3.5	ANÁLISE DOS DADOS.....	28
3.5.1	Biomassa de raízes grossas vs. características biométricas e altitude.....	28
3.5.2	Biomassa das raízes grossas por tipo florestal.....	29
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
4.1	RESULTADOS .....	30
4.1.1	Biomassa de raízes grossas vs. características biométricas e altitude.....	30
4.1.2	Biomassa das raízes grossas por tipo florestal.....	32
4.2	DISCUSSÃO.....	34
4.2.1	Biomassa de raízes grossas vs. características biométricas e altitude.....	34
4.2.2	Biomassa das raízes grossas por tipo florestal.....	35
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40
	<b>APÊNDICES</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

Biomassa de raízes representa um enorme reservatório de carbono em ecossistemas florestais tropicais (WARING; POWERS, 2016). Contudo, as estimativas com base em diferentes ecossistemas florestais são pobremente quantificadas (SOCHACKI et al., 2016) e com a utilização de distintas metodologias (BARNI et al., 2016). Esse fato prejudica um melhor entendimento do efeito mitigador das florestas tropicais frente às mudanças climáticas, visto que esses sistemas possuem uma enorme capacidade de absorver CO<sub>2</sub> da atmosfera e armazená-lo em sua biomassa, outorgando às florestas um papel muito importante na mitigação do aquecimento global (NOBRE et al., 2007). Como uma grande parte de carbono florestal é estimado a estar alocado no sistema radicular (CARVALHEIRO; NEPSTAD 1996), é importante obter medições de biomassa desse compartimento com o intuito de entender de melhor forma o efeito do desmatamento sobre o aquecimento global (FEARNSIDE; LAURANCE, 2004), visto que a degradação e a conversão dos biomas tropicais vem sendo responsável por quase todas as emissões de CO<sub>2</sub> da biosfera para a atmosfera (MALHI; GRACE, 2000).

A biomassa de raízes possui proporcionalmente uma menor quantidade de avaliações em relação as estimativas de biomassa aérea de formações florestais, principalmente devido à complexidade de sua medição (SNOWDOW et al., 2000). Além da pouca atenção à biomassa de raízes (subterrâneas e aéreas), o colo de fuste (parte do caule situado abaixo da linha do solo) é totalmente desconsiderado nas estimativas de fluxo e estoque de carbono que o Brasil apresenta periodicamente à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas; compromisso assumido pelo governo brasileiro dentro do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climáticas-IPCC (BRASIL, 2014). A incerteza da quantificação de carbono nas raízes, também dificulta avançar em medidas e programas associados à Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD).

O estado da arte sobre biomassa de raízes em florestas na Amazônia é de reduzida expressão e poucas investigações podem ser efetivamente relatadas. Por exemplo, em termos de distinções entre ecossistemas naturais e antropizados, o estudo realizado por Carvalheiro e Nepstad (1996) em florestas e pastagens da Amazônia Oriental foi importante, pois indicou que a biomassa de raízes por unidade de volume é heterogênea entre os diferentes ecossistemas e dependente de variações ao longo do perfil vertical do solo. Da mesma forma, as mudanças na

biomassa das raízes e no estoque de carbono na camada superficial do solo (0-20 cm), também podem ser influenciados pelo efeito da conversão de florestas em pastagens, conforme estudos realizados por Fearnside e Barbosa (1998).

Em ambientes de floresta fragmentada por desmatamento na Amazônia Central foram realizadas estimativas da biomassa total florestal ( $400 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), indicando que a biomassa de raízes poderia representar ~20% desse total (NASCIMENTO; LAURANCE, 2001), sugerindo que mesmo sob a ação da fragmentação antropogênica, o estoque de raízes em sistemas florestais fragmentados se mantêm alto. O estoque de raízes em sistemas florestais naturalmente fragmentados também parece ser muito representativo. Por exemplo, Turcios (2015) apontou grandes concentrações de raízes dispostas entre 0-30 cm do perfil do solo de fragmentos florestais naturais em uma zona de contato savana-floresta de Roraima. Os estudos acima relatados suportam que a parcela mais significativa do estoque de biomassa de raízes se encontra proporcionalmente situada nas primeiras camadas do solo como são de 0 a 50 cm.

Dentro dessa perspectiva, vários problemas de quantificação de raízes também precisariam ser solucionados para que as estimativas dos estoques de biomassa/carbono abaixo do solo se configurem em cálculos mais seguros e com menos imprecisões (SNOWDON et al., 2001). Um desses problemas está diretamente relacionado as definições e categorias das raízes. Os principais conceitos sobre as raízes subterrâneas são apresentados por Gonçalves (2007) e Snowdon et al. (2001) e ambos descrevendo as raízes aéreas (tabulares) como importantes partes da árvore que surgem acima da base do tronco. Por outro lado, a quantificação e a categorização das raízes pelo tamanho em geral ignora a importância funcional de cada categoria dentro da complexa arquitetura da raiz no ambiente florestal. Assim sendo, é possível, através de parâmetros biométricos das árvores, obter valores de biomassa de raízes com a utilização de modelos alométricos. Entre as variáveis mais utilizadas está o diâmetro, a altura total e a gravidade específica, todas consideradas importantes preditores de biomassa (CHAVE et al., 2014).

Em termos ambientais gerais, a morfologia e a biomassa da raiz podem adaptar-se a algumas pressões competitivas com outras espécies ou a partir de ambientes mais severos (maiores restrições hidro-edáficas), fazendo com que a alocação do carbono seja maior ou menor em função desta adaptação. Assim sendo, aos fatores ambientais gerais, atributos que influenciam na variabilidade de formas dos sistemas da raiz, podem fazer com que a biomassa varie em função de diferentes condicionantes (PAGÈS et al., 2001, RICHARDS, 1986). A

influência do relevo na biomassa das raízes também pode ser substancial (CATTANIO et al., 2004), uma vez que características geomorfológicas associadas à topografia, como a altitude, podem explicar pequenas variações da fertilidade dos solos (MENDONÇA et al., 2013) e, por sua vez, influenciar diretamente na quantidade de raízes de cada indivíduo arbóreo.

Dentro desta exposição contextual, o objetivo do presente estudo foi estimar a biomassa de raízes grossas de árvores dispersas em florestas do ecótono norte da Amazônia brasileira, considerando o efeito dos parâmetros biométricos e do gradiente ambiental. As florestas ecotonais são definidas pelo sistema de classificação da vegetação brasileira IBGE (2012) como áreas de tensão ecológica situadas nas zonas de contato (ou transição) entre diferentes tipos florestais como floresta ombrófila-floresta estacional, ou entre florestas e áreas abertas como floresta-savana, floresta-campinas. Esse conjunto de tipos florestais vem sendo erodido na Amazônia por extração seletiva de madeira, desmatamento e incêndios florestais, em especial no estado de Roraima (JARAMILLO, 2015; SANTOS; VALE JÚNIOR; BARBOSA, 2013), onde existem diferentes forças de desmatamento e os incêndios florestais (BARNI et al., 2015; XAUD; MARTINS; DOS SANTOS, 2013). Desta forma, essa investigação pretende contribuir com novos parâmetros de cálculo para as futuras estimativas sobre o potencial de armazenamento de carbono nestas florestas de contato, reconhecendo o papel mitigador (serviços ambientais) destes tipos florestais dentro do contexto das mudanças climáticas.

As perguntas específicas deste estudo são: i) biomassa de raízes grossas de árvores de florestas do ecótono norte da Amazônia possui correlação com os parâmetros biométricos de DAP e altura total dos indivíduos arbóreos?; ii) biomassa de raízes grossas varia com o gradiente ambiental (altitude como referência da variabilidade)?; iii) biomassa de raízes difere entre tipos florestais (ombrófila e estacional) distintos na zona do ecótono?

A hipótese geral do estudo é que a biomassa de raízes grossas (aqui consideradas como a soma das raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm + tabulares + colo do fuste) possui uma relação direta com características biométricas dos indivíduos arbóreos, e que essa relação é distinta entre os diferentes tipos florestais presentes na zona do ecótono, independente do gradiente de altitude.



## 2 OBJETIVOS

Para responder as perguntas específicas se apresentam os seguintes objetivos:

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a biomassa de raízes grossas de árvores considerando o efeito dos parâmetros biométricos e do gradiente ambiental.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar a biomassa de raízes grossas das árvores com as características biométricas de DAP e altura total dos indivíduos arbóreos amostrados;
- Relacionar a biomassa de raízes grossas com o gradiente ambiental tomando como base de variabilidade da altitude onde o indivíduo arbóreo foi amostrado;
- Estimar a biomassa de raízes grossas por tipo florestal (ombrófila e estacional) presente na zona do ecótono norte de Roraima.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

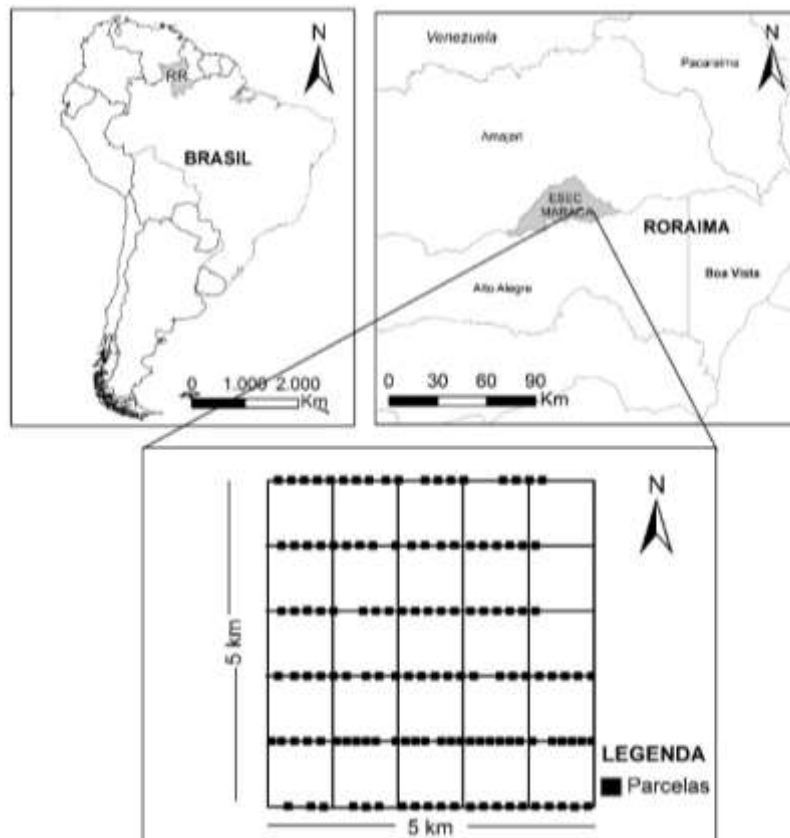
Na realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais e aplicados os seguintes métodos:

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Estação Ecológica (ESEC) de Maracá ( $3^{\circ}15' - 3^{\circ}35' \text{ N}$  e  $61^{\circ}22' - 61^{\circ}58' \text{ W}$ ) é uma unidade de conservação federal gerenciada pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade) em Roraima, extremo norte da Amazônia brasileira (Figura 1). Foi criada em 1978 e é formada por um arquipélago fluvial com mais de 200 ilhas e ilhotas, sendo a Ilha de Maracá a maior delas, a qual é delimitada pela divisão do rio Uraricoera em dois furos: Santa Rosa ao Norte e Maracá ao Sul (CARVALHO, 2014; HEMMING, 1988; VILLELA; PROCTOR, 2002). Maracá está situada fisicamente entre os municípios de Alto Alegre e Amajari, em uma zona de transição entre a floresta contínua do oeste de Roraima e a grande área de savana que se estende pela Venezuela e Guiana (NASCIMENTO; PROCTOR, 1997), se configurando em uma localidade onde tipicamente se encontram grandes extensões de florestas ecotonais do norte da Amazônia.

O estudo em tela foi desenvolvido no Leste da Ilha de Maracá, que é a maior ilha da ESEC com uma área total de aproximadamente 100.000 ha, com largura variando de 15 a 25 km e ~60 km de comprimento (NASCIMENTO; PROCTOR, 1997). Especificamente o estudo se deu na grade de pesquisa do PPBio (Programa de Pesquisa em Biodiversidade) que conta com um sistema de 12 trilhas (6 no sentido N-S e 6 no sentido L-O; todas com 5 km de comprimento), 30 parcelas permanentes de 1 ha, 129 pequenas parcelas aditivas (Figura 1), além de uma trilha principal que corta a grade no sentido diagonal. Tanto as trilhas de caminhada quanto a principal foram alvo das técnicas amostrais descritas abaixo.

Figura 1- Localização da Estação Ecológica (ESEC) Maracá na região noroeste de Roraima



### 3.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em um área com as seguintes características:

#### 3.2.1 Geologia e Geomorfologia

A Ilha de Maracá faz parte do complexo geológico conhecido como Escudo das Guianas, formado no período Pré-cambriano. As rochas possuem maior proporção de granito, com presença de afloramentos de xistos, quartzitos e anfibólitos (ROBISON; NORTCLIFF, 1991). O relevo varia de planícies de inundação a terrenos elevados localizados principalmente na porção oeste (CARVALHO, 2014), apresentando superfícies topográficas suaves onduladas (da ordem de 50 a 100 metros de altitude relativa com declives de 3 a 8%) e fortes ondulações com elevações de 100 a 200 m de altitude relativa a declives entre 20 a 45% (EMBRAPA, 1979).

### 3.2.2 Solos

De forma geral, os solos de Maracá podem ser considerados arenosos, com baixa concentração de nutrientes e pH ácido variando em torno de 4,9 (THOMPSON et al., 1998). Porém, os solos mostram grande variedade, como extremamente distróficos ou eutróficos, associados a extremamente arenosos ou argilosos. O predomínio é de mineralogia quartzosa, caulínica, ou uma mistura das duas. As propriedades químicas nos solos diferem dependendo do tipo de rocha mãe, geralmente coberta por aludes de diferentes profundidades. Nas colinas predominam o quartzito e nas encostas dominadas por granito predominam as rochas ricas em bases (ROBISON; NORTCLIFF, 1991).

### 3.2.3 Vegetação

Na Ilha de Maracá se destacam as florestas ecotonais compostas principalmente por duas grandes formações: florestas ombrófilas abertas e florestas estacionais (deciduais e semideciduais). As florestas ombrófilas são caracterizadas por um conjunto de espécies de árvores (com raras ou nenhuma espécie caducifólia) associadas a espécies de palmeiras que estão situadas em ambientes que não sofrem inundação sazonal (terra firme), situando-se em altitudes sempre acima dos 60m. Nesses casos, o relevo quase sempre é plano e cortado por pequenos igarapés florestados. A floresta estacional semidecidual apresenta indivíduos de grande porte (~35 m de altura) funcionando como emergentes, dominando o dossel superior. Não sofre (ou sofre raramente) influência de inundação periódica e o desfolhamento sazonal confere aspecto semidecidual (20-50% de abundância de indivíduos caducifólios), conforme definição do Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012). A floresta estacional decidual (tipicamente caducifólia; > 50% espécies caducifolias), geralmente está associada a monodominância do gênero *Peltogyne* (*Peltogyne gracilipes* + *Peltogyne paniculata*) (Fabaceae), e está inserida em um contexto ambiental de vales (baixadas) e depressões arenosas com pequenos cursos de água que geralmente sofrem inundação periódica de curto prazo (ROBISON; NORTCLIFF, 1991). Devido ao aspecto caducifoliar, ambos os tipos florestais são tratados dentro de um único grupo (estacional).

### 3.2.4 Clima

Maracá possui sazonalidade climática e está situada no clima tropical úmido (A), em uma transição dos subtipos savana (Aw) para o de monções (Am) (THOMPSON et al., 1998; CARVALHO, 2014). Maracá apresenta um período chuvoso que vai de abril a setembro com precipitação média mensal entre 140 até 420 mm, e um período seco que vai de outubro a março com precipitação média mensal entre 40-130 mm (CARVALHO, 2014), com temperaturas entre 19 e 46°C (HEMMING, 1988).

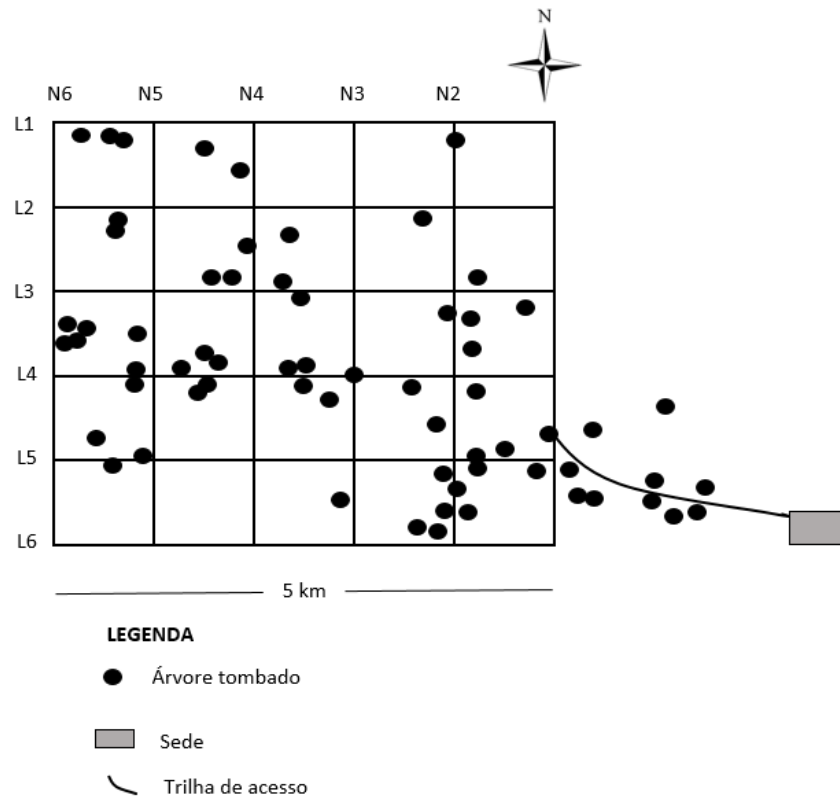
### 3.3 DESENHO AMOSTRAL

Neste estudo, a unidade amostral é definida como **árvore tombada** (morta há menos de 6 meses ou ainda viva; a maioria ainda com folhas presentes nos galhos) com DAP (diâmetro à 1.3 m do solo) maior ou igual a 10 cm e que possuam raízes expostas (Figura 2). Árvores mortas há mais de 6 meses e/ou em avançado estágio de decomposição não fizeram parte do conjunto de dados, pois não havia condições de assegurar que a maioria das raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm, estivessem aptas a serem medidas pelo estudo. Não foram amostradas palmeiras, porque seu sistema radicular não possui raízes grossas. A seleção das unidades amostrais (N) foi realizada a partir de caminhamentos ao longo da trilha principal e das 12 trilhas (6 no sentido N-S e 6 no sentido L-O) que cortam a grade de pesquisa do PPBio situada no leste de Maracá (Figura 3).

Figura 2- Árvore tombada com raízes expostas



Figura 3- Esquema da grade de pesquisa do PPBio (ESEC Maracá), onde L1-6 são as trilhas Norte-Sul e N1-6 são as trilhas Leste-Oeste. Círculos pretos representam unidades amostrais



A seleção das unidades amostrais (65 árvores tombados) foi aleatória e realizada na época seca durante os meses de outubro/2016 e janeiro e fevereiro/2017, considerando que a queda das árvores, e seu efeito em cadeia, é um processo estocástico sem qualquer relação com espécie, idade ou porte dos indivíduos.

### 3.4 MEDIÇÕES RELACIONADAS ÀS UNIDADES AMOSTRAIS

Em cada indivíduo amostrado foram medidos o DAP (diâmetro à altura do peito) e altura total (da base do caule até o topo da copa). Como as trilhas possuem piquetes georreferenciados (UTM) a cada 50 m de distância (VALE; ARAUJO; CASTILHO, 2015), cada amostra teve registrado os dados de altitude e o tipo florestal correspondente (ombrófila ou estacional), conforme estabelecido nos metadados da vegetação da grade (BARBOSA, 2011).

### 3.4.1 Estimativa da biomassa de raízes grossas

A biomassa das raízes grossas de cada indivíduo foi estimada como a soma dos seguintes componentes: a) raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm (correspondente a raízes subterrâneas com circunferência  $\geq 6,37$  cm), b) raízes tabulares (também denominadas como raízes aéreas ou raízes escoras) e c) colo do fuste (parte do caule situado logo abaixo da linha do solo que suporta a árvore e faz a ligação direta com o sistema radicular do indivíduo arbóreo). Esta última, embora não seja considerado como tipicamente raiz (não contabilizada nas estimativas regionais e globais), será incorporado a esse compartimento nesse estudo como forma de melhorar a estimativa da biomassa arbórea subterrânea.

O limite de diâmetro para coleta de informações biométricas das raízes ( $\geq 20$  mm) está relacionado à facilidade de visualização e medição deste componente exposto, e porque raízes mais finas em árvores mortas (mesmo que recentes) são efêmeras e desaparecem rapidamente. Além disto, este estudo é complementar à investigação de Carvalho, Barbosa e Nascimento (2015) que foi realizado na mesma grade do PPBio, e que visou estimar raízes com diâmetro  $< 20$  mm partindo de amostragens realizadas até 1 m de profundidade. Ambos os estudos visam ajustar os estoques de biomassa/carbono de raízes, nos diferentes tipos de florestais dispersos que integram essa zona de ecotóno em Roraima.

Após a seleção dos indivíduos, o trabalho de campo teve os seguintes passos:

- i) Limpeza do solo que recobria as raízes grossas;
- ii) Medição da circunferência (para obtenção do diâmetro) e comprimento de todos os segmentos de raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm. O volume individual das raízes subterrâneas foi determinado com a fórmula do volume do cilindro  $[(\pi \times D^2)/4] \times C$ , onde D é o diâmetro e C o comprimento (Figura 4);
- iii) Medida das raízes tabulares (quando o caso) tomando como base o desenho de um triângulo retângulo utilizando as medidas da base (cateto maior- $C_1$ ), a altura (cateto menor- $C_2$ ) e espessura ( $E$ ), para a determinação do volume  $[(C_1 \times C_2/2) \times E]$  a partir do uso da fórmula da área de um triângulo retângulo multiplicado pela espessura (Figura 5);
- iv) Medição do diâmetro e da altura do colo do fuste, considerando o ponto onde as raízes são inseridas até a marca do solo que limita o fuste da raiz. O volume do

colo do fuste foi determinado com a fórmula do volume do cilindro  $[(\pi \times D^2)/4] \times H$ , onde D é o diâmetro e H a altura (Figura 6);

- v) O colo do fuste das árvores com raízes tabulares foi estimado pela projeção do diâmetro do fuste com a medida da altura das raízes subterrâneas (Figura 7). O volume também foi determinado a partir da fórmula do volume do cilindro.

Todas as raízes observadas e o colo do fuste foram medidas com fita métrica.

Figura 4- Medições de raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm: a) circunferência (ou perímetro) e b) comprimento

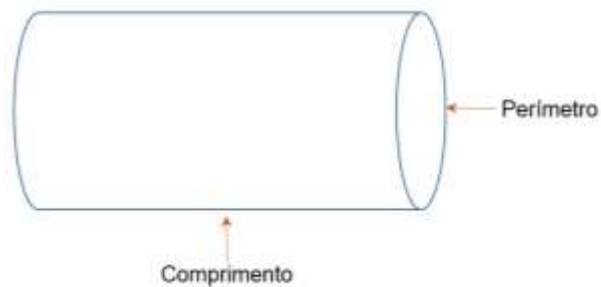
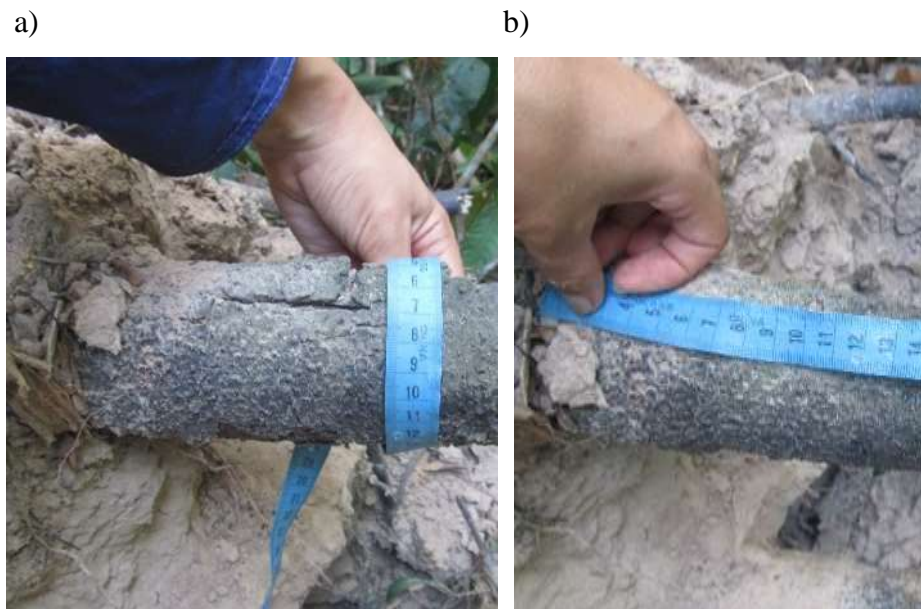




Figura 5- Medição de raiz tabular

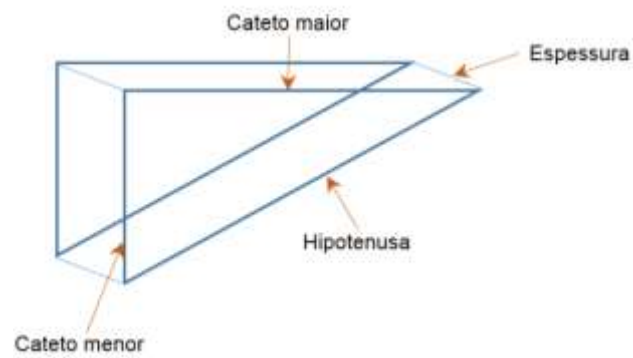


Figura 6- Medição de a) altura e b) diâmetro de colo de fuste

a) b)

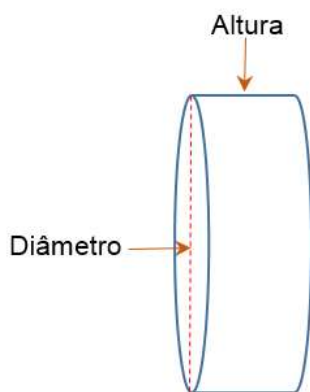
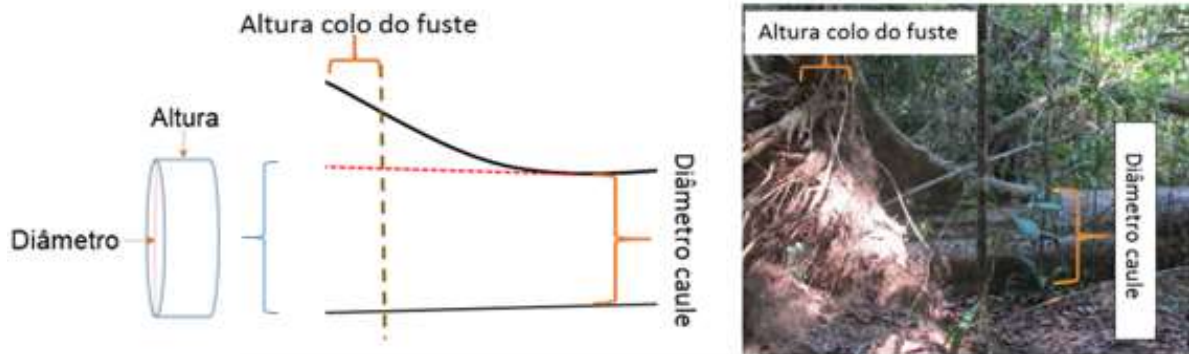


Figura 7- Medição de altura e diâmetro de colo de fuste em árvores com raízes tabulares



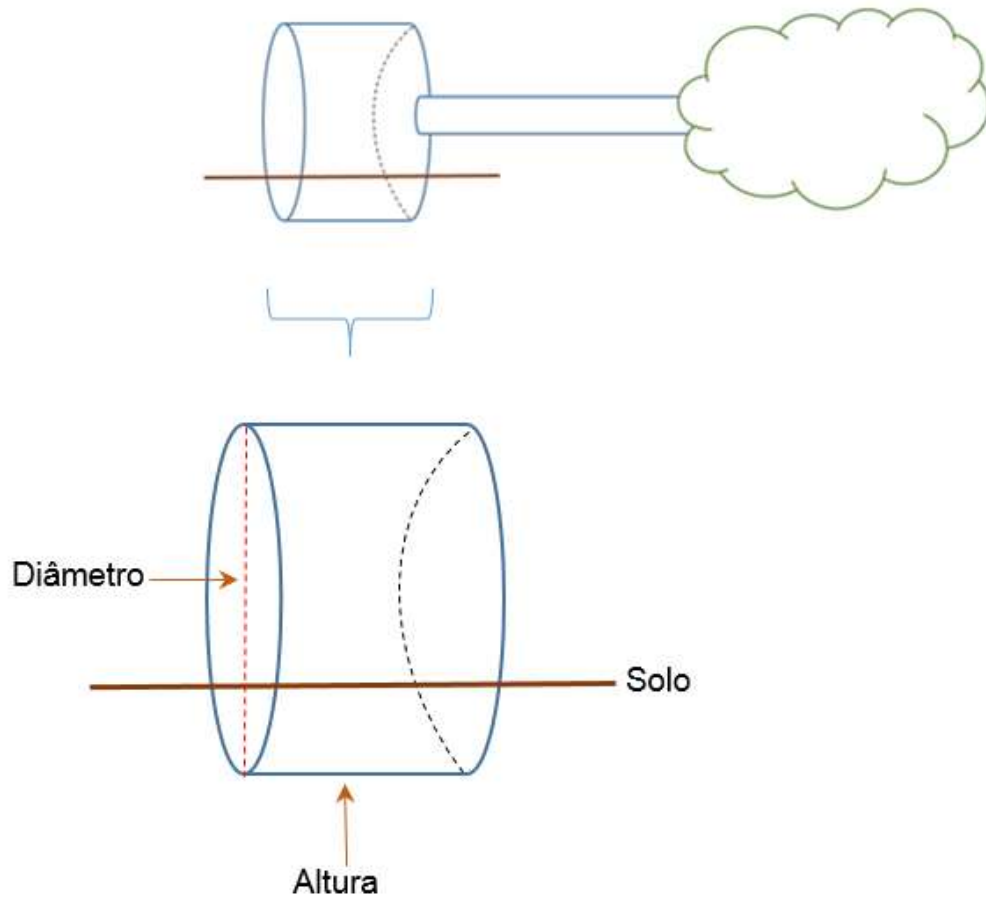
### 3.4.2 Determinação da fração exposta de raiz

Foi adotado um método de cálculo para determinar a porcentagem de raízes expostas baseado nas medidas de altura e diâmetro das raízes expostas (Figura 8). A aplicabilidade foi pela necessidade de realizar uma estimativa do quanto de raízes estava exposta acima do solo (%) e o quanto ainda estava encoberto pelo solo (%). A estimativa de porcentagem de cada uma destas projeções foi realizada em campo. Para determinar a fração média exposta nas duas dimensões foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\% FER = [(\pi \times D^2)/4] \times (H) \times (\% EC)$$

Com a representação de  $\% FER$ , que é a porcentagem da fração exposta de raiz, igual a área do círculo  $(\pi \times D^2)/4$ , formado pela projeção do diâmetro  $D$ , pela altura  $H$ . Logo multiplicado pela estimativa da porcentagem de raízes expostas acima do solo que compõe o cilindro ( $\% EC$ ).

Figura 8- Medição de diâmetro e altura para determinar a porcentagem relativa da fração exposta de raiz



### 3.4.3 Gravidade específica

Amostras de raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm e peças de galhos foram coletadas em cada árvore observada, com o intuito de estimar a gravidade específica da madeira (GE – definida abaixo) destes dois componentes:

GE= peso seco da amostra (g) / volume verde da amostra (cm<sup>3</sup>) / densidade da água (g/cm<sup>3</sup>)

Para a extração das amostras foram utilizadas serras manuais para o corte, preconizando amostras com diâmetro sempre entre 2-5 cm (devido à limitação da própria serra manual) e de

comprimento entre 3-5 cm para que não houvesse problemas de reidratação das peças amostrais na fase laboratorial.

Para determinar o volume verde das amostras, todas as peças coletadas foram marcadas e imersas em água com casca no laboratório de triagem do Núcleo de Pesquisas do INPA em Boa Vista - Roraima, trocando-se a água a cada dois dias até atingir a reidratação total e manter condições similares de saturação de campo (Figura 9), conforme o sugerido por Nogueira et al.(2008). Após esse procedimento, foi medido o peso da água deslocada para cada amostra saturada (princípio de Arquimedes), aproveitando uma balança eletrônica de precisão (0,01 g) e uma proveta graduada de 1 litro (Figura 10). Finalizada esta etapa, as amostras foram secas em estufa a  $100 \pm 2^{\circ}\text{C}$  até peso constante, registrando-se o valor em uma planilha laboratorial. Esse mesmo procedimento foi repetido para as amostras “sem casca” conforme sugerido por Williamson e Wiemann (2009), com o intuito de testar os dois métodos (gravidade específica das amostras com casca e sem casca) e verificar diferenças entre ambos (Apêndice A). Para calcular a biomassa de cada raiz observada em campo, foram utilizados os parâmetros das amostras com casca, com o intuito de manter os mesmos procedimentos comparativos com outros estudos realizados em Roraima (BARBOSA et al., 2012).

Figura 9 - Reidratação das amostras de galhmos e raízes coletadas em campo



Figura 10 - Medição do peso da água deslocada



### 3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados com os seguintes processos:

#### 3.5.1 Biomassa de raízes grossas vs. características biométricas e altitude

A biomassa das raízes grossas de cada indivíduo arbóreo foi calculada tomando como base a soma de todos os componentes observados em campo (raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm, tabulares e colo do fuste). Para tanto, o volume de cada componente foi calculado individualmente e, em seguida, multiplicado por sua gravidade específica correspondente: “raízes” para raízes subterrâneas e tabulares, e “galhos” para o colo do fuste.

Com a informação da biomassa de raízes grossas (Mg) de cada indivíduo arbóreo (variável dependente), foram testados modelos de regressão (linear e não linear) para determinar o tipo de relação existente com as variáveis independentes DAP (cm), altura total

(m) e altitude (m). As duas primeiras para testar a relação com as características biométricas de cada indivíduo e, a última, para verificar a relação com o gradiente ambiental, tomando como base a altitude, que em última instância, infere informações sobre as macrocondicionantes ambientais de onde o indivíduo foi observado.

### 3.5.2 Biomassa das raízes grossas por tipo florestal

Para determinar diferenças nos estoques de biomassa de raízes grossas entre os dois principais tipos florestais observados no leste de Maracá, foram aproveitados os resultados preliminares do inventário florestal realizado como parte do trabalho da tese de Williamar Silva (PRONAT/UFRR) e da dissertação de Carlos Darwin Angulo Villacorta (PRONAT/UFRR), desenvolvido na mesma área amostral do PPBio. Esse inventário possui dados de DAP (> 3000 indivíduos) observados para 129 parcelas inventariadas por toda a grade do PPBio. Esses dados foram transformados em biomassa de raízes grossas por indivíduo e em seguida por unidade de área ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) aproveitando o modelo de melhor capacidade explicativa que o estudo detectou no item anterior, que relaciona a biomassa de raízes grossas com o DAP. Por fim, foi estimada a biomassa de raízes grossas por tipo florestal dominante. Com as estimativas de biomassa de raízes grossas para cada parcela, foram obtidas as médias de cada tipo florestal e comparadas através do Teste t ( $\alpha = 0.05$ ), utilizando para a análise o programa R (R CORE TEAM, 2013).

Por fim, foram tomadas as porcentagens individuais dos componentes da biomassa de raízes grossas (subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm, tabulares, colo do fuste), além de calculado as razões root:shoot (razão entre a biomassa de raízes grossas e a biomassa da parte aérea) tanto para as florestas ombrófilas quanto para as estacionais de Maracá. A razão root:shoot serve para incorporar os valores de biomassa de raízes de forma mais realística nos inventários nacionais de emissão e estoque de carbono, evitando o uso de uma única porcentagem sobre a biomassa acima do solo que atualmente é adotado para todos os tipos florestais analisados (BRASIL, 2010; BRASIL, 2014).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em seguida são apresentados os resultados e a discussão da pesquisa do efeito dos parâmetros biométricos e da altitude em estimativas da biomassa de raízes grossas de árvores em florestas do ecótono norte da Amazônia brasileira:

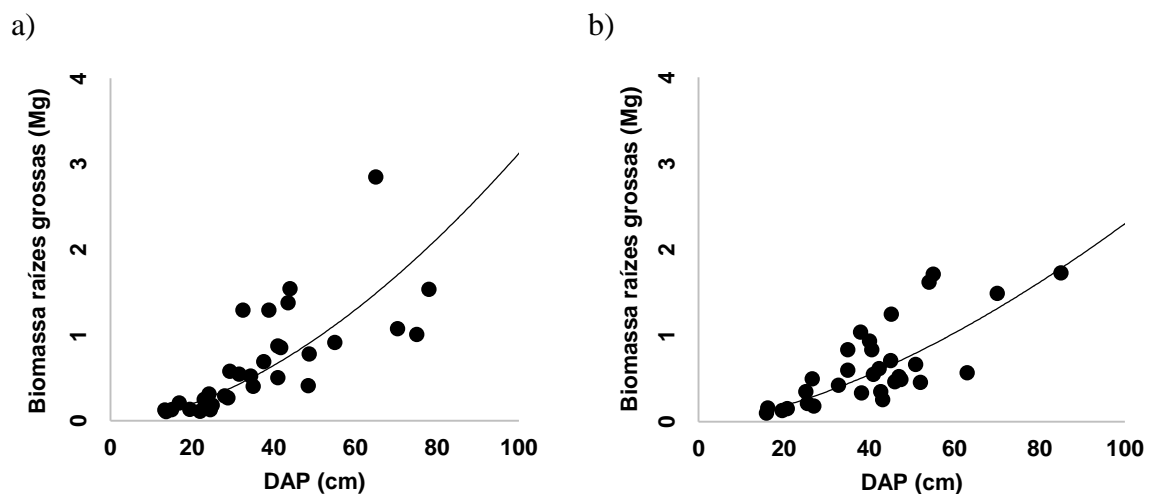
### 4.1 RESULTADOS

Os resultados foram os seguintes:

#### 4.1.1 Biomassa de raízes grossas vs. características biométricas e altitude

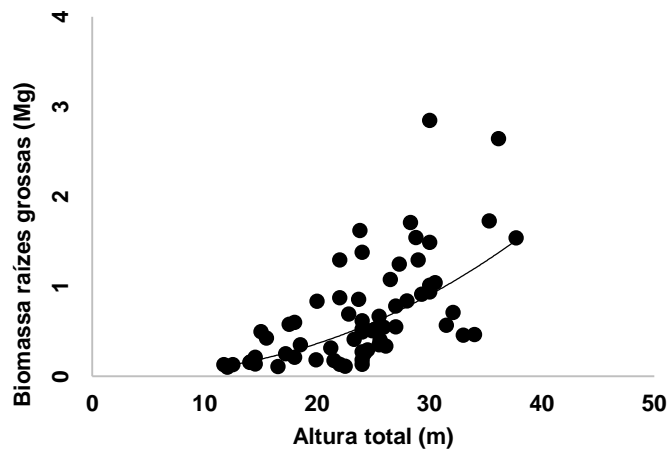
Os melhores modelos (regressão alométrica) para delimitar as relação entre biomassa de raízes grossas e o DAP, para as duas formações florestais, foram não lineares: floresta ombrófila ( $Y = 0.0011 \times X^{1.7206}$ ;  $n = 33$ ;  $R^2 = 0.7855$ ) e floresta estacional ( $Y = 0.0016 \times X^{1.5742}$ ;  $n = 32$ ;  $R^2 = 0.7061$ ), com a floresta ombrófila apresentando um melhor poder preditor (Figura 11).

Figura 11 - Modelos de regressão da biomassa de raízes grossas (Mg) em relação a DAP (cm) de árvores presentes em florestas do ecótono do noroeste de Roraima: (a) floresta ombrófila e (b) floresta estacional



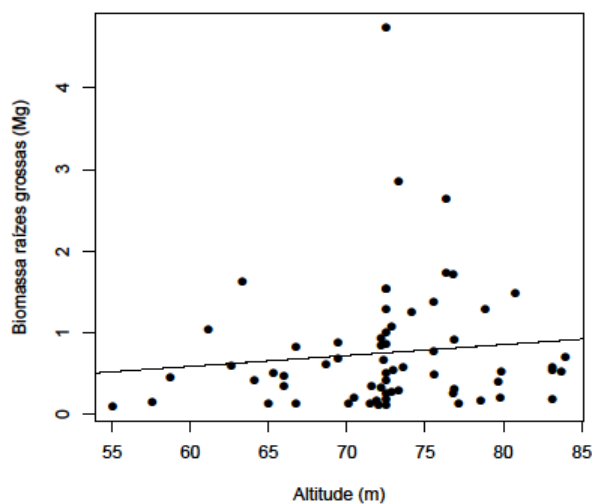
De forma geral, biomassa de raízes grossas foi parcialmente explicada pela altura total dos indivíduos arbóreos amostrados, independente do tipo florestal:  $Y = 0.0004 \times X^{2.2512}$ ;  $n = 65$ ;  $R^2 = 0.4858$  (Figura 12).

Figura 12- Modelo linear entre a biomassa de raízes grossas (Mg) e a altura total (m) das árvores situadas em florestas ecotonais do noroeste de Roraima



As análises não resultaram em qualquer significância relacionando biomassa de raízes grossas com a altitude que, em última instância, representou uma referência do gradiente ambiental:  $Y = -0.21058 + 0.01332 \times X$ ;  $n = 65$ ;  $R^2 = 0.01152$  (Figura 13).

Figura 13 - Regressão não significativa entre biomassa de raízes grossas (Mg) e a altitude (m) do local onde as árvores das florestas ombrófilas e estacionais foram observadas

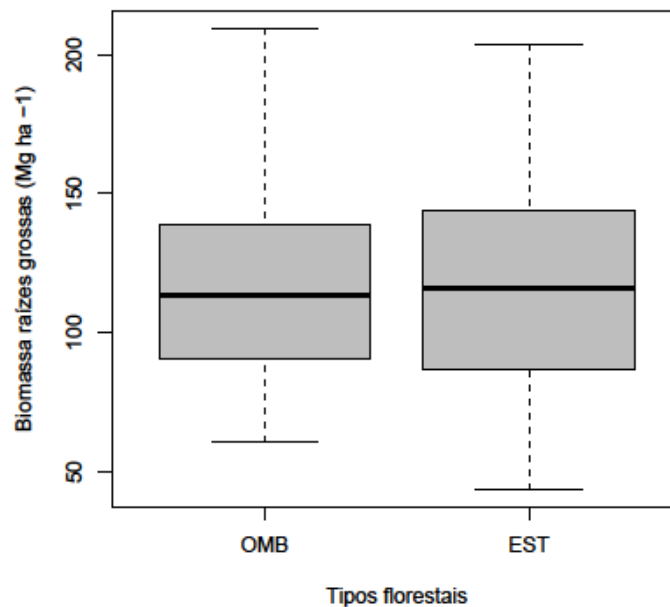




#### 4.1.2 Biomassa das raízes grossas por tipo florestal

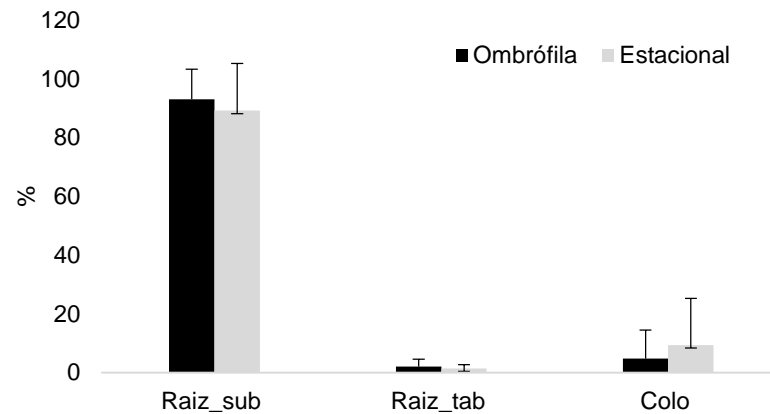
A média do total de biomassa de raízes grossas entre o conjunto das florestas ombrófila ( $117.9 \pm 34.1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e estacional ( $118.9 \pm 39.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) não diferiu significativamente ( $t = -0.1455$ ,  $p = 0.8846$ ), indicando que esses ecossistemas respondem igualmente às variações estruturais e de composição de espécies (Figura 14).

Figura 14 - Gráfico da relação de biomassa das raízes grossas com os tipos florestais dominantes. A linha horizontal indica o valor da mediana, a caixa (box-plot) representa o primeiro e o terceiro quartis, e as barras o valor máximo e mínimo para cada intervalo. OMB = florestas ombrófilas e EST = florestas estacionais



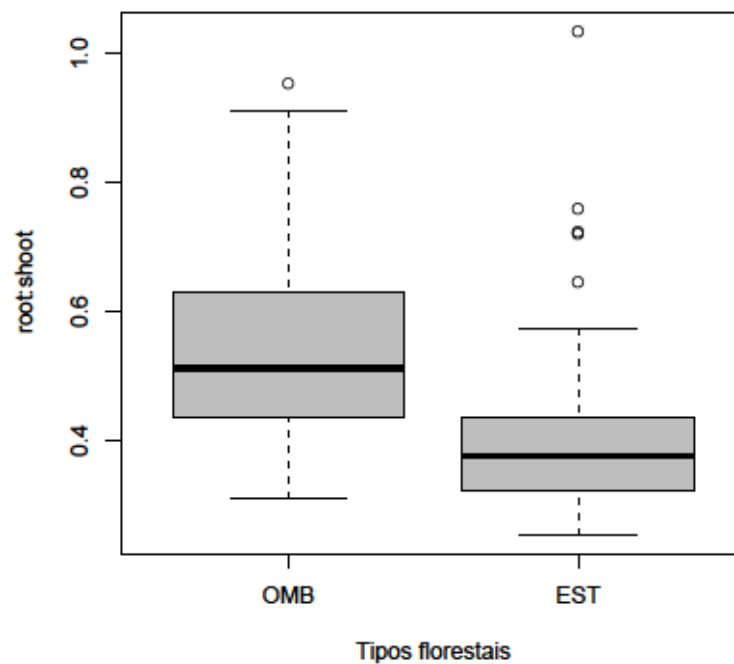
A biomassa proporcional dos componentes definidos como “raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20 \text{ mm}$ ” e “colo do fuste” foi numericamente maior na floresta ombrófila do que na floresta estacional, mas a diferença estatística não foi significativa ( $t = 1.1570$ ,  $p = 0.2525$  e  $t = 1.3225$ ,  $p = 0.1912$ ), respectivamente. Por outro lado (Figura 15), as raízes tabulares apresentaram maior porcentagem numérica na floresta estacional (9.34%), mas da mesma forma, não foram significativamente distintas ( $t = -1.3775$ ,  $p = 0.1744$ ) da floresta ombrófila (4.80%).

Figura 15 - Diferenças de porcentagem nas florestas ombrófila e estacional de raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm (Raiz\_sub), raízes tabulares (Raiz\_tab) e colo de fuste (Colo). Barras verticais representam o desvio padrão (DP)



Os resultados de *root:shoot* (Figura 16) indicaram que a floresta ombrófila ( $0.53 \pm 0.13$ ) possui maior razão ( $t = 4.7314$ ,  $p < 0.0000$ ) do que o estimado para as florestas estacionais ( $0.41 \pm 0.14$ ).

Figura 16 - Gráfico das diferenças de valores de *root:shoot* entre floresta ombrófila (OMB) e estacional (EST). A linha horizontal indica o valor da mediana de *root:shoot*, a caixa (box-plot) representa o primeiro e o terceiro quartis, e as barras o valor máximo e mínimo para cada intervalo. OMB = florestas ombrófilas e EST = florestas estacionais



## 4.2 DISCUSSÃO

A discussão correspondente a cada resultado é a seguinte:

### 4.2.1 Biomassa de raízes grossas vs. características biométricas e altitude

O atual estudo é o primeiro a derivar estimativas de biomassa de raízes grossas em indivíduos arbóreos de diferentes aspectos biométricos e ambientais no extremo norte da Amazônia brasileira, sugerindo também um método inovador de baixo custo para estimar raízes de árvores. Desta forma, são difíceis as comparações entre outros estudos com medição de biomassa e carbono relacionado a raízes arbóreas, não só devido a sua escassez, mas principalmente por causas relacionadas a diferentes técnicas de amostragem e pela heterogeneidade inerente dos sistemas radiculares (SOCHACKI et al., 2016). Isso porque as variações metodológicas entre os estudos acabam se traduzindo em diferenças acentuadas nas equações alométricas (WARING; POWERS, 2016). Contudo, a falta de modelos para a comunidade arbórea resulta em um problema ainda maior e de difícil solução (BRASSARD et al., 2011), principalmente em se tratando de formações florestais não amostradas na Amazônia.

Tanto na floresta ombrófila quanto na estacional do ecótono de Maracá, as árvores com maior DAP apresentaram maior biomassa de raízes grossas, porque precisam manter uma maior biomassa aérea. Essa relação não é nova, pois a maioria das raízes tem função de apoio e transporte (PREGITZER et al., 1997) e, descrever matematicamente essas relações entre os diferentes ecossistemas representa um avanço crucial para o desenvolvimento de relatórios de emissão e reservatório de carbono mais acurados pelo Brasil. Essa vem sendo a tônica de outros estudos desenvolvidos em florestas tropicais que apresentam fortes relações alométricas entre biomassa da raiz e DAP (KENZO et al., 2009), concordando com os achados do estudo em tela. Da mesma forma, Brassard et al. (2011) também indicaram fortes relações alométricas da biomassa radicular com o DAP em modelos desenvolvidos para árvores de grande porte. Porém, nesse caso particular, os autores também delimitaram boas correlações da biomassa de raízes com a altura total do indivíduo arbóreo, o que foi parcialmente explicado pela amostragem realizada em Maracá. Para Maracá, o modelo preditor entre biomassa de raiz e altura total explicita um nível de explicação mediano (~50%), sugerindo a necessidade de um maior

número de unidades amostrais para que o mesmo se torne tão efetivo quanto para a variável DAP.

A altitude foi uma variável utilizada nesse estudo para representar o gradiente altitudinal que, em última instância, indica variações ambientais associadas a relevo e drenagem, pois em Maracá as partes mais baixas são planas e tendem a sofrer impactos sazonais de inundação (flutuação do lençol freático), gerando condições hidro-edáficas mais restritivas para o estabelecimento dos indivíduos arbóreos. Contudo, apesar da variabilidade das principais formas de relevo serem úteis para o entendimento da distribuição da vegetação (MONTERO; LATRUBESSE, 2013), implicando em pequenas variações da fertilidade nos solos (MENDONÇA et al., 2013), essas macrocondicionantes ambientais não foram suficientes para determinar distinções entre os valores observados ao longo do gradiente de altitude em Maracá da ordem de 50 a 200 (EMBRAPA, 1979). Por outro lado, esse resultado concorda com Cattanio et al. (2004) que indicaram que o total de raízes ( $\geq 2$  mm de diâmetro) em sistemas florestais da Amazônia pode não apresentar diferenças significantes entre as baixas ( $40 \pm 9.3$  Mg ha<sup>-1</sup>), intermediárias ( $36 \pm 8.1$  Mg ha<sup>-1</sup>) e altas ( $35 \pm 4.8$  Mg ha<sup>-1</sup>) altitudes. Isso implica que mesmo sob distintas condições ambientais, o estoque de carbono relacionado a biomassa radicular se mantém constante em formações florestais distintas, porém adjacentes.

#### 4.2.2 Biomassa das raízes grossas por tipo florestal

Em termos dos resultados obtidos por grupo fitofisionômico, os valores de biomassa de raízes grossas na floresta ombrófila (geralmente situadas em partes com menores restrições hidro-edáficas) se postou de forma semelhante às florestas estacionais (situadas geralmente sob maiores restrições hidro-edáficas). Essa observação destoa do sugerido por Hemming (1994), que indicava que o tipo florestal estacional na Ilha de Maracá, por ter menor cobertura de dossel em alguns períodos do ano, e crescer em condições desfavoráveis de nutrientes no solo, tenderia a possuir uma escassa quantidade de raízes. A atual amostragem em Maracá indicou que, embora a floresta estacional perca suas folhas e esteja situada em ambientes restritivos, sua capacidade adaptativa em produzir outras formas de raízes (tabulares/aéreas) compensaram o menor estoque subterrâneo. Essa explicação provisória está relacionada ao fato de que em Maracá, os habitats sob maiores altitudes (ombrófilas) possuem menores proporções de raízes aéreas em relação as estacionais. Isso porque nos habitats com as elevações maiores, a tendência

é de aumento no comprimento de raízes laterais de primeira ordem (BOUMA et al., 2001) ao invés de altos investimentos em estruturas externas de sustentação aérea. Como a alocação diferencial de carbono para a biomassa das raízes depende da disponibilidade de água no solo durante as estações (LEE et al., 2005), essa relação acabou sendo compensatória entre as fitofisionomias observadas, não apresentando diferenças significativas no total de biomassa de raízes.

Outra observação importante derivada do fato das florestas estacionais possuírem maior porcentagem de raízes tabulares está relacionada à própria característica de algumas áreas de baixa altitude de Maracá. Nas áreas mais restritivas de baixadas (sazonalmente alagadas), a floresta estacional é tipicamente decidual e associada à conglomerados monodominantes do gênero *Peltogyne* como *P. gracilipes* (ROBISON; NORTCLIFF, 1991). A forte presença das raízes tabulares neste tipo florestal estava diretamente relacionada aos indivíduos de grande porte das espécies desse gênero, pois as mesmas são tipicamente caracterizadas por árvores de grande biomassa aérea assentadas em ambientes que sazonalmente alagam, induzindo a naturais formas adaptativas (raízes tabulares / aéreas) que sirvam como escora para o indivíduo. Assim sendo, as adaptações específicas/individuais dentro de cada tipo florestal indicam que a quantidade de alocação de carbono nos diferentes compartimentos que formam o conjunto radicular (subterrâneas + tabulares + colo do fuste) pode estar associada a variações ambientais, embora essa observação quantitativa não tenha sido conclusiva para Maracá. Nesse caso, essa observação implicaria que o estoque de carbono dos diferentes compartimentos radiculares estaria indiretamente associado à estrutura e diversidade arbórea, variando de forma independente entre sítios e continentes detentores de floresta tropical, como indicado por Sullivan et al. (2016), resultando em distinções mais eficientes do estoque de carbono radicular derivado dos diferentes tipos florestais.

Dentro de um contexto geral, as estimativas de biomassa de raízes total no estudo em tela (ombrófila =  $117.9 \pm 34.1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; estacional =  $118.9 \pm 39.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) representam diferenças em relação a outros estudos com estimativas de mesma natureza. Por exemplo, Barbosa, Keizer e Pinto (2010) reportaram valores de  $74.26 \text{ Mg ha}^{-1}$  (floresta estacional semidecidual) e  $56.24$  e  $70.88 \text{ Mg ha}^{-1}$  (floresta ombrófila) para biomassa viva abaixo do solo estimada para o estado de Roraima. Os menores valores dos referidos autores indicam estarem relacionados com o método de estimativa indireto que eles realizaram baseados em dados externos à realidade ambiental de Roraima, além da não inclusão de compartimentos

considerados como radiculares no estudo em tela (tabulares + colo do fuste) que, por si só, derivaria um viés de redução da ordem de 10-20% sobre o total estimado.

Essas diferenças possuem consequências diretas na razão *root:shoot* que, em última instância, é o conversor relacional entre a biomassa acima do solo e a biomassa abaixo do solo (no caso desse estudo, biomassa radicular composta por três compartimentos). Por exemplo, os valores indicados por Barbosa, Keizer e Pinto (2010) para ambos os tipos florestais de Roraima oscilaram entre 0.21-0.22, enquanto os calculados nesse estudo foram de 0.41 (estacionais) e 0.53 (ombrófilas), números que indicam razões *root:shoot* mais que duplicadas em relação aos dados utilizados por Barbosa, Keizer e Pinto (2010). Razões *root:shoot* entre 0.30 e 0.50 parecem ser mais comuns na Amazônia, tomando como base as medidas diretas realizadas por Silva (2007) em uma região de floresta primária nas proximidades de Manaus (~0.37). Nesse trabalho, a autora verificou que a distribuição da biomassa total da floresta entre raízes grossas (27.1%) e biomassa acima do solo (72.9%) resulta em um padrão aproximado para a Amazônia Central, sendo uma boa referência para outras regiões também. Desta forma, embora ainda exista grande necessidade de ampliação dos estudos através de um número maior de ecossistemas florestais locais e regionais, não há dúvidas de que estimativas de ordem direta realizadas no nível do ecossistema remetem a valores mais acurados, permitindo estimativas mais seguras para modelamentos da biomassa e estoque de carbono radicular local e regional.

A razão *root:shoot* é o elemento chave dentro dos cálculos gerais utilizados pelo IPCC (EGGLESTON et al., 2006), mas é geralmente o mais carregado de incertezas. Isso é porque as florestas tropicais possuem poucos dados de biomassa subterrânea e com enorme variação nas equações alométricas disponíveis (WARING; POWERS, 2016). No caso de Maracá, a floresta ombrófila apresentou a maior razão em relação à estacional. Contudo, esse não parece ser um padrão observável para todas as formações arbóreas ou florestais, podendo ser totalmente inverso, por exemplo, em ecossistemas típicos do Cerrado brasileiro, onde a proporção *root:shoot* é menor nas áreas de dossel fechado em relação às áreas de vegetação onde o dossel é tipicamente sazonal (DURIGAN; MELO; BREWER, 2012). Fatores estruturais e de composição de espécies indicam afetar essa razão, independente se o ambiente é caracterizado por maiores ou menores restrições hidro-edáficas ou zonas climáticas. Porém, modelos para a biomassa total relacionando distribuição de biomassa acima e abaixo do solo indicam estar mais afetados por condicionantes ambientais, como mudanças na precipitação (ZILVERBERG et al., 2017). Em Maracá, as áreas de maior restrição (baixadas de florestas

deciduais monodominadas por *Peltogyne*) foram as de menor razão *root:shoot*, sendo um valor totalmente oposto ao esperado para florestas deciduais ao redor do planeta que apresentam uma média geral de 0.47 (BROWN, 1997). Essa observação implica no comentário de que as florestas na Amazônia representam comunidades biológicas com uma história evolutiva de interações entre espécies com o ambiente que podem derivar valores *root:shoot* totalmente adversos entre si, mesmo se tratando de fitofisionomias de mesma definição. Portanto, é crucial ampliar o número de áreas amostrais, sendo essencial priorizar a criação de redes de pesquisa baseadas, principalmente, em áreas protegidas, que apesar de problemas pontuais, possuem uma estratégia de conservação florestal razoavelmente eficaz, fornecendo um amplo leque de possibilidades para ampliação dos dados sobre biomassa arbórea, em especial sobre a biomassa arbórea radicular para toda a Amazônia.

## 5 CONCLUSÕES

- Os melhores modelos preditores de biomassa de raízes grossas para as florestas ombrófila e estacional, são não-lineares e derivados da variável biométrica DAP.
- A variável altura total é uma preditora importante, mas de papel secundário.
- A altitude não foi configurada como um preditor eficiente da biomassa das raízes.
- As raízes subterrâneas com diâmetro  $\geq 20$  mm foram encontradas em maior proporção na floresta ombrófila e as raízes tabulares na floresta estacional.
- O estoque total de biomassa de raízes ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) é independente da formação florestal (ombrófila / estacional).



## REFERÊNCIAS

- 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. 2012.
- BARBOSA, R. I. **Classificação e distribuição espacial das principais unidades fitofisionômicas da grade da ESEC Maracá**. Amazonas: INPA, 2011. Disponível em: <<http://ppbiodata.inpa.gov.br/metacatui/#view/menger>>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- BARBOSA, R. I.; KEIZER, E.; PINTO, F. Ecossistemas 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.
- BARNI, P.E. et al. Deforestation and forest fires in Roraima and their relationship with phytoclimatic regions in the Northern Brazilian Amazon. **Environmental Management**, Waco, v. 55, p. 1124-1138, may. 2015.
- BARNI, P. E. et al. Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 377, p. 170-181, jul. 2016.
- BOUMA, T.J. et al. Root system topology and diameter distribution of species from habitats differing in inundation frequency. **Functional Ecology**, Lexington, v. 15, n. 3, p. 360-369, may. 2001.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. **Segunda comunicação nacional do Brasil a convenção quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. 280 p.
- \_\_\_\_\_. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**. 2. ed. Brasília: MCTI, 2014. 161 p.
- NOBRE, C.A. et al. **Relatório No. 6. Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul**. São Paulo: MMA, 2007. 25 p.
- BRASSARD, B.W. et al. Coarse root biomass allometric equations for *Abies balsamea*, *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, and *Populus tremuloides* in the boreal forest of Ontario, Canada. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 35, p. 4189-4196, jul. 2011.
- BROWN, S. 1997. **Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer**. Urbana: FAO, 1997. 55 p.
- CAIRNS, M.A. et al. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, New York, v. 111, p. 1-11, jan.1997.
- CARVALHEIRO, K.O.; NEPSTAD, D.C. Deep soil heterogeneity and fine root distribution in forests and pastures of eastern Amazonia. **Plant and Soil**, Crawley, v.182, p. 279-285, apr. 1996.

- CARVALHO, L.C. **Ecologia e estrutura filogenética de uma floresta monodominante na Amazônia**. 2014.188p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.
- CATTANIO, J.H. et al. Phenology, litterfall, growth, and root biomass in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 703-712, dez. 2004.
- CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**. Hoboken, v. 20, p. 3177-3190, apr. 2014.
- 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. **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: 10 nov. 2016.
- EMBRAPA. **Serviço nacional de levantamento e conservação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1979. 83 p.
- FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 147-166, dez. 1998.
- FEARNSIDE, P.M.; LAURANCE, W.F. Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions. **Ecological Applications**, Pasadena, v. 14, n. 4, pp. 982-986, dec. 2004.
- GONÇALVES, E. **Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2007. 416 p.
- HEMMING, J. **Maracá: Roraima - Brasil**. São Paulo, SP: Empresa das Artes, Projetos e Edições Artísticas, 1988. 158 p.
- \_\_\_\_\_. **The rainforest edge plant and soil ecology of Maraca Island, Brazil**. Manchester. New York: University Press, 1994. 186 p.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 271 p.
- JARAMILLO, M.M. **Estrutura, biomassa arbórea e composição florística de ilhas de mata da savana de Roraima, Norte da Amazônia Brasileira**. 2015. 65 p. Dissertação (Mestrado em Recursos naturais). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2015.

- KENZO, T. et al. Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. **Journal of Tropical Ecology**, New York, v. 25, p. 371-386, mar. 2009.
- LEE, J.E. et al. Root functioning modifies seasonal climate. **PNAS**. San Diego, v. 102, n. 49, p. 17576-17581, oct. 2005.
- MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **TREE**. Edinburgh, v. 15, n. 8, p. 332-337, aug. 2000.
- MENDONÇA, B.F. et al. Solos e geoambientes do Parque Nacional do Viruá e entorno, Roraima: visão integrada da paisagem e serviço ambiental. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 427-442, jun. 2013.
- MONTERO, J.C; LATRUBESSE, E.M. The igapó of the Negro River in central Amazonia: linking late-successional inundation forest with fluvial geomorphology. **Journal of South American Earth Sciences**, Columbia, v. 46, p.137-149, may. 2013.
- NASCIMENTO, M. T.; PROCTOR, J. Population dynamics of five tree species in a monodominant *Peltogyne* forest and two other forest types on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 115-128. nov. 1997.
- NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, W.F. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 168, p. 311-321, may. 2001.
- NOGUEIRA, E. M. et al. Estimates of Forest biomass in the Brazilian: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology Management**. Amsterdam, v. 256. n. 11, p. 1853-1867, nov. 2008.
- PAGÈS, L. et al. Root Typ: a generic model to depict and analyse the root system architecture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 258, p. 103-119, jul. 2001.
- PREGITZER, K.S. et al. Relationships among root branch order, carbon and nitrogen in four temperate species. **Oecologia**, New York, v. 111, p. 302-308. mar. 1997.
- R CORE TEAM. **R- Project**. Versão 3.1. [S.I.]: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 maio 2016.
- RICHARDS, J.H. Root form and depth distributions in several biomes. In: CARLISLE, D. et al. **Mineral Explorations: Biological Systems and Organics Matter**. Englewood: Prentice-Hall, 1986. p. 83-97.
- ROBISON, D.M.; NORTCLIFF, S. Os solos da reserva ecológica de Maracá, Roraima: segunda aproximação. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 21, p. 409-424, nov. 1991.

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**, v. 8, n. 2, p. 205-221, mai. 2013.

SILVA, R.P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas (UFAM) / Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2007. 152 p.

SOCHACKI, S.J. et al. Accuracy of tree root biomass sampling methodologies for carbon mitigation projects. **Ecological Engineering**. Naples, v. 98, p. 264-274, nov. 2016.

SULLIVAN, M.J.P. et al. Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. 2017. **Scientific Reports**, Cambridge, v. 7, p. 1-12, jul. 2016.

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. Rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil: artificial gaps and plant response to them. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 102, p. 305-321, may. 1998.

TURCIOS, M. **Biomassa de raízes em ilhas de mata de savanas de Roraima: efeito da dimensão do fragmento, distribuição espacial e variáveis edáficas**. 2015. 55p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2015.

VALE, J.; ARAUJO, R.; CASTILHO, C. **Cotas de altitude de 30 parcelas permanentes na Estação Ecológica de Maracá**. Manaus: INPA, 2006. Disponível em: <<http://ppbiodata.inpa.gov.br/metacatui/#view/menger.187.1>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

VILLELA, D.M.; PROCTOR, J. Leaf Litter Decomposition and Monodominance in the Peltogyne Forest of Maracá Island, Brazil. **Biotropica**, Rio de Janeiro, v. 34, n.3, p. 334-347, may. 2002.

WARING, B.G.; POWERS, J.S. Overlooking what is underground: Root:shoot ratios and coarse root allometric equations for tropical forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 385, p.10-15, nov. 2016.

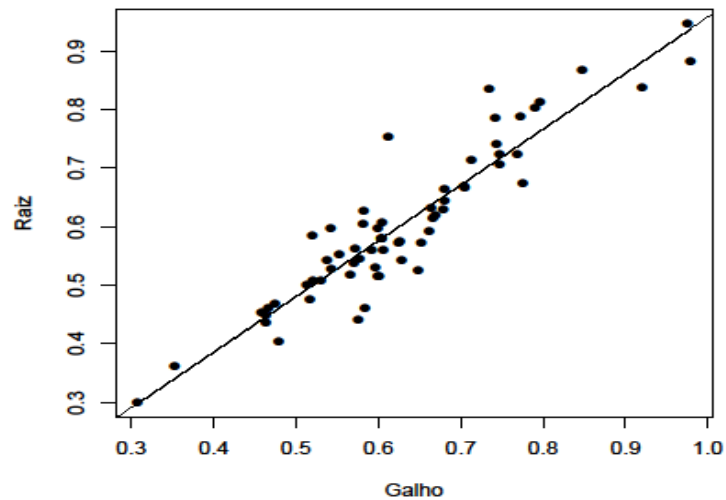
WILLIAMSON, G.B.; WIEMANN, M.C. Measuring wood specific gravity...correctly. **American Journal of Botany**, Madison, v. 97, n. 3, p. 519-524, dec. 2009.

XAUD, H.A.M.; MARTINS, S.R.F.V.; DOS SANTOS, J.R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 294, p. 97-106, apr. 2013.

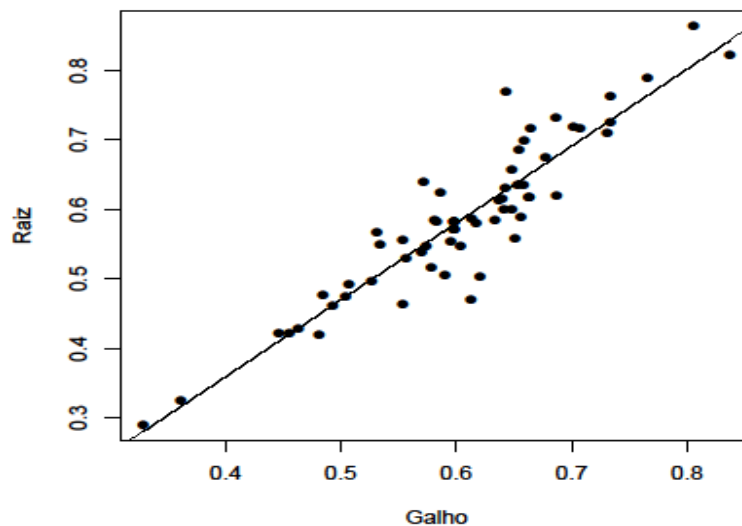
ZILVERBERG, C.J. et al. Process-based simulation of prairie growth. **Ecological Modelling**, New York, v. 351, p. 24-35, mar. 2017.

## APÊNDICES

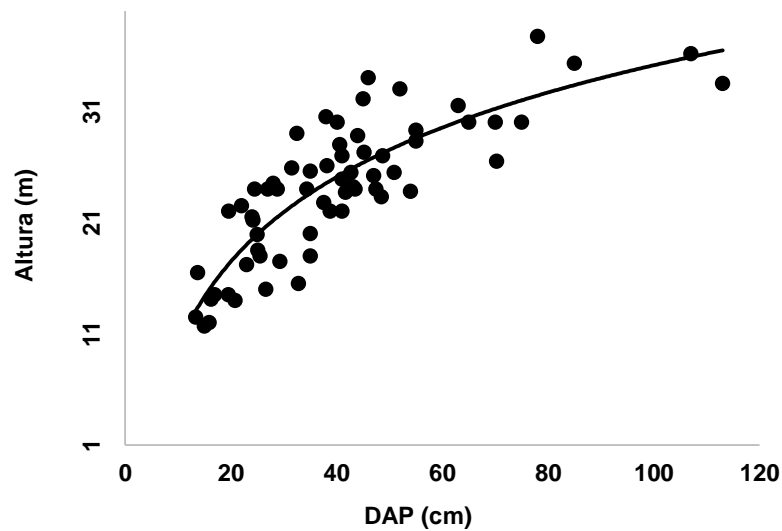
**APÊNDICE A.** a) Modelo relacional entre a gravidade específica de galhos e raízes (COM casca) de árvores de florestas ecotonais dispersas no leste da Ilha de Maracá, Roraima, extremo norte da Amazônia.  $Y = 0.9529 + 0.0044 \times X$  ( $n = 65$ ;  $F_{0.05} = 391.5$ ;  $P < 0.0000$ ;  $R^2 = 0.8614$ )



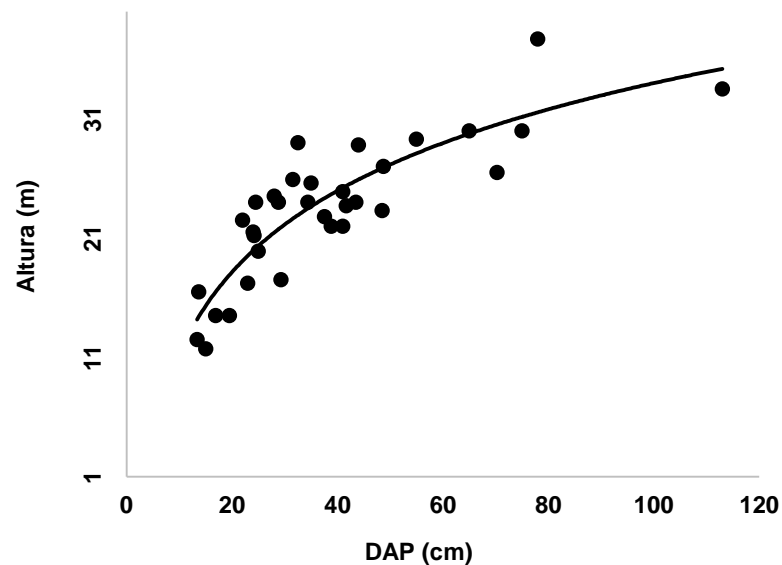
b) Modelo relacional entre a gravidade específica de galhos e raízes (SEM casca) de árvores de florestas ecotonais dispersas no leste da Ilha de Maracá, Roraima, extremo norte da Amazônia.  $Y = 1.107 - 0.0837 \times X$  ( $n = 65$ ;  $F_{0.05} = 357.4$ ;  $P < 0.0000$ ;  $R^2 = 0.8501$ )



**APÊNDICE B.** a) Modelo geral da relação hipsométrica entre altura total (Y em m) e DAP (X em cm), considerando o conjunto total de árvores amostradas em florestas ombrófila e estacional situadas no leste da Ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira.  $Y = 10.956 \ln(X) - 15.341$  ( $n = 65$ ;  $R^2 = 0.7142$ )



b) Modelo da relação hipsométrica entre altura total (Y em m) e DAP (X em cm), considerando o conjunto de árvores amostradas na floresta ombrófila situada no leste da Ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira.  $Y = 9.847 \ln(X) - 11.345$  ( $n = 33$ ;  $R^2 = 0.7575$ )



c) Modelo da relação hipsométrica entre altura total (Y em m) e DAP (X em cm), considerando o conjunto de árvores amostradas na floresta estacional situada no leste da Ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira.  $Y = 12.619 \ln(X) - 21.528$  ( $n = 32$ ;  $R^2 = 0.6931$ )

