



FLÁVIA MACHADO DURGANTE

CRESCIMENTO E INCREMENTO DE  
ESPÉCIES ARBÓREAS DOMINANTES NA  
AMAZÔNIA CENTRAL

Manaus

2016

FLÁVIA MACHADO DURGANTE

CRESCIMENTO E INCREMENTO DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS DOMINANTES NA AMAZÔNIA CENTRAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração Manejo Florestal.

Orientador: Niro Higuchi

Co-orientadora: Susan Trumbore

Manaus

2016

D947 Durgante, Flavia Machado

Crescimento e incremento de espécies arbóreas dominantes na Amazônia Central / Flavia Machado Durgante. --- Manaus: [s.n.], 2016.

197 f.: il.

Tese (Doutorado) --- INPA, Manaus, 2016.

Orientador: Niro Higuchi

Coorientadora: Susan Trumbore

Área de concentração: Ciências de Florestas Tropicais

1. Matamatá amarelo. 2. Parcelas permanentes. 3. Manejo Florestal. I. Título.

CDD 634.92

FLÁVIA MACHADO DURGANTE

CRESCIMENTO E INCREMENTO DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS DOMINANTES NA AMAZÔNIA CENTRAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração Manejo Florestal.

Manaus, 07 de outubro de 2016.

---

Adriano José Nogueira Lima  
INPA

---

William Ernest Magnusson  
INPA

---

Jochen Schoengart  
INPA

---

Fabiano Emmert  
INPA

---

José Francisco Gonçalves  
INPA

## Dedicatória

Dedico este trabalho a todos os amantes da natureza! Que lutam e trabalham para preservá-la e respeitá-la, em especial aos Amantes da Amazônia!

Dedico a todas as árvores da Amazônia e a todos que me ajudaram a realizar este sonho! Em especial meus pais Leila e Flávio Durgante, minha irmã Rochele e meu filho Ernesto. A vocês eu dedico.

## Agradecimentos

Sou muito grata por chegar até aqui!

Agradeço a todos meus professores, desde o primário até a pós graduação que consciente ou inconscientemente me incentivaram a fazer este doutorado na Amazônia! Agradeço aos professores da vida pela sabedoria sempre repassada!

Em especial ao meu mestre que me inspira a ser uma engenheira florestal cada vez melhor e a cuidar da Amazônia, meu orientador Niro Higuchi! Muito obrigada por ser quem és e por proporcionar toda esta oportunidade!

Junto com ele vem um aporte fantástico, a começar pelo Joaquim dos Santos um ótimo orientador que não está no papel mas está sempre presente e a toda a família da ZF-2, eu agradeço!

Agradeço a equipe do Laboratório de Manejo Florestal: Adriano José Nogueira Lima, Moacir Campos, Lidiane Oliveira e Priscila Moraes dos Santos, que além de muito compreensivos e colaborativos alegam meu ambiente de trabalho!

Agradeço a minha co-orientadora Susan Trumbore, uma mulher de fibra que inspira todos que amam a ciência! Agradeço por me apresentar um mundo científico tanto na Alemanha quanto nos Estados Unidos. Agradeço por toda dedicação e atenção dedicado ao meu trabalho e todo o aprendizado que recebi tanto profissional quanto pessoal! Agradeço por ela ser um exemplo de Mulher na Ciência! Uma inspiração!

Agradeço ao Jeffrey Chambers que sempre se interessou pelo meu trabalho e apoiou meu crescimento profissional!

Agradeço à Moriyoshi Ishizuka, Shita Ohashi, aos pesquisadores do FFPRI e toda a equipe do CADAF e da JICA por todo o aprendizado e a incrível experiência do treinamento no Japão.

Agradeço aos meus colegas de doutorado pelas conversas construtivas sobre ciência! Pelo aprendizado que cada um em particular compartilhou comigo!

Agradeço à Edilene Barbosa, Milton Sakurai, Lucas Ourique, Priscilla Baggio, Vilany Carneiro, Gabriel Henrique Pires de Mello Ribeiro, Carlos

Henrique Celes, Yanka Dantas, Julie Alves, Adalberto Schmitt pelo apoio durante o doutorado.

Agradeço aos meus fiéis escudeiros de campo, os sábios e amigos Francisco Quintiliano Reis (Caroço) e Francinilton Rodrigues de Araujo (Chicó) que viajaram comigo pelo Amazonas e junto com Vanderley, Sidnei e Antônio me auxiliaram muito.

Agradeço a Dra Claudete Catanhede do Nascimento, Jair e toda a equipe do LAPEAM que me auxiliaram no preparo das amostras.

Agradeço a Xiaomei Xu e a Jennifer Lehman pela incrível recepção e apoio na Universidade da Califórnia – Irvine para as análises de datação de  $^{14}\text{C}$ .

Agradeço a todas as pessoas especiais que me receberam em campo: Juruá Sr. Antônio do Igarapé do Branco; Atalaia do Norte – Eliandro do IDAM, Vovozinho e seus filhos; São Gabriel da Cachoeira – ao Jairo e sua família do Amazonino Mendes; Manicoré ao Sr Ló e sua família; Maués – a Erika e os moradores da comunidade Ebenezer.

Agradeço o incentivo e inspiração de Kolby e Angie Jardine, Bruno Gimenez, Clarissa Gouveia e a equipe do GECO / NGEE Tropics.

Agradeço ao ICMBIO e ao SEUC e todos os gestores que colaboraram com as licenças de coleta nas Unidades de Conservação!

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo excelente trabalho e a todos os pesquisadores de excelência que aqui trabalham! Muitos deles, fontes de inspiração e alguns já considero meus amigos e amigas!

Pelas conversas científicas com Juliana Schietti, Flávia Costa, Alberto Vicentini, Alberto Quesada, Bruce Nelson e William Magnusson!

Agradeço a todos os membros das bancas de avaliação tanto na qualificação quanto na defesa!

Agradeço os diálogos construtivos com os colegas do LMF, bolsistas, estudantes de mestrado e aos visitantes da ZF-2 que muito nos ajudam a aprender mais sobre a floresta Amazônica!

Agradeço ao pessoal do mestrado que compreendem minha ausência na colaboração do trabalho: Izailene Saar, Hilana Loise e Adalberto Schmitt.

Assim como os PIBICs do LMF que tive o prazer em colaborar com o trabalho, Valdiek Menezes, Jean Victor, Yanka Dantas e Julie Alves.

Agradeço aos gestores do programa de Pós graduação em Ciências de Florestas tropicais pela dedicação, tanto ao coordenador José Francisco quanto as incansáveis secretárias Ana Clycia e Valdecira!

Agradeço ao CNPQ pela bolsa ofertada no início do doutorado!

Agradeço o apoio do INCT Madeiras da Amazônia!

Agradeço aos meus amigos que estão comigo mesmo com a distância física e entendem minha ausência! As amigas e amigos de Santiago, de Santa Maria e de Manaus!

À turma do Boia e Trago e aos amigos Joaquim dos Santos, Caroline Lara, Lívia Granadeiro, Lívia Naman, Priscila Baggio, Lucas Ourique, Janaína Rocha, Robson Dizars e Gustavo Azeredo pelo apoio nos diálogos, no dia a dia e nos momentos de necessidade! Agradeço pelo carinho e atenção nos churrascos e nas cuias de chimarrão!

Agradeço ao meu incrível filho, que está comigo nesta empreitada amazônica das viagens de barco aos cuidados com os visitantes no nosso quintal como os macacos, bichos-preguiça, araras entre tantos outros animais selvagens! A nossa Fiona! Agradeço por seu companheirismo nesta aventura!

Agradeço a minha mãe, que incansáveis vezes veio a Manaus para cada expedição de campo, viagens ao exterior, problemas de saúde, provas e estudos tantos meus quanto do Ernesto! Esteve sempre junto conquistando cada etapa, cada vitória! Agradeço sua coragem!

Agradeço ao meu pai que mesmo de longe segurou os pilares da nossa sustentação! Mais que financeiros, segurou os pilares de garra e determinação com seu exemplo e confiança! Muito Obrigada!

Agradeço a minha irmã que com carinho sempre acompanhou tudo e sempre apoiou! Que mesmo mais nova é uma fonte de inspiração e admiração para mim!

Agradeço a uma pessoa especial que conheci nesta etapa e que me ajudou a ver ainda mais a pureza da vida e da natureza! Muito Obrigada!



Agradeço a minha família pela compreensão e peço desculpas principalmente aos meus avós pela minha ausência em nestes últimos 4 anos!

Agradeço a riqueza, diversidade e pureza da imensa Amazônia. Me surpreende a cada momento, cada novo aprendizado, cada árvore, cheiro, som, paisagem, bicho, planta, fungo... Me encanta sempre! Agradeço a cada sensação de plenitude que sinto em seus habitats!

Obrigada a todos que lutaram e torceram por mim nesta jornada!

Muito Obrigada!

## Epígrafe

“Olhe para dentro da natureza e então irá entender tudo melhor”

“Look deep into nature, and than you will understand everything better.”

Albert Einstein

## Lista de Figuras

- Figura 1: Desenho esquemático para construção da banda dendrométrica metálica. Fonte: Silva 2001.....46
- Figura 2: Imagem das estruturas anatômicas dos anéis de crescimento de duas espécies estudadas: a- Parenquima apotraqueal de *Eschweilera coriacea* com variações nos intervalos; 2- Parenquimas marginais facilmente reconhecíveis na espécie *Iryanthera coriacea* .....60
- Figura 3: Representação gráfica da relação entre a contagem de anéis anatômicos e anos datados com  $^{14}\text{C}$  em dois raios de cada indivíduo: 1- *Eschweilera coriacea*; 2- *Iryanthera coriacea*. .....60
- Figura 4: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Eschweilera coriacea* (indivíduo 1) com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio 2 da mesma árvore.....61
- Figura 5: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Eschweilera truncata* com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio dois da mesma árvore. ....62
- Figura 6: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Iryanthera coriacea*. com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio dois da mesma árvore. ....62
- Figura 7: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Iryanthera spp.* com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio dois da mesma árvore.....63
- Figura 8: Variação sazonal média entre 1965 a 1990 da  $\delta^{18}\text{O}$  da água da chuva em relação a distribuição da chuva nos meses do ano na região

- de Manaus. Dados oriundos de Water Isotope System for Data Analysis, Visualization, and Electronic Retrieval (WISER)..... 64
- Figura 9: Comparação do comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira dos três indivíduos de *Eschweilera spp.* com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 da *E. coriacea* coletados em Maio de 2013 1 b- o raio 1 da *E. sp.* coletados em Maio de 2013 c- raio 1 da *E. coriacea* 2 coletados em Outubro de 2013. É possível observar em destaque vermelho a variação do comportamento isotópico de maio a outubro de 2013..... 64
- Figura 10: Comparação de anéis isotópicos e a respectiva datação com  $^{14}\text{C}$  do anel entre dois indivíduos do mesmo gênero oriundos d terra firme na EEST-ZF-2: a - *Eschweilera coriacea* e b - *E. truncata*. Em azul a datação estimada por  $\delta^{18}\text{O}$  e em vermelho a datação por  $^{14}\text{C}$ . No gráfico o eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ ..... 66
- Figura 11: Comparação de anéis isotópicos da  $\delta^{18}\text{O}$  com a datação com  $^{14}\text{C}$  dos dois raios do indivíduo de *Iryanthera coriacea* (indivíduo 1), coletado em maio de 2013 na EEST/ZF-2. Em azul a datação estimada por  $\delta^{18}\text{O}$  e em vermelho a datação por  $^{14}\text{C}$ . No gráfico o eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . 67
- Figure 12: Comparação de anéis isotópicos da  $\delta^{18}\text{O}$  com a datação com  $^{14}\text{C}$  dos dois raios do indivíduo de *Iryanthera sp* (indivíduo 2), coletado em maio de 2013 na EEST/ZF-2. Em azul a datação estimada por  $\delta^{18}\text{O}$  e em vermelho a datação por  $^{14}\text{C}$ . No gráfico o eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda. .... 68
- Figura 13: Mapa da área de estudo indicando os 6 sítios de coleta, sendo na porção leste do estado do Amazonas Maués, Manaus e Manicoré e na porção oeste Atalaia do Norte, São Gabriel da Cachoeira e Juruá. FONTE: GEO/LMF. .... 73
- Figura 14: Distribuição da precipitação média e da temperatura ao longo do ano nos municípios estudados, onde: nas barras em azul é a

precipitação e a linha vermelha expressa a variação da temperatura. Fonte de dados de Alvares <i>et al.</i> 2013. ....	73
Figura 15: Discos coletados para análise isotópica: a. Discos do DAP de três morfoespécies; b. Disco de Ucuuba com os raios marcados para fazer o corte.....	78
Figure 16: Raio selecionado com a lâmina de 1 mm na parte superior. A lâmina é utilizada para extração da celulose. ....	79
Figura 17: Preparo das amostras para extração de celulose: a- Estojo de teflon para extração de celulose da amostra inteira de madeira; b - Corte da lâmina de madeira para encaixar dentro do estojo de teflon. ....	80
Figura 18: Estojo de teflon costurado à mão para fixar a lâmina de madeira para a extração da celulose.....	80
Figura 19: Estojos de teflon costurados com a lâmina de madeira passando pelo processo de extração dos extrativos dentro de um soxelet. ....	81
Figura 20: Amostras de madeira durante o processo de extração de celulose: a - Amostras sendo preparadas para passar pelo processo de extração da lignina; b - Amostras da celulose das lâminas de madeira. ....	81
Figura 21: Lâminas de $\alpha$ - celulose sendo preparadas para o corte das subamostras. a- Amostras já secas no freezer-dryer; b- amostra sendo acoplada na lâmina para armazenamento e corte.....	82
Figura 22: Amostras de lâminas de 1mm de madeira e de holocelulose da mesma amostra. Apenas as amostras de holocelulose foram utilizadas para datação com $^{14}\text{C}$ .....	84
Figura 23: Processo de corte das amostras para datação de $^{14}\text{C}$ com auxílio de microscópio eletrônico. ....	85
Figura 24: Processo se corte das amostras para datação com $^{14}\text{C}$ : a - Corte das amostras em 0.5, 1.0 e 1.5 cm de distancia da casca; b - Amostras dentro dos tubos de quartzo prontas para passar pelo processo de combustão com o Oxido de cobre. ....	85
Figura 25: Imagem da curva da Fração Moderna da atmosfera Bomb 13 SH1 2 com a data estimada para a amostra de holocelulose da madeira com base no valor da Fração Moderna desta amostra apresentada pelo acelerador (AMS) espresso no programa OxCal 4.2. ....	86

- Figura 26: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com a sobreposição dos pontos das 3 amostras de celulose em um raio. Em preto com o símbolo “\*” estão as datas mínimas media e máxima estimada para os três pontos do raio 1; em azul com o símbolo “” estão as datas mínimas media e máxima estimada para cada ponto do raio 2. Os números em vermelho indicam a distância em mm da amostra datada até a casca. ....87
- Figura 27: Esquema do corte da amostra de celulose com cada ponto datado por  $^{14}\text{C}$  para o cálculo do incremento periódico anual (IPA). ....90
- Figura 28: Fórmula do cálculo do incremento com a datação por  $^{14}\text{C}$ . ....91
- Figura 29: Incremento periódico anual ponderado médio. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro dos períodos datados entre cada ponto. Em azul, o símbolo “” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore. ....92
- Figura 30: Comparação do Incremento Periódico anual e 2 morfoespécies em 4 métodos, onde: m- matamatá amarelo; u- ucuuba-punã;  $^{14}\text{C}$  - incremento estimado por datação de  $^{14}\text{C}$ ;  $^{18}\text{O}$  - incremento estimado por anéis de isótopos estáveis de  $^{18}\text{O}$ ; BD - incremento estimado por 14 anos de medições mensais de bandas dendrométricas; BT0- incremento estimado por 23 anos de medições anuais nas parcelas permanentes testemunha do bionte. ....107
- Figura 31: Comparação do Incremento Periódico anual e 3 morfoespécies em 3 métodos, onde: b- breu vermelho; m- matamatá amarelo; u- ucuuba-punã;  $^{14}\text{C}$  - incremento estimado por datação de  $^{14}\text{C}$ ; BD - incremento estimado por 14 anos de medições mensais de bandas dendrométricas; BT0- incremento estimado por 23 anos de medições anuais nas parcelas permanentes testemunha do bionte. ....108
- Figura 32: Dois gráficos representando a variação do crescimento ao longo do tempo: Grafico 1: Comportamento diamétrico de indivíduos de

matamata amarelo na classe de 30 a 32cm de DAP em 20 anos. Gráfico 2: comportamento do incremento corrente anual (ICA) dos mesmos indivíduos em 20 anos.....	109
Figura 33: Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAp <sub>m</sub> ) do indivíduo de Matamatá Amarelo coletado em Manicoré AM com dap = 27cm.....	110
Figura 34: Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAp <sub>m</sub> ) do indivíduo de Matamatá Amarelo coletado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – ZF-2, com dap = 47,7cm.....	111
Figura 35: Desvio Padrão do Incremento Corrente Anual (ICA) das árvores das selecionadas espécies no tratamento testemunha (T0) do Bionte.	111
Figura 36: Desvio Padrão do Incremento Corrente Anual (ICA) das árvores das selecionadas espécies no entre os tratamentos do bionte: T0: Testemunha; T1: exploração de 25% da área basal; T2: exploração de 50% da área basal; T3: exploração de 75% da área basal. ....	112
Figura 37: Exemplo do comportamento do crescimento ao longo do tempo 1989 a 2012. Três indivíduos em uma classe dia métrica de 15 a 25 cm de DAP. ....	113
Figura 38: Histograma da distribuição da porcentagem de tempo registrado de ICA nulo em cada indivíduo das parcelas testemunha do Bionte das selecionadas espécies.....	114
Figura 39: % de anos com ICA ≤ 0 entre as famílias nas parcelas permanentes de medição anual – Bionte. ....	114
Figura 40: % de anos monitorados com ICA ≤ 0 entre as classes diamétricas em duas espécies da família Lecythidaceae: <i>Eschweilera coriacea</i> e <i>E. truncada</i> nas parcelas permanentes de medição anual – Bionte. ....	115
Figura 41: % de anos que cada indivíduo apresentou ICA ≤ 0 em um monitoramento de 10 a 14 anos de medição mensal de bandas dendrométricas das famílias Burseraceae, Lecythidaceae e Myristicaceae.....	116
Figura 42: Histograma da distribuição da porcentagem de tempo registrado de ICA nulo em cada indivíduo das parcelas testemunha do Bionte das selecionadas espécies.....	116

Figura 43: Gráfico representando a % de indivíduos que apresentaram $ICA_{dap} \leq 0$ por ano monitorado para os 50 indivíduos das famílias Burseraceae, Lecythidaceae e Myristicaceae.....	117
Figura 44: Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAp <sub>m</sub> ) determinado por datação de $^{14}C$ em 30 indivíduos de matamatá amarelo de 6 localidades do Amazonas. A linha pontilhada em vermelho indica a média do IPAp <sub>m</sub> para o Amazonas. ....	118
Figura 45: Gráfico que expressa a relação entre o IPAp <sub>m</sub> e a % de areia para cada indivíduo de matamatá amarelo estudado no Amazonas. ...	119
Figura 46: Relação entre a média do IPAp <sub>m</sub> e a média da % de areia para cada sítio estudado.....	119
Figura 47: Relação entre IPAp <sub>m</sub> (mm/ano) e concentração de Mg no solo ( $mmol_c kg^{-1}$ ). ....	120
Figura 48: Comportamento da concentração de Mg no solo entre os 6 sítios. ....	120
Figura 49: Correlação entre Incremento Periódico Anual ponderado Médio com a % de Silte no solo por árvore. A linha pontilhada em vermelho representa o IPAp <sub>m</sub> do Amazonas para a morfoespécie matamatá amarelo.....	121
Figura 50: Correlação entre a média do Incremento Periódico Anual ponderado médio e a média da % de Silte por sítio. Os valores apresentados são o R <sup>2</sup> ajustado e a probabilidade da regressão linear. ....	122
Figura 51: Densidade básica da madeira em g/cm <sup>3</sup> de 28 indivíduos de Matamatá amarelo em 6 sítios do Amazonas. A linha pontilhada em vermelho indica a densidade básica média para o estado. ....	124
Figura 52: Relação entre IPAp <sub>m</sub> e densidade básica da madeira. O valor apresentado é da Correlação de Pearson com a probabilidade. A linha vermelha pontilhada indica o IPAp <sub>m</sub> do matamatá amarelo no Amazonas.....	124
Figura 53: Correlação entre a Densidade básica da madeira (g/cm <sup>3</sup> ) e a razão Altura: diâmetro (Ht/DAP). Os valores indicam a correlação e a probabilidade do teste de Pearson. ....	125



Figura 54: Relação entre o Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAPM mm/ano) e a razão altura:diâmetro (Ht/dap).....	126
Figure 55: Comportamento da densidade da madeira entre as espécies de matamatá amarelo ( <i>Eschweilera spp.</i> ). ....	127

## Lista de tabelas

Tabela 1: Número de indivíduos em cada método de estimativa de incremento periódico anual para cada espécie, onde: Bandas – parcela permanente com 14 anos de medição mensal em bandas dendrométricas; Bionte – parcela permanente com 23 anos de medição anual do DAP; $^{14}\text{C}$ – incremento periódico anual ponderado determinado com a datação de $^{14}\text{C}$ da cellulose da madeira na altura do DAP; $^{18}\text{O}$ – incremento periódico anual determinado com a contagem de anéis isotópicos de $^{18}\text{O}$ .....	88
Tabela 2: Lista das famílias e das espécies utilizadas para a análise dos anos de $\text{ICA}_{\text{dap}} \leq 0$ .....	94
Tabela 3: Número de indivíduos para cada experimento para a análise do $\text{ICA} \leq 0$ . parcelas permanentes Bionte com 19 anos de monitoramento e Bandas dendrométricas com 14 anos de monitoramento para as análises da variação temporal do Incremento Corrente Anual. ....	96
Tabela 4: Número de indivíduos por espécie em cada localidade. ....	97
Tabela 5: Dados de diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros (cm), altura comercial (Hc) em metros (m) e altura total (Ht) em metros (m) para as árvores abatidas de matamatá amarelo por sítio coletado no Amazonas.....	97
Tabela 6: Incremento Periódico Anual (mm/ano) determinado com dois métodos isotópicos na madeira para os mesmos indivíduos.....	107
Tabela 7: Resultado da Correlação de Pearson e a probabilidade entre: IPAp (incremento Periódico Anual ponderado médio), quantidade de C armazenado em média por área basal por ano ( $\text{gC}/\text{cm}^2 \cdot \text{ano}$ ) e densidade da madeira na base da árvore (Db) e as variáveis morfométricas e propriedades dos solos analisadas. ....	123

Lista de abreviaturas

INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

LMF - Laboratório de Manejo Florestal

NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration

(Administração Nacional atmosférica e Oceanos)

ITTO - International Tropical Timber Organization

NGEE Tropics –New Generation Ecological Studies Tropics

IDAM – Instituto de desenvolvimento agropecuário do Estado do Amazonas

FFPRI – Forestry and Forest Products Research Institute (Instituto de pesquisas em floresta e produtos florestais)

CADAF – Carbon Dynamics of Amazon Forest (Dinâmica do carbono da Floresta Amazônica)

JICA – Japan International Cooperation Agency (Agencia de cooperação internacional do Japão)

LAPEAM – Laboratório de pequenos objetos e artefatos de madeira

TFSA – Terra Fina seca ao ar

IPA - Incremento Periódico Anual

ICA – Incremento Corrente Anual

IPApM – Incremento Periódico Anual ponderado médio

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>32</b>
2.1	Objetivo superior .....	32
2.2	Objetivo geral .....	32
2.3	Objetivos específicos .....	32
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLOGRÁFICA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Mercados de madeira tropical.....</b>	<b>33</b>
3.1.1	Mercado internacional .....	33
3.1.2	Mercado nacional.....	33
<b>3.2</b>	<b>Manejo Florestal Sustentável na Amazônia .....</b>	<b>35</b>
3.2.1	Histórico e situação atual.....	35
3.2.2	Conceitos do Manejo Florestal .....	37
3.2.3	O manejo florestal na legislação brasileira .....	38
3.2.4	Seleção de espécies manejadas.....	39
<b>3.3</b>	<b>Ciclo de corte: Crescimento &amp; incremento das árvores.....</b>	<b>39</b>
3.3.1	Comportamento fisiológico e variações ambientais.....	40
3.3.2	Crescimento arbóreo em florestas tropicais.....	42
3.3.3	Anéis ausentes em árvores com limitação de luz.....	43
3.3.4	Crescimento diamétrico .....	44
<b>3.4</b>	<b>Técnicas de medição de incremento.....</b>	<b>45</b>
3.4.1	Remedição de Parcelas Permanentes.....	45
3.4.2	Dendrocronologia nos trópicos.....	48
3.4.3	Análise isotópica: Isótopos estáveis $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ .....	51
3.4.4	Análise intra anual da razão isotópica de $^{13}\text{C}$ e $^{18}\text{O}$ .....	54
3.4.5	Análise isotópica: Radioisótopo de $^{14}\text{C}$ .....	55
3.4.6	Anéis intranuais de $\delta^{18}\text{O}$ em árvores na Amazônia Central .....	59
<b>3.5</b>	<b>Ambiente para a produção de madeira: A floresta amazônica</b>	<b>68</b>
3.5.1	Crescimento e incremento da floresta ao longo da bacia amazônica	70
3.5.2	Densidade da madeira na floresta amazônica.....	71
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1</b>	<b>Descrição da área de estudo.....</b>	<b>72</b>
4.1.1	Manaus .....	74

4.1.2	Atalaia do Norte .....	76
4.1.3	Juruá .....	76
4.1.4	São Gabriel da Cachoeira .....	76
4.1.5	Manicoré .....	77
4.1.6	Maués.....	77
<b>4.2</b>	<b>Métodos laboratoriais de análise Isotópica da <math>\delta^{18}\text{O}</math> e <math>^{14}\text{C}</math> .....</b>	<b>77</b>
4.2.1	Análise intra anual da razão isotópica de $^{13}\text{C}$ e $^{18}\text{O}$ .....	79
4.2.2	Datação por radioisótopo de $^{14}\text{C}$ .....	83
<b>4.3</b>	<b>Seleção das espécies estudadas.....</b>	<b>87</b>
<b>4.4</b>	<b>Comparação de métodos de incremento.....</b>	<b>88</b>
4.4.1	BIONTE.....	89
4.4.2	Bandas dendrométricas.....	89
4.4.3	Incremento com anéis isotópicos de $^{18}\text{O}$ .....	90
4.4.4	Incremento Periódico Anual (IPA) com datação de $^{14}\text{C}$ .....	90
4.4.5	Análise estatística na comparação de métodos de incremento .	92
<b>4.5</b>	<b>Incremento Corrente Anual menor ou igual a zero (<math>\text{ICA}_{\text{dap}} \leq 0</math>)</b>	<b>92</b>
4.5.1	ICA menor ou igual a zero no Bionte .....	94
4.5.2	ICA menor ou igual a zero nas bandas dendrométricas.....	95
4.5.3	Dados climáticos da EEST-ZF-2 para avaliar o $\text{ICA} \leq 0$ .....	96
<b>4.6</b>	<b>O Incremento Periódico Anual do matamatá amarelo no Amazonas</b>	<b>96</b>
4.6.1	Análise estatística do incremento periódico anual do Matamatá amarelo no Amazonas.....	97
4.6.2	Análise de dados morfométricos e ambientais do matamatá amarelo no Amazonas.....	98
4.6.3	Análise de solos nos diferentes sítios .....	101
<b>4.7</b>	<b>Projetos que viabilizaram a pesquisa .....</b>	<b>103</b>
4.7.1	BIONTE.....	103
4.7.2	Transectos do Jacaranda .....	103
4.7.3	CADAF .....	104
4.7.4	TACAPE.....	105
4.7.5	Crescimento e incremento das espécies florestais mais abundantes no Amazonas Universal/FAPEAM edital 030/2013 .....	105
<b>5</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>106</b>
5.1	Varição temporal do crescimento e incremento diamétrico utilizando diferentes métodos para espécies selecionadas .....	106

5.1.1	Comparação de 4 métodos e duas espécies.....	106
5.1.2	Comparação de três métodos e três espécies.....	108
<b>5.2</b>	<b>Variação do Incremento Corrente Anual e anos com</b>	
	<b>incremento nulo ao longo do tempo .....</b>	<b>109</b>
5.2.1	Variação do Incremento corrente anual .....	109
5.2.2	Anos de incremento nulo nas parcelas permanentes.....	112
<b>5.3</b>	<b>Incremento Periódico Anual do matamatá amarelo no</b>	
<b>Amazonas</b>	<b>117</b>	
5.3.1	Relação do IPA e as propriedades dos solos .....	118
5.3.2	Relação do IPA e as variáveis morfométricas .....	122
5.3.3	Variação do IPA e densidade da madeira entre as espécies de matamatá amarelo .....	126
<b>6</b>	<b>Discussão .....</b>	<b>128</b>
<b>6.1</b>	<b>Variação temporal do crescimento diamétrico .....</b>	<b>128</b>
<b>6.2</b>	<b>Incremento Periódico Anual do matamatá amarelo no</b>	
<b>Amazonas</b>	<b>131</b>	
<b>7</b>	<b>Síntese dos resultados.....</b>	<b>134</b>
<b>8</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>136</b>
<b>9</b>	<b>Referências.....</b>	<b>137</b>

## RESUMO

O manejo florestal na Amazônia precisa abastecer o mercado madeireiro mantendo a floresta em pé. Estudos de crescimento e incremento das árvores são essenciais para determinar o ciclo de corte na floresta. Com o intuito de incentivar o manejo florestal da espécie hiperdominante na Amazônia Central a presente tese focou em três objetivos gerais: i. comparação de métodos para determinar incremento; ii. descrever a variação temporal do incremento; iii. determinar o incremento periódico anual (IPA) do matamatá amarelo no Amazonas.

A comparação de métodos utilizou o IPA determinado com métodos isotópicos ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{wc}}$  e  $^{14}\text{C}$ ) comparados com o de parcelas permanentes de 23 anos medições anuais com fitas dendrométricas e 14 anos de medições mensais com bandas dendrométricas. Para selecionadas espécies de matamatá amarelo e ucuuba puna os anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  apresentaram forte evidência ( $p=0.0001$ ) para rejeitar a hipótese de similitude na estimativa do incremento quando comparado com as de parcelas permanentes; ii. o IPA determinado por  $^{14}\text{C}$  ao comparar com o estimado em parcelas permanentes não apresenta evidências para rejeitar a semelha entre os métodos, ou seja, a datação de  $^{14}\text{C}$  estima o incremento das árvores com elevada semelhança ao estimado em 23 anos de monitoramento em parcelas testemunha do Bionte ( $p=0.997$ ) e 14 anos de monitoramento mensal com bandas dendrométricas ( $p= 0.83$ ).

A variação temporal do incremento corrente anual (ICA) foi descrita com base no desvio padrão do incremento ao longo do tempo e com a detecção e análise da frequência de anos com incremento nulo ou negativos em dois tipos de parcelas permanentes. A variação do ICA ao longo do tempo comprova a ocorrência de anos de incremento nulo nas árvores na Amazônia Central. 60% das árvores monitoradas entre 10 e 14 anos com bandas dendrométricas apresentaram ao menos um ano de incremento nulo. Em média 20% do tempo monitorado dessas árvores foi de incremento nulo. Há uma forte correlação positiva ( $r= 0,87$  e  $p= 0,002$ ) entre % de árvores com incremento nulo e o número de dias sem chuva no respectivo ano. Períodos de dois anos ou mais de incremento nulo consecutivos podem ocorrer em árvores amazônicas, que não são justificados apenas pela intensidade do período seco. As lacunas entre os métodos de datação por  $^{14}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  podem ser explicadas por períodos de anéis ausentes que impedem reconhecer a passagem do tempo em ferramentas que necessitam um crescimento contínuo no tronco.

A investigação do IPA da morfoespécie matamatá amarelo na Amazônia Central contemplou dois objetivos específicos: i. determinar o IPA utilizando datação por  $^{14}\text{C}$  em 6 localidades do Amazonas; ii. investigar quais fatores ambientais e morfométricos estão relacionados com o IPA do

matamatá amarelo. O IPA médio do matamatá amarelo no Amazonas foi de  $2,04 \pm 0.53$  mm/ano. Há fortes evidências de variação do incremento desta espécie nos diferentes sítios ( $p=0,0005$ ). As localidades com solos com baixos teores de nutrientes como Maués e São Gabriel da Cachoeira apresentaram os menores valores de incrementos. As árvores sítidas em solos oriundos dos Andes no local com maior sazonalidade do períodos seco apresentaram um maior taxa incremento (município de Manicoré). A variação do incremento de acordo com as variações ambientais no Amazonas apontam que o matamatá amarelo é uma espécie elástica. Espécies elásticas se destacam no manejo florestal por serem potencialmente manejáveis ao responder a intervenções silviculturais, como abertura de clareiras. A elevada variação do incremento nos diferentes sítios aponta a necessidade de determinar um ciclo de corte para cada sítio.

Palavras - chave: Parcelas permanentes; Bandas dendrométricas; Isótopos estáveis  $^{18}\text{O}$  na madeira; Datação com radiocarbono  $^{14}\text{C}$ ; *Eschweilera* spp.; incremento nulo, incremento periódico anual; ciclo de corte



## ABSTRACT

Forest management in the Amazon needs to supply the timber market by keeping the forest live. Studies of tree growth and increment are essential to determine the cutting cycle of the forest. In order to encourage forest management of the hyperdominant species in Central Amazon, this thesis focused on three general objectives: i. Comparison of methods to determine growth rates; li. Describe the temporal variation of the increment; lii. Determine the periodic annual increment (PAI) of the matamatá amarelo in Amazonas state.

The comparison of methods used the PAI determined with isotopic methods ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{wc}}$  and  $^{14}\text{C}$ ) compared to that of permanent plots of 23 years with annual measurements with dendrometric tapes and 14 years of monthly measurements with dendrometric bands. For selected species of matamatá amarelo and ucuuba puna the  $^{18}\text{O}$  isotopic rings presented strong evidence ( $p = 0.0001$ ) to reject the hypothesis of similarity in the estimation of the growth rates when compared to those of permanent plots; li. The PAI determined by  $^{14}\text{C}$  when compared to the estimate in permanent plots does not present evidence to reject the similarity between the methods. In this case, the increment of trees estimated by  $^{14}\text{C}$  dating have high similarity when compare the growth rates estimated in 23 years of monitoring the permanent plots Bionte ( $p = 0.997$ ) and 14 years of monthly monitoring with dendrometric bands ( $p = 0.83$ ).

The temporal variation of the current annual increment (CAI) was described based on the standard deviation of the increment over time and with the detection and analysis of the frequency of years with null increment or negative in two types of permanent plots. The variation of CAI over time proves the occurrence of years of null increment in the trees in the Central Amazon. 60% of the trees monitored between 10 and 14 years with dendrometric bands presented at least one year of null increment. On average, 20% of the monitored time of these trees was zero increment. There was a strong positive correlation ( $r = 0.87$  and  $p = 0.002$ ) between % of trees with null increment and the number of days without rain in the respective year. Periods of two or more years of consecutive null increment can occur in Amazonian trees, which are not justified only by the intensity of the dry period. The gaps between the dating methods by  $^{14}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  can be explained by periods of missing rings that prevent recognizing the passage of time in tools that require continuous growth in the trunk.

The PAI research of the matamatá amarelo morphospecies in Central Amazon contemplated two specific objectives: i. Determine the PAI using  $^{14}\text{C}$  dating in 6 locations in the Amazon; li. To investigate which environmental and morphometric factors are related to the yellow matamatá PAI. The mean PAI of the matamatá amarelo in Amazonas was  $2.04 \pm 0.53$  mm / year. There

is strong evidence of variation of the growth rates of this species in the different sites ( $p = 0.0005$ ). The sites with low levels of nutrients soils such as Maués and São Gabriel da Cachoeira presented the smallest growth rates. The trees was grow in soils from the Andes origins in the place with greater seasonality of the dry periods presented a higher growth rates (Manicoré). The variation of the increment according to the environmental variations in Amazonas indicates that the matamatá amarelo is an elastic species. Elastic species are interesting to forest management because they are potentially manageable when responding to silvicultural interventions, such as opening of clearings. The high variation of the increment in the different sites indicates that is necessary determine a cut cycle for each site.

Keywords: Permanent Plots; Dendrometers bands; Stable Isotopes<sup>13</sup>C e <sup>18</sup>O in the wood; Radiocarbon <sup>14</sup>C; Matamatá Amarelo; Eschweilera spp., Null incremento, periodic annual increment

## 1 Introdução

A madeira é uma importante matéria prima renovável para os humanos desde o surgimento do gênero Homo no planeta Terra, tanto para o fornecimento de energia quanto na construção de abrigos. Atualmente, a principal fonte de madeira maciça tropical está na Amazônia. Segundo Barros e Veríssimo (2002), as madeiras da floresta amazônica começaram a ser exploradas intensamente no final da década de 1960, quando os estoques de madeira nativa do sul do Brasil ficaram escassos. Cruzando as informações sobre desmatamento fornecidas pelo INPE com a área original de florestas (Skole e Tucker, 1993), a área remanescente coberta com florestas, em 2015, na Amazônia brasileira era de 3,3 milhões de km<sup>2</sup>.

No plano mundial, os estoques dos maiores exportadores de madeira tropical estão se esgotando, como na Malásia e na Indonésia (ITTO 2014). Esses países são considerados os precursores na adoção de sistemas silviculturais para o manejo florestal sustentável (MFS), a partir da década de 1950. Nesses países e em todos os países tropicais que adotaram o MFS para a produção de madeira, as florestas estão acabando e estes continuam pobres (ITTO, 2014) confirmando análises de Tang (1987) e Daryadi (1994). Todos esses países praticaram exploração altamente seletiva, sem considerar os conceitos do MFS e sem respeitar o ciclo de corte assumido. As projeções da ITTO indicam que a Amazônia deve desempenhar papel importante no fornecimento de madeira tropical ao mercado internacional, ainda nesta década. A iminente pressão do mercado internacional se somará à do próprio mercado nacional; o Brasil é o terceiro país do mundo que mais consome madeira tropical, estando atrás apenas da Malásia e Índia (ITTO 2014). Aproximadamente 85% da madeira explorada na Amazônia são consumidas no mercado nacional (SFB e AMAZON 2010, ITTO 2014). A dúvida é saber se o Brasil está preparado para suportar as pressões e atender as demanda internacional e do mercado interno.

Desde a Rio-92, as políticas públicas florestais no Brasil caminham para o manejo sustentável (MFS) da floresta. O despertar para a sustentabilidade dos recursos madeireiros decorreu com a constatação da

relação direta entre produção de madeira e desmatamento na Amazônia. A madeira que abastece o mercado é oriunda de desmatamento e exploração ilegal, áreas de supressão e manejo florestal. Desde 2005, as políticas de controle do desmatamento e de regularização do MFS mais efetivas geraram uma resposta direta na diminuição da produção de madeira tropical e da taxa de desmatamento no país nos últimos anos (SFB e AMAZON 2010). Um grande desafio brasileiro no manejo dos recursos florestais é abastecer o mercado de madeira e ao mesmo tempo zerar o desmatamento ilegal na Amazônia.

O MFS é a alternativa de uso da terra para produzir madeira mantendo a floresta em pé. A produção de madeira no manejo florestal ocorre com a exploração seletiva de espécies de valor comercial em um sistema policíclico. O planejamento da produção calcula o volume extraído no primeiro ciclo com base no tempo necessário para que as árvores da classe diamétrica imediatamente inferior incrementem até alcançar o diâmetro mínimo de corte no segundo ciclo. O ciclo de corte regulamentado no manejo florestal brasileiro em larga escala é de no mínimo 25 e no máximo 35 anos. Uma característica do MFS praticado na Amazônia é a superexploração da floresta, com a exploração em 1,5 milhão de hectares - e a subutilização das mesmas - retirando 27,8 milhões de m<sup>3</sup>, média igual 18 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Nepstad *et al.* 1999). Isso é decorrente de uma exploração muito seletiva em cima de poucas espécies, o que tem causado um empobrecimento da qualidade da floresta. Espécies de alta qualidade como o mogno (*Swetenia macrophylla*) hoje estão escassas na floresta, em risco de extinção e restritivas de corte pela legislação brasileira. As espécies hiperdominantes na bacia amazônica são um potencial de sustentabilidade para o manejo ao diminuir a pressão de exploração de espécies raras. Pois estudos comprovam que as espécies que foram exploradas no primeiro ciclo não se recuperam para oferecer madeiras com a mesma qualidade no segundo ciclo de corte (Richardson *et al.* 2016; Avila *et al.* 2015, Amaral 2013). A diversificação da produção, com o planejamento de exploração de diferentes espécies é um caminho para a sustentabilidade do manejo.

Além da variação na composição de espécies, há uma grande variação na qualidade dos sítios dentro da bacia amazônica, que pode

influenciar na variação da taxa de crescimento da floresta entre as localidades. Informações de parcelas permanentes em larga escala apontam uma maior taxa de produção de madeira na porção oeste decrescendo em direção ao leste da bacia amazônica (Phillips *et al.* 2004; Malhi *et al.* 2006) devido influência de características dos solos sedimentados no local (Quesada *et al.* 2012). No entanto, Vieira *et al.* 2015 reportam elevada variação na taxa de crescimento entre três localidades da bacia (Rio Branco – Acre, Manaus – Amazonas e Santarém – Pará) relacionada com a intensidade do período seco. Árvores sítidas em locais com a sazonalidade mais marcada apresentaram maiores taxas de crescimento. No entanto, inúmeros fatores ambientais podem influenciar na variação do crescimento das espécies arbóreas na bacia e conseqüentemente influenciar no ciclo de corte do manejo florestal em cada sítio.

A taxa de crescimento é estimada com o monitoramento de parcelas permanentes. Na Amazônia brasileira as parcelas permanentes são escassas e espacialmente mal distribuídas, concentradas próximo aos grandes centros urbanos. Ferramentas que estimem com confiança taxas de crescimento das árvores em locais sem parcelas permanentes são essenciais para o MFS. O ciclo de corte, que é a base para a sustentabilidade do manejo, precisa conciliar produção com as características fitossociológicas, variabilidade genética e respostas fenéticas das espécies exploradas.

Ao apostar no manejo florestal como um sistema produtivo que mantém a floresta em pé e que garante a manutenção dos serviços ambientais e da biodiversidade (Edwards *et al.* 2014), o presente trabalho tem como objetivo incentivar o manejo de espécies dominantes como o matamatá amarelo (*Eschweilera sp.*). Segundo ter Steege *et al.* (2013), essa morfoespécie é a número 1 na hiperdominância da bacia amazônica. Além do matamatá amarelo, na presente tese utilizamos informações de espécies de breu vermelho e ucuuba punã que são morfoespécies dominantes em inventários no Amazonas (Higuchi 2015). Devido à ausência de parcelas permanentes no interior do estado, técnicas que estimam o crescimento com métodos isotópicos foram comparados com dados de parcelas permanentes para determinar uma técnica segura que estime o incremento arbóreo em sítios onde não há monitoramento de longo prazo.

O presente trabalho está dividido em três objetivos foco:

1- encontrar um método isotópico para estimar o incremento de espécies florestais em locais sem parcelas permanentes. São utilizados incrementos estimados com a contagem de anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  e com datação com  $^{14}\text{C}$ . Ohashi *et al.* (2015) reconheceram a resposta sazonal da água da chuva na celulose da madeira, expressa em anéis isotópicos. Se os anéis isotópicos são anuais, é possível estimar incremento das espécies com esse método. No entanto, ao reconhecer a anualidade dos anéis com  $^{14}\text{C}$  foram detectadas lacunas de mais de 10 anos entre os anos estimados com  $^{18}\text{O}$  e com  $^{14}\text{C}$ . A eficiência desses dois métodos é confrontada com estimativas de incremento obtidas em parcelas permanentes e bandas dendrométricas – monitoradas há mais de 20 anos - no sítio ZF2 do INPA, em Manaus. Para esse teste foram utilizadas as seguintes espécies dominantes: matamatá (*Eschweilera sp.*), ucuuba-punã (*Iryanthera sp.*) e breu vermelho (*Protium sp.*). Neste primeiro objetivo foco é possível reconhecer qual método isotópico é seguro para estimar incremento em locais sem parcelas permanentes.

2- descrever a ocorrência de anos de incremento nulo em parcelas permanentes de 23 anos de medições anuais com precisão de 0,1cm e em parcelas de 10 a 14 anos de medições mensais com bandas dendrométricas com precisão de 0,01mm. Os dois tipos de parcelas permanentes estão localizadas na EEST/ZF-2. Esta análise foi realizada em três morfoespécies matamatá amarelo, ucuuba-punã e breu-vermelho. Nas bandas dendrométricas esta análise foi realizada a nível de família: Lecythidaceae, Myristicaceae e Burseraceae. Estas informações foram confrontados com variações na precipitação e com dias sem chuvas nos respectivos anos avaliados. A busca por supostos anéis ausentes nesse grupo de espécies está relacionado com o trabalho de Ohashi *et al.* 2015 que a discrepância entre os anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  com a datação com  $^{14}\text{C}$  pode ser devido a ausência crescimento diamétricos em alguns anos. A ausência de anéis de crescimento pode ser o motivo para a elevada discrepância entre as estimativas de idade de árvores tropicais entre métodos de contagem de anéis de crescimento com datação com  $^{14}\text{C}$  da medula (Brienen *et al.* 2016).

3- O método isotópico mais eficiente indicado no objetivo foco 1, é aplicado em seis sítios diferentes no Amazonas para estimar o incremento da morfoespécie matamatá amarelo. A morfoespécie matamatá amarelo foi selecionada por ser a número 1 na hiperdominância de ter Steege *et al.* 2013. O manejo de uma espécie dominante oferece mais segurança ao mercado madeireiro e ao manejo florestal. Foram selecionados 6 sítios representando importantes afluentes do rio Amazonas, nas micreoregões do Alto Solimões, de Juruá, de Rio Negro, de Manaus, do rio Madeira e de Parintins. Variáveis ambientais foram correlacionados com o incremento de cada árvore para reconhecer quais fatores influenciam no crescimento dessa espécie. A variação do incremento de acordo com características do sítio pode indicar que: i. é necessário determinar ciclo de corte para o MFS de acordo com as características de cada sítio; ii. a espécie hiperdominante matamatá amarelo é elástica e responde a intervenções silviculturais como abertura de clareiras e nutrientes no solo, característica importante para o MFS.

Para compor a presente tese foi realizado uma revisão bibliográfica que contempla desde o mercado madeireiro até conhecimentos básicos de análise isotópica.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo superior

Incentivar o manejo florestal de espécies hiperdominantes na Amazônia Central e reconhecer o incremento dessas espécies em diferentes sítios para subsidiar informações para estimativa de ciclo de corte no manejo florestal

### 2.2 Objetivo geral

Avaliar o crescimento e incremento diamétrico de espécies florestais dominantes na Amazônia Central em escala temporal e espacial

### 2.3 Objetivos específicos

Comparar métodos de estimativa de Incremento Periódico Anual (IPA) diamétrico em espécies dominantes na Amazônia Central

Descrever a variação temporal e a ocorrência de anos com Incremento Corrente Anual (ICA) nulo em parcelas permanentes

Determinar e comparar o Incremento Periódico Anual (IPA) e quantidade média de carbono fixado em um ano para espécies de matamatá amarelo em 6 sítios do Amazonas e correlacionar com variáveis ambientais



### 3 REVISÃO BIBLOGRÁFICA

#### 3.1 Mercados de madeira tropical

##### 3.1.1 Mercado internacional

O crescimento econômico global indica que a demanda mundial por madeira é crescente. No ano de 2005, aproximadamente 3 bilhões de m<sup>3</sup> de madeira foram removidos no mundo, onde 60% foi utilizado na indústria e 40% em energia (FAO 2006). Vale ressaltar que neste mesmo ano, apenas 2,8% da área total de florestas do mundo eram plantadas, o que aponta para o elevado índice de exploração de florestas naturais no abastecimento do mercado mundial (FAO 2006). A América do Sul possui 30% dos estoques mundiais de florestas naturais onde 19% estão situadas no Brasil (FAO 2006). No entanto, o Brasil conserva a maior área contínua de floresta tropical do mundo. Com toda essa reserva, o Brasil está em terceiro lugar entre os principais países produtores de madeira tropical, atrás apenas da Indonésia e da Malásia (ITTO 2014). No ano de 2014 o Brasil produziu 30 milhões de m<sup>3</sup> de madeira em tora, das quais, em quase sua totalidade foram consumidos pelos brasileiros (ITTO 2014).

No mercado internacional, a participação da Amazônia é ainda muito pequena, quando comparada com a de países do sudeste asiático. Malásia e Indonésia contribuíram em 2014 com 12 milhões e 10 milhões de m<sup>3</sup> de madeira (equivalente em tora), respectivamente, ao mercado externo; o Brasil exportou em torno de 800 mil m<sup>3</sup> de madeira (ITTO 2014). Na América tropical, o Brasil se destacava como exportador de madeira serrada oriunda da Amazônia. Em 1998 14% da madeira processada no país eram exportadas, esse número chegou a 36% em 2004 e reduziu a 21% em 2009 (SFB e IMAZON 2010). Fato que levou o Brasil a perder o posto de maior exportador de madeira serrada na América tropical para o Peru em 2013 (ITTO 2014).

##### 3.1.2 Mercado nacional

O Brasil se destaca no mundo como um dos países que mais consomem madeira tropical (ITTO, 2014). Nos últimos anos, o mercado de

madeira tropical brasileiro foi aquecido pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) que investiu em infraestrutura e em construção civil (SFB, 2011). A região brasileira que mais consome madeira oriunda da Amazônia é o sudeste (44%), seguida pelo sul (22%), nordeste (17%), centro-oeste (9%) permanecendo apenas 8% da produção na região norte (SFB e AMAZON 2010). Este comportamento do mercado está relacionado com o índice populacional e de produção de cada região.

No ano de 2009 foi extraído da floresta 14,2 milhões de m<sup>3</sup> de madeira em tora, que resultou na produção de 5,2 milhões de m<sup>3</sup> de madeira processada, um rendimento de 36% (SFB e AMAZON 2010). Dessa madeira processada, 72% foi madeira serrada de baixa qualidade (ripas, caibros, moirões e similares), 15% de madeira beneficiada de alto valor agregado e 13% de madeira laminada e compensado (SFB e AMAZON 2010). Os 64% de resíduos oriundo da produção de 2009 foram destinados para reaproveitamento como carvão, energia e usos diversos (SFB e AMAZON 2010). Vale ressaltar que no ano de 2009 o Brasil obteve uma produção de madeira atípica, dentre os motivos destaca-se a crise mundial de 2008 e a intensificação da fiscalização no setor. Tanto o consumo como a produção foram abaixo da metade dos anos anteriores e posteriores (ITTO, 2014).

A receita bruta do setor madeireiro na Amazônia Legal no ano de 2004 foi de 6,7 bilhões e em 2009 de 4,9 bilhões de reais (SFB e AMAZON 2010). Este setor desempenha papel importante na economia de alguns estados amazônicos como Pará que lidera com 47% da produção do país, seguida pelo Mato Grosso (28%) e Rondônia (16%) (SFB e AMAZON 2010). O Pará possui mais de 1000 indústrias madeireiras, que assim como nos demais estados, estão aglomeradas em polos madeireiros. No entanto, esses polos madeireiros (SFB e AMAZON 2010) coincidem geograficamente com o arco do desmatamento da Amazônia Legal. A exploração madeireira por si só não ocasiona o desmatamento, mas o induz ao abrir estradas e permitir o acesso para a derrubada da floresta e conversão do uso do solo.

A produção de madeira movimentava bilhões de dólares por ano no Brasil (ITTO 2014) e é uma matéria prima de primeira necessidade para a população. No entanto, a exploração ilegal e as fraudes de documentação de origem florestal fazem com que o mercado madeireiro caminhe junto com o

desmatamento da Amazônia. A exploração de madeira têm contribuído para a abertura de fronteiras e conversão do uso da terra de floresta para agricultura (Richardson e Peres 2016). Desde 2005, por meio do IBAMA, o governo intensificou as fiscalizações no setor com o Plano de Combate ao Desmatamento. O aumento de madeira apreendida e multas aos madeireiros causou uma diminuição no volume total de toras produzidos anualmente na Amazônia (SFB e IMAZON 2010). Nesse contexto, em setembro de 2016 o Brasil ratificou o Acordo de Paris e entregou ao Secretário da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) um documento jurídico com a pretendida Contribuição Nacional Determinada (intended Nationally Determined Contribution – iNDC). Neste documento, o governo se comprometeu em zerar a taxa de desmatamento ilegal da Amazônia até 2030 (Brasil, 2016). O grande desafio do Brasil no entanto é produzir madeira tropical de forma sustentável e ao mesmo tempo conter o desmatamento ilegal.

## 3.2 Manejo Florestal Sustentável na Amazônia

### 3.2.1 Histórico e situação atual

Desde a década de 1980 estudos paleológicos e de ecologia histórica desmistificam a visão de floresta primária intocada na Amazônia. Há fortes indícios que a floresta amazônica é uma floresta antropizada, ou seja, há influência humana na estrutura da floresta que conhecemos hoje (Lui, 2008; Scoles 2011). A presença de castanhais, buritizais e outras ilhas de espécies de origem antrópica comprovam que o manejo florestal é uma prática que já ocorria no período pré-colonial. No entanto, ao falar de manejo florestal precisamos enfatizar que estamos manejando uma floresta madura que possui influência antrópica e não uma floresta primária.

A riqueza e a diversidade que encontramos hoje na floresta demonstra que os povos pré-colombianos mesmo com a utilização do fogo para a produção da roça conseguiram manejar e viver por muito tempo em uma floresta diversa. Porém no período colonial o exemplo da exploração do pau-brasil (Cardoso *et al.* 1998) demonstrou um método degradante de exploração que quase levou a extinção desta espécie na mata atlântica. Na Amazônia, no final do século XIX o ciclo da borracha foi um período áureo de

manejo florestal não madeireiro, que devido a diversos problemas também decaiu. Foi com a expansão agrícola na década de 1950 e com a diminuição do estoque de madeira das florestas do sul do Brasil na década de 1960 que as madeiras da floresta amazônica começaram a ganhar destaque no mercado madeireiro (Barros e Veríssimo 2002).

A primeira regularização da exploração da floresta amazônica foi descrita no artigo 15 da lei 4.771/1965, que proibiu a exploração de madeira de florestas da bacia amazônica sem planos técnicos de manejo. Este artigo previu que no prazo de um ano seriam publicadas as normas técnicas de condução e manejo de exploração de madeira na Amazônia. No entanto, essas normas só foram regulamentadas na década de 90 com o decreto 1.281/94 e 2.788/98, possivelmente influenciados pela Rio 92 para regularizar a exploração madeireira na Amazônia. Com esses decretos foi instituído o manejo florestal sustentável como a alternativa para diminuir o desmatamento da Amazônia e foi proibido o corte da castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). Em 1999 iniciou o Projeto de Apoio ao Manejo Florestal (ProManejo) com o objetivo de aumentar a área florestal manejada e inibir a exploração madeireira predatória na Amazônia (Veríssimo 2005). O ProManejo durou até 2006 e nesse período exerceu importante papel na criação de políticas públicas para o manejo florestal (políticas estas instauradas nos anos 2000 e em funcionamento até os dias atuais).

Nos anos de 2000, a política florestal é fortalecida com uma gama de políticas públicas no setor, dentre elas: (i) o Sistema Nacional de Unidades de Conservação SNUC (Lei N 9.985/2000); (ii) o Programa Nacional de Florestas (Decreto N 3420/2000); (iii) a lei 11.284/2006 que dispõe sobre a gestão de florestas públicas com aplicação de manejo florestal, institui o Serviço Florestal Brasileiro, cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal, entre outras atribuições; (iii) o decreto 5.975/2006 regulamenta a exigência na aprovação do plano de manejo florestal sustentável e no monitoramento da madeira explorada na Amazônia. O impacto das políticas públicas dos anos 2000 foram marcantes no setor florestal. Pois além de instituir as normas para o manejo florestal sustentável o governo aumentou o número de fiscalizações em toda a Amazônia Legal com a

implantação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal pelo IBAMA.

Os produtores de madeira tropical sentiram economicamente as mudanças no setor florestal. As fiscalizações atingiram principalmente os madeireiros que exploravam em áreas privadas, setor que apresentou uma considerável diminuição na produção de madeira (SFB 2011). Com a Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei 11.284/2006) o foco do investidor florestal mudou. Inicialmente o investidor florestal utilizava as áreas privadas para serem manejadas e agora, com incentivo do governo federal deve investir nas concessões florestais para extrair madeira de florestas públicas de modo sustentável (SFB 2011).

Vale ressaltar que todo esse movimento das políticas públicas florestais nos anos 2000 foi consequência de pressão externa. Na Rio- 92 o conceito de desenvolvimento sustentável foi especificado para as questões florestais na “Declaração de Princípios para um Consenso Mundial sobre o Manejo, Conservação e Desenvolvimento Sustentável de todos os Tipos Florestais” (Higuchi *et al.* 2012). Dentre os acordos internacionais estabelecidos neste documento para disciplinar o manejo florestal, a ITTO 2000 definiu que à partir dos anos 2000 somente a madeira oriunda de planos de manejo florestal sustentável seria comercializada sob os auspícios desta organização (Higuchi *et al.* 2012).

### 3.2.2 Conceitos do Manejo Florestal

A transição de manejo de madeira em regime de produção sustentável para um sistema mais amplo, combina produção de madeira e produtos não madeireiro com a conservação e preservação dos produtos, serviços ambientais e funções ecológicas da floresta (Leslie 1994). Segundo Dykstra e Heinrich (1992), a definição de manejo florestal sustentável da FAO é a seguinte: “manejo e conservação da base dos recursos naturais e a orientação tecnológica, que proporcionem a realização e a satisfação contínua das necessidades humanas para a atual e futuras gerações.” Nas florestas tropicais a chave para promover a sustentabilidade na exploração florestal é utilizar o conhecimento disponível em 5 critérios: planejamento da exploração, estradas florestais, derrubada, arraste e avaliações pós-

exploração (Higuchi *et al.* 2012). Para Lanly (1995), desenvolvimento sustentável na área florestal significa a conservação da terra, água e do patrimônio genético junto com a utilização de métodos tecnicamente apropriados, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis.

O manejo florestal para ser sustentável tem que contemplar também a conservação dos recursos genéticos. Os sistemas de manejo florestal que têm intenções de combinar produção madeireira com conservação dos recursos genéticos requerem algum entendimento da dinâmica da floresta e da estrutura genética de espécies e de populações. Segundo Kemp e Palmberg Lerche (1994), as informações sobre estrutura genética são praticamente inexistentes em florestas tropicais. Desta forma, o manejo deve ter estratégias embasadas no conhecimento das populações das espécies manejadas, como também considerar um mínimo de monitoramento sobre as outras espécies que coexistem no local, principalmente aquelas raras e de difícil controle (Higuchi *et al.* 2012). O manejo florestal sustentável é o paradigma do setor florestal.

### 3.2.3 O manejo florestal na legislação brasileira

A legislação brasileira com o intuito de alcançar o manejo florestal na Amazônia utiliza-se do seguinte conceito de Manejo Florestal Sustentável: “administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal” (Lei 11.284/2006). O manejo florestal sustentável no Brasil previsto em lei (CONAMA N 406/2009) trabalha com a exploração de múltiplas espécies comerciais. A intensidade de corte é estimada com base na produção anual para o grupo de espécies comerciais. As intensidades máximas de corte definidas foram 30 m<sup>3</sup>/ha para áreas que utilizam maquinário e um ciclo de corte inicial de 35 anos e 10 m<sup>3</sup>/ha para os planos de manejo que não utilizam maquinários com ciclo de corte inicial de 10 anos. As diretrizes para o cuidado com o material genético das espécies exploradas são: a manutenção de pelo menos 10% do número de árvores por

espécie, na área de efetiva exploração, respeitando o limite mínimo de manutenção de três árvores por espécie por 100 ha (cem hectares); a manutenção de todas as árvores das espécies, cuja abundância de indivíduos com DAP superior ao diâmetro mínimo de corte seja igual ou inferior a três árvores por 100 ha de área de efetiva exploração.

#### 3.2.4 Seleção de espécies manejadas

Atualmente no manejo florestal, indivíduos de diferentes espécies e gêneros têm sido manejados com o mesmo nome popular (Procópio e Secco 2008). Este agrupamento de espécies involuntário pode ser prejudicial tanto para o processo ecológico e manutenção da diversidade genética quanto para a comercialização da madeira. Novas técnicas que utilizam o espectro no infravermelho próximo têm sido testadas para auxiliar no reconhecimento de espécies florestais proximamente relacionadas (Durgante *et al.* 2013), de diferentes estágios ontogenéticos (Lang *et al.* 2015) e de diferentes origens geográficas (Bergo *et al.* 2016).

As espécies exploradas no manejo florestal são selecionadas de acordo com as exigências do mercado madeireiro. O mercado exige madeiras de alta qualidade, com densidade básica que varia de média a alta. A intensa exploração de poucas espécies gera um empobrecimento na qualidade da floresta e a erosão genética das espécies exploradas. Um exemplo é o mogno (*Swietenia macrophylla*), que devido a intensa exploração está na lista de espécies ameaçadas de extinção do CITES (Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção). Como alternativa para esse problema, visualiza-se diversificar a produção florestal ao manejar um maior número de espécies para diferentes fins. Deste modo, diminui-se a pressão das espécies de elevado valor comercial e incentiva-se o manejo de espécies dominantes (ter Steege *et al.* 2013). As espécies dominantes podem ter um menor valor no mercado de madeira serrada mas pode abastecer outros setores do mercado ainda pouco explorados.

#### 3.3 Ciclo de corte: Crescimento & incremento das árvores

Com base em dados de experimentos de exploração florestal a legislação determina o ciclo de corte de no mínimo 10 e no máximo 35 anos

para o manejo de espécies comercialmente exploradas. Porém a taxa de crescimento de uma árvore é influenciada por características genéticas da espécie, pela disponibilidade de recursos (água, nutrientes e luz) e pela competição com os demais indivíduos arbóreos. No pós-exploratório pode ocorrer um aumento no número de indivíduos por hectare, número de espécies pioneiras e uma diminuição de espécies tolerantes a sombra (Silva *et al.* 1995). Os experimentos de exploração mostram que as espécies comerciais não recuperaram o volume extraído em 25 anos (Amaral 2013). Estudo sobre o crescimento das espécies é essencial para a definição do ciclo de corte.

### 3.3.1 Comportamento fisiológico e variações ambientais

A árvore é um indivíduo geneticamente diverso, em processo de desenvolvimento que responde a variações ambientais, tanto climáticas como microclimáticas (Halle *et al.* 1978). Do ponto de vista fisiológico, grande parte do crescimento da árvore origina-se dos meristemas. Os meristemas podem ser considerado fábricas celulares onde os processos de divisão celular, expansão e diferenciação geram o corpo vegetal (Taiz e Zeiger 2004). Os meristemas vegetativos se autoperpetuam mantendo-se ativos por mais de mil anos em caso de algumas árvores. Os meristemas vegetativos são divididos em 2 meristemas, o primário ou meristema apical e o meristema secundário. O meristema primário é responsável pelo crescimento em altura, origina o caule, órgãos laterais como as folhas, as gemas e as raízes finas. O meristema secundário também conhecido como câmbio vascular produz o crescimento lenhoso do caule, ou seja, o xilema para transporte da seiva bruta das raízes até a copa e o floema que transporta a seiva elaborada das folhas para as demais partes da árvore. Ainda há outro meristema secundário, o felogênio que é responsável pela formação da casca.

As árvores interagem com as variações ambientais por meio do comportamento fisiológico. O processo fenológico de troca das folhas, a produção de flores e frutos e as variações no crescimento diamétrico são respostas fisiológicas da árvore a variações sazonais climáticas e microclimáticas (Silva *et al.* 2002; Rowland *et al.* 2014 a,b; Brienen *et al.* 2015; van der Sleen *et al.* 2015; Wagner *et al.* 2016; Wu *et al.* 2016). Por



meio da fotossíntese, as árvores captam o carbono da atmosfera e armazenam nos tecidos da árvore, como no tronco. A condutância estomática da folha é quem regula a entrada e saída de carbono na planta em resposta as variações ambientais e sazonais. Condições adequadas de umidade do solo como período chuvoso favorece o crescimento radial (Silva *et al.* 2002; Wagner *et al.* 2016). Estações secas no entanto, ocasionam a troca de folhas de algumas árvores e diminuição da taxa de incremento radial do tronco (Silva *et al.* 2002).

Em um estudo em diferentes sítios, a presença de folhas novas no período seco do ano induziu a uma maior capacidade fotossintética do ecossistema (Wagner *et al.* 2014; Wu *et al.* 2016) o que não está representado no incremento diamétrico (Silva *et al.* 2002). A radiação é diretamente relacionada com a capacidade fotossintética (Graham *et al.* 2003), porém quando a temperatura se aproxima de 30°C a capacidade fotossintética é reduzida (Lloyd e Farquhar 2008; Doughty 2011). Na Amazônia onde a temperatura média anual mínima é de 22,3°C com máxima de 31,6°C (Antônio, 2011), possivelmente ocorre redução na capacidade fotossintética ao longo do tempo.

O crescimento das árvores é altamente relacionado com fatores genéticos da espécie. As espécies possuem diferentes exigências quanto a intensidade de luz, de água, de restrições nutricionais, como também diferentes mecanismos de defesa contra predadores naturais (Fine *et al.* 2004). Whitmore (1989) aponta que todo o ciclo florestal inicia em um distúrbio e que a diferença da composição das espécies no próximo ciclo é resultado do tamanho da clareira e da exigência por luz de cada espécie. É possível distinguir grupos funcionais de espécies de acordo com suas características genéticas de crescimento. Swaine e Witmore (1988) definiram dois grandes grupos como pioneiras e clímax (as não pioneiras). Espécies de crescimento rápido são mais exigentes a luz, possuem sementes pequenas e de fácil dispersão e ao encontrar uma clareira investem em um rápido crescimento em altura para alcançar o dossel (Whitmore 1989). As espécies de crescimento lento são mais tolerantes a sombra (Lewis e Tanner 2000), geralmente possuem sementes largas com elevada quantidade de reserva na

germinação e estabilização sob baixos níveis de radiação solar (Whitmore 1989).

Outro comportamento intraespecífico primordial para o manejo florestal são as características plásticas e elásticas de algumas espécies. Há espécies que possuem características plásticas para se adaptar em diferentes habitats. As espécies que possuem propriedades elásticas respondem fisiologicamente à variações climáticas e microclimáticas. Os indivíduos de espécies inelásticas mantêm sempre o mesmo comportamento independente da variação microclimática e ambiental (Silva *et al.* 2002). Essas três características são importantes para o manejo florestal.

### 3.3.2 Crescimento arbóreo em florestas tropicais

A elevada variação nas taxas de crescimento das árvores ao longo do tempo está relacionada a fatores genéticos e ambientais. A variação intraespecífica de crescimento diamétrico está relacionada ao estágio ontogenético, a posição e a disponibilidade de luz para a copa das árvores (Clark e Clark 1992), quando estas estão sob as mesmas condições ambientais (solos e clima). Lieberman *et al.* 1985 apontam que há uma grande variação no crescimento entre árvores da mesma espécie ao longo do tempo e esta característica é inevitável nas árvores que crescem sob condições naturais na floresta. Devido a elevada variação no incremento ao longo do tempo, erros nas estimativas de idade por meio do uso do incremento periódico anual são reconhecíveis (Lieberman *et al.* 1985).

As árvores de crescimento lento predominantes em florestas tropicais maduras possuem uma história de vida que parte do pressuposto que os indivíduos vivem muitos anos sobrevivendo no sub bosque esperando uma oportunidade para crescer (Whitmore 1989; Vieira e Trumbore não publicado). Essas árvores possuem uma característica plástica de sobreviver muito tempo sem crescer ou crescendo pouco em locais de pouca luz (Whitmore 1989). Esta característica pode estar relacionada a mecanismos de distribuição da produção primária líquida de acordo com a disponibilidade de recurso e a prioridade na ocasião. A intensidade de luz é um recurso limitante no crescimento de árvores nas florestas tropicais (Lewis e Tanner 2000; Lieberman *et al.* 1985) principalmente em estágios ontogenéticos

iniciais. Porém pouco é reportado como a restrição por luz no dossel e subdossel afeta no crescimento diamétrico de árvores adultas.

Silva *et al.* 2002 encontraram indivíduos com incremento corrente anual nulo em árvores monitoradas por um ano com bandas dendrométricas na região de Manaus. Swaine *et al.* 1987 em florestas africanas de Gana perceberam uma forte relação de incremento nulo ou negativo com a taxa de mortalidade, relacionando este fator principalmente a fase de senescência da árvore ou supressão. Feldpausch *et al.* 2016 observaram que em anos de extrema seca as árvores obtiveram produção primária líquida (PPL) negativa na Amazônia. Vale ressaltar que períodos de extrema seca na Amazônia, a temperatura permanece alta por muito tempo, o que pode diminuir a capacidade fotossinteticamente ativa (Lloyd e Farquhar 2008; Doughty 2011).

### 3.3.3 Anéis ausentes em árvores com limitação de luz

O crescimento das árvores envolve respostas do regime de luminosidade da floresta (Lieberman *et al.* 1985). Em florestas temperadas foram registrados períodos sem formação de xilema em determinadas regiões do tronco (Bormann 1965; Parent *et al.* 2002). Em um estudo realizado em árvores suprimidas com pinus branco (*Pinus strobus* L.) de 60 anos de idade Bormann (1965) aponta que: i. a primeira evidência de supressão da árvore é a redução na produção do xilema secundário (em 30 anos de vida suprimida, as árvores cresceram apenas 19% do total do crescimento diamétrico); ii. o crescimento em altura é relativamente insensitivo à supressão (em 30 anos de vida suprimida as árvores cresceram 50,7% do total do crescimento em altura); iii. largas zonas de anéis ausentes são encontradas de forma decrescente da base para o topo (quanto mais próximo da base maior ausência de anéis no xilema). Ainda, Bormann (1965) realizou um experimento de anelamento das árvores suprimidas, para comprovar que o floema segue funcionando normalmente nas árvores suprimidas, mesmo nas regiões em que o xilema não está sendo produzido. Este experimento comprova que as árvores com limitação de energia fotossintética investem mais em crescimento primário e sobrevivência aguardando a oportunidade de incrementar em diâmetro. Bormann (1965) reporta árvores com 11 e 12 anéis ausentes na base enquanto Tuberville e

Hough (1939) reportaram 28 anéis ausentes, o que os autores acreditam ser anos. Parent *et al.* (2002) reportaram uma variação de 2 a 28 anéis ausentes em árvores de *Abies balsamea* (L.) Mill. no Canadá.

Em florestas naturais como a floresta amazônica é totalmente aceitável que as árvores permanecem muitos anos suprimidas, sobrevivendo e aguardando a oportunidade de alcançar o dossel e crescer. A teoria da dinâmica de clareiras explica a ocorrência e distribuição das espécies na floresta (Chambers *et al.* 2013) baseada na seleção das espécies de acordo com a disponibilidade de luz fornecida pela clareira. Essas espécies sobrevivem e dominam o dossel (Whitmore *et al.* 1989; Chambers *et al.* 2013). No entanto, essa teoria considera que as árvores permanecem muito tempo no sub bosque aguardando a oportunidade ideal para crescer.

Porém não há estudos detalhados do tempo que uma árvore consegue sobreviver até atingir as condições ideais para crescer e se reproduzir. Vieira e Trumbore em dados não publicados encontraram uma diferença de mais de 60 anos de idade do carbono da medula da base para o carbono da medula à 1,3 metros de altura em arvoretas de 1 cm de DAP. Vieira (2003) e Selhort (2005) não encontraram relação entre classe diamétrica e idade das árvores. A estimativa de idade por meio da taxa de crescimento em florestas naturais é muito incerta. Ao ignorar o fato que ocorrem incontáveis anos de dormência cambial, a estimativa de idade utilizando a taxa de crescimento de um determinado período possivelmente subestima a idade do indivíduo. Se os períodos de dormência cambial são uma característica plástica destas espécies amazônicas como estratégia de sobrevivência, técnicas de análise de variação temporal na madeira não conseguem quantificar este período. Esse pode ser o motivo da discrepância na estimativa de idade das árvores amazônicas entre os métodos de contagem de anéis anatômicos estimando idade máxima de 250 anos e os métodos que datam a idade da medula da árvore com  $^{14}\text{C}$  (média 350 e mais velha 1490 anos) (Brienen *et al.* 2016).

#### 3.3.4 Crescimento diamétrico

O crescimento diamétrico medido pelo incremento no DAP (diâmetro à altura do peito) é a variável de maior interesse dos florestais para avaliar principalmente produtividade da madeira. O crescimento diamétrico em

florestas é reportado por meio do incremento. O incremento pode ser expresso como: incremento corrente; incremento médio; incremento periódico; incremento corrente anual; incremento médio anual; e incremento periódico anual.

#### 3.4 Técnicas de medição de incremento

O diâmetro à altura do peito (DAP) é a variável mais utilizada para quantificar o crescimento das árvores em campo. Esta variável possui fortes correlações com outras variáveis como altura, volume e peso. Diferentes métodos são utilizados para medir a taxa de crescimento diamétrico das árvores e estes variam na precisão, custo, operacionalização etc. (Bormann e Kozlowski 1962; Auchmoody 1976; Clark *et al.* 2000). O monitoramento de parcelas permanentes é o método mais utilizado (Lieberman *et al.* 1985; Higuchi 1987; Clark e Clark 1992; Phillips *et al.* 2001; Malhi *et al.* 2004; Higuchi 2015), seguido das análise de anéis anuais na madeira (Worbes 2002; Worbes *et al.* 2003; Schogart *et al.* 2007) e análise de radioisótopo de  $^{14}\text{C}$  (Vieira *et al.* 2005).

##### 3.4.1 Remedição de Parcelas Permanentes

As parcelas permanentes exigem remedições em larga escala de tempo para construir dados consistentes (Clark e Clark 1992). A manutenção das parcelas ao longo do tempo e a remedição possuem um elevado custo (Lima, 2010). É necessário um período de monitoramento muito maior do que 30 anos para descrever o comportamento de florestas com árvores que atingem mais de mil anos (Chambers *et al.* 1998). A medição do diâmetro pode ser realizada por meio de fitas diamétricas, bandas dendrométricas e dendrômetros com diferentes níveis de precisão (Bormann e Kozlowski 1962).

A medição direta no tronco mais utilizada é por meio de fitas métricas ou fitas diamétricas. As fitas métricas, similares a fita de costureira ao medir a circunferência da árvore repassa informações do comprimento da circunferência enquanto que a fita diamétrica ao medir a circunferência da árvore fornece a informação do diâmetro da árvore. As fitas diamétricas permitem uma precisão de 0,1cm ou seja, 1mm (Honorio e Baker 2010). Para uma floresta que a média do incremento diamétrico das árvores é 1,6

mm/ano (Silva *et al.* 2002), há árvores que crescem muito além disso em um ano e há árvores que o crescimento não consegue ser captado dentro desta precisão.

As bandas dendrométricas, que medem a circunferência do tronco de árvores, são utilizadas para monitorar mudanças mais precisas no crescimento em diâmetro (Auchmoody 1976). Estas bandas são produzidas tanto por empresas quanto pelos próprios pesquisadores de acordo com a necessidade da pesquisa (Drew e Downes 2009). As bandas utilizadas no presente trabalho foram manufaturadas para a dissertação de mestrado de Roseana Silva e Edgard Tribuzi com o auxílio do pesquisador Jeffrey Chambers e foram adaptadas de Auchmoody (1976). As bandas de Silva (2001) são produzidas de acordo com o esquema abaixo e utiliza-se paquímetro digitais para as leituras. Uma fita metálica é utilizada para confeccionar esta banda. Para a confecção da banda corta-se a fita metálica no comprimento de 26 cm mais a medição da circunferência da árvore. Em cada uma das extremidades, em determinada distância (7,2 cm e 13 cm) duas janelas são abertas no comprimento de 7 cm e 6 cm respectivamente (Figura 1). A fita metálica faz o contorno do tronco de modo que as janelas fiquem quase totalmente sobrepostas. Na posição de 40 cm de uma das extremidades da fita são realizados 2 pequenos furos para fixar a mola. A mola é encaixada nos dois furos de 40cm de distância de uma extremidade com um outro pequeno furo da outra extremidade da fita. Esta banda dendrométrica mede a variação do crescimento do tronco de acordo com a expansão da mola metálica aplicada. A mola se expande e as janelas vão abrindo. A abertura das janelas é medida com o paquímetro com o passar do tempo e o incremento fica registrado na diferença entre a abertura da janela.

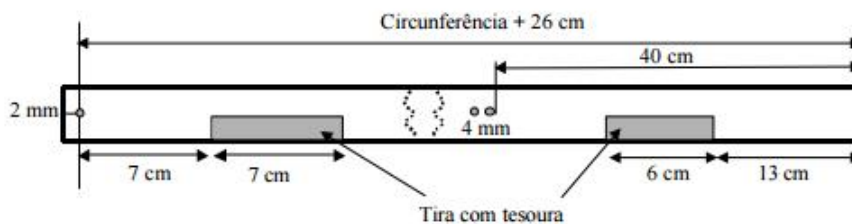


Figura 1: Desenho esquemático para construção da banda dendrométrica metálica. Fonte: Silva 2001.

A resolução das bandas dendrométricas medidas por paquímetros digitais é de 0,02mm (Honorio e Baker 2010) ou 0,01mm que é a precisão do paquímetro. Dentre as vantagens do uso das bandas dendrométricas, destaca-se a facilidade de instalação e de leitura, o custo baixo na manutenção e não acarretam danos ao caule (Keeland e Sharitz 1993). Por outro lado, a principal desvantagem observada é o fato que no período inicial de instalação as observações medidas nas bandas tendem a subestimar o crescimento em diâmetro (Bower e Blocker 1966; Keeland e Sharitz 1993), podendo considerar como um período de encaixe da banda no tronco (Silva *et al.* 2002). Por este motivo, Silva *et al.* (2002) excluíram os três primeiros meses de medição como o período de adaptação da banda ao tronco.

Por captar informações de crescimento com resolução alta (aproximadamente 0,02mm) a frequência que as bandas dendrométricas são monitoradas permitem detectar pequenas mudanças na espessura tronco (Drew e Downes 2009). Um exemplo é o comportamento do crescimento diamétrico intra-anual do tronco como uma expressão das variações sazonais climáticas (Silva *et al.* 2002). Porém, há também variações diárias de expansão e estreitamento do tronco que são medidos com outros tipos de dendrômetros, que possuem maior frequência de medição (medição automática) e maior precisão (Drew e Downes 2009). É possível detectar o fluxo diário da água no tronco, o movimento contínuo do fluxo de solo – planta – atmosfera. Há um padrão diurno de expansão e estreitamento dependendo da hora do dia, do comportamento dos estômatos e das características do tempo (umidade do ar, temperatura, etc.). Esta variação diária está relacionada ao fluxo de seiva que ocorre principalmente nos tecidos externos do xilema incluindo casca e floema.

Geralmente, a remedição de parcelas permanentes exige um cuidado especial com a análise estatística. Em muitos estudos ecológicos há a remedição ao longo do tempo do mesmo indivíduo, que dependendo da pergunta da pesquisa, é necessário a análise de medidas repetidas (Von Ende 2001). Uma pergunta que exigir respostas de tendências ao longo do tempo ou de classes de tamanho com as variáveis oriundas dos mesmos indivíduos, exigem uma análise de medidas repetidas (Von Ende 2001; Littell *et al.* 1998). Respostas medidas em um mesmo indivíduo ao longo do tempo

são altamente correlacionadas. Soma-se a isso, que medições no mesmo indivíduo em um tempo próximo é altamente correlacionada que a resposta do indivíduo em um tempo mais distante (Littell *et al.* 1998). No entanto, a variância de medidas repetidas tendem a variar ao longo do tempo. Esse padrão de correlação e variação combina uma estrutura de covariância de medidas repetidas (Littell *et al.* 1998). Deste modo, ao utilizar dados de parcelas permanentes deve-se levar em consideração se a análise de variância compara os mesmos indivíduos em diferentes estágios ou ao longo do tempo. Se sim, deve-se atentar para a ANOVA de medidas repetidas.

#### 3.4.2 Dendrocronologia nos trópicos

As árvores são seres vivos que registram no tronco enquanto crescem a história do clima e do tempo em que viveram. O estudos de anéis de crescimento das árvores é uma ferramenta importante na ciência florestal. A dendrocronologia utiliza os anéis para determinar a idade e taxa de crescimento das árvores (Worbes 1995; Worbes 2002; Shöngart 2008; Rozendaal *et al.* 2010; Rozendaal e Zuidema 2011; Zuidema *et al.* 2012). A dendroclimatologia reconhece variações temporais de um passado recente registradas nos anéis de crescimento da madeira (Mc Carrol & Loader 2004; Robertson *et al.* 2006; Boninsegna *et al.* 2009; Brienen *et al.* 2016). O princípio destes estudos é reconhecer a resposta fisiológica da árvore de acordo com a variação ambiental por ela sofrida ao longo do tempo. A resposta fisiológica é o fator genético da espécie respondendo a um fator ambiental. O fator ambiental que mais influencia um indivíduo arbóreo é a variação temporal e/ou sazonal e os fatores microclimáticos, considerando que as propriedades dos solos são constantes ao longo da vida da árvore. Deste modo, esta ferramenta se desenvolveu com sucesso em florestas temperadas e subtropicais. Nestes locais há forte variação sazonal durante o ano que permitem períodos de dormência cambial registrando esse comportamento na madeira. No entanto, em florestas tropicais a sazonalidade intraanual não é tão acentuada, o que levanta dúvidas sobre a anualidade dos anéis (Lieberman *et al.* 1985; Whitmore 1990; Ohashi *et al.* 2015; Nath *et al.* 2016). Diversos fatores precisam ser levados em consideração na hora de estudar os anéis de crescimento nas florestas



tropicais naturais. Dentre eles podemos citar: genética da espécie, a variação climática e a dinâmica da floresta natural.

Há espécies tropicais que não formam anéis de crescimento visíveis (Ohashi *et al.* 2009). Por esse motivo os dendrocronologistas buscam e investem em espécies que apresentem os anéis visíveis (Worbes 2002; Rozendaal e Zuidema 2011; Schongart 2008; Zuidema *et al.* 2012; Brienen *et al.* 2016). Mesmo as espécies com anéis visíveis há eventos como falso anéis e anéis ausentes que pode ser reconhecidos analisando diferentes raios da mesma árvore para determinar a anualidade dos anéis (Cook e Kairiukstis 1990; Andreu-Hayles *et al.* 2015). Vale ressaltar que o crescimento diamétrico na mesma posição do tronco geralmente é irregular (Bormann e Kozlowski 1962; Worbes 2002), o que gera essa discrepância na formação dos anéis, exigindo a confiabilidade dos verdadeiros anéis dentro do indivíduo. Outro fator genético importante é a plasticidade e a elasticidade das espécies tropicais. As espécies tropicais que já foram comprovados a anualidade em um determinado habitat não garante que em outras condições ambientais apresentarão o mesmo comportamento cíclico anual (Ashton 1981; Bormann e Berlyn 1981; Whitmore 1990).

O fator climático que influencia na dormência cambial das árvores permitindo a anualidade dos anéis está relacionado com a sazonalidade intraanual. Nas florestas tropicais há locais com forte estações secas bem definidas como na Bolívia, em Santarém e no Acre e há locais onde a variação sazonal não é marcada, como São Gabriel da Cachoeira e outras localidades do Amazonas (Alvares *et al.* 2013). Em florestas tropicais onde não há variação sazonal marcada, foi encontrado anéis irregulares (Sass *et al.* 1995), dois anéis em um ano (Jacob 1989; Gourlay 1995) e dificuldades em reconhecer a anualidade dos anéis (Ohashi *et al.* 2015). No entanto, Andreu-Hayles *et al.* (2015) aponta que em ambientes tropicais com baixa sazonalidade marcada pode haver um padrão de crescimento compartilhado entre árvores que indica que há mudança no mesmo fator ambiental. Este fator ambiental pode ser limitante no crescimento radial neste conjunto de árvores, mas apenas isso não pode ser considerado como uma evidência de camadas de crescimento anual (Andreu-Hayles *et al.* 2015).

Outro fator relevante para a formação de anéis anuais que é pouco explorado nas discussões dendrocronológicas é a dinâmica natural da floresta. A floresta tropical é caracterizada pela dinâmica de clareiras (Whitmore 1989) que define a permanência da espécie em um determinado local. Os indivíduos que sobrevivem muito tempo no sub-bosque com limitação de luz, permanecem muito tempo com um crescimento limitado (Vieira e Trumbore não publicado). Neste caso, o comportamento do crescimento cambial em árvores suprimidas ou em elevado nível de competição na floresta é pouco estudado. É impossível prever por quanto tempo a árvore permanece em estado de dormência cambial apenas sobrevivendo. A dendrocronologia já comprovou que os anéis podem se comportar de forma diferente nos diferentes estágios ontogenéticos, sendo claros na forma adulta mas ausentes ou inexistentes na forma juvenil (Dunisch *et al.* 2002; Brienen e Zuidema 2005; Soliz-Gamboa *et al.* 2011). No entanto, pouco é reportado sobre limitação de crescimento em árvores adultas (Lieberman *et al.* 1985; Swaine *et al.* 1987; Silva *et al.* 2002). Lacunas nos anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  datados com  $^{14}\text{C}$  por Ohashi *et al.* (2015) sugerem que possam ocorrer longos períodos (anos) de dormência cambial em árvores adultas. Este fator impede o registro contínuo da variação temporal no tronco de árvores de terra firme na região de Manaus. No entanto, incontáveis anos de dormência cambial nos diferentes estágios ontogenéticos podem explicar a discrepância na estimativa de idade das árvores tropicais datadas com  $^{14}\text{C}$  na medula e determinada com a contagem de anéis de crescimento no tronco (Camargo *et al.* 1994; Vieira *et al.* 2005; Robertson *et al.* 2006; Patrut *et al.* 2007; Chambers *et al.* 1998; Schongart 2008; Brienen *et al.* 2009; Vlam 2014; Brienen *et al.* 2016).

Nas florestas tropicais próximo da Amazônia, anéis anuais são comprovados nas regiões andinas da Bolívia e da Argentina e na área da floresta amazônica foram descritos em regiões da Bolívia com elevada sazonalidade intraanual. Na Amazônia brasileira estudos dendrocronológicos com anéis anuais foram publicados em áreas de várzea e igapó (Worbes 1995; Worbes e Yunk 1989; Worbes *et al.* 2003; Worbes 2002; Schogart 2008), onde o período de dormência de crescimento da árvore corresponde ao período de inundação do rio. Porém, em áreas de terra firme sem

sazonalidade climática marcada é difícil definir se os anéis que se formam no tronco das árvores são anuais ou indicam algum evento climático não regular. Estudos sobre o crescimento de árvores em florestas naturais de terra firme da Amazônia brasileira precisam ser aprofundados.

### 3.4.3 Análise isotópica: Isótopos estáveis $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$

As árvores permanecem centenas de anos no ambiente e armazenam na madeira de forma sincronizada o carbono do ar e o oxigênio da água do solo (Mc Carroll e Loader 2004). As análises isotópicas da celulose da madeira permitem reconhecer dentre outras informações: a variação da condutância estomática ao longo do tempo com a razão isotópica do carbono treze ( $\delta^{13}\text{C}$ ); e a fonte da água que abastece a planta com a razão isotópica do oxigênio dezoito ( $\delta^{18}\text{O}$ ). Essas informações são essenciais e permitem inferir no comportamento do crescimento das árvores e no comportamento climático de um período recente. Porém, partem do pressuposto de que os anéis isotópicos são anuais ou expressam uma variação temporal reconhecível.

Estudos de variação isotópica em florestas tropicais auxiliam no entendimento dos ciclos biogeoquímicos que ocorrem no ecossistema. O funcionamento da troca dos elementos químicos entre o meio biótico e abiótico explica os processos ecológicos e fisiológicos da árvore com o ambiente (Ehleringer *et al.* 1986; Farquhar *et al.* 1989; Martinelli *et al.* 1999; Ehleringer *et al.* 2000; Dawson *et al.* 2002; Ometto *et al.* 2006; Coletta *et al.* 2009; Mardegan *et al.* 2009). Dentre os ciclos biogeoquímicos mais importantes destaca-se o ciclo do carbono que expressa a dinâmica do carbono na árvore e no ecossistema. O elemento químico carbono (C) possui três isótopos básicos e naturais: os isótopos estáveis ( $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ ), e um isótopo é radioativo ( $^{14}\text{C}$ ). Isótopo é o elemento químico que possui o mesmo número de prótons porém diferentes números de neutros, gerando massa atômica diferente. O carbono mais abundante na atmosfera é o  $^{12}\text{C}$  que possui 6 prótons e 6 neutrons e é representado por 98,89% de todo o carbono da terra. O  $^{13}\text{C}$  possui 6 prótons e 7 neutrons e sua abundância é de 1,11%. Estes dois isótopos  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$  são estáveis e sua abundância se mantém constante ao longo do tempo, imutável desde sua síntese nas estrelas (Trumbore *et al.* 2016a). Os átomos de carbono são constantemente

transferidos da forma inorgânica para a orgânica dentre os reservatórios de carbono (atmosfera, biofera, hidrosfera e litosfera) da terra. Este movimento pode mudar a abundância de  $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  em cada reservatório. O outro isótopo natural do carbono o  $^{14}\text{C}$  possui 6 prótons e 8 neutrons. O  $^{14}\text{C}$  não é um isótopo estável e sim um radioisótopo cuja a concentração varia ao longo do tempo na atmosfera. O cálculo da abundância do isótopo está relacionado com a razão do isótopo mais leve com o isótopo mais pesado (Equação 1).

Equação 1: Cálculo da da abundancia isotópica

$$R = \frac{\text{raro}}{\text{abundante}} = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}$$

A razão R da amostra é comparada com um padrão conhecido (Equação 2). Devido as diferenças encontradas na natureza entre a razão isotópicas da amostra e do padrão serem relativamente pequenas, o valor isotópico é expresso por um delta ( $\delta$ ) cujo o desvio é expresso em partes por mil (‰).

Equação 2: Cálculo da razão isotópica

$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \frac{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{amostra}}}{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{padrão}}} - 1 \right] \times 1000$$

O padrão original de isótopo de carbono estável é formado por carbonato de cálcio encontrado em uma rocha calcária da formação Pee Dee (PDB-Pee Dee Belemnite) no sul da Califórnia. Atualmente, todos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tem sido medidos e expressos a um novo padrão, o Viena PDB.

Devido a variação na composição isotópica em cada compartimento, o uso dos isótopos estáveis permite reconhecer como os recursos se movem no ecossistema (Martinelli *et al.* 2009, Dawson *et al.* 2002). As plantas desenvolveram diferentes caminhos fotossintéticos de fixação de carbono que resultam em diferenças na concentração isotópica durante o

deslocamento do carbono, que varia entre plantas C3 e plantas C4 (Farquhar *et al.* 1989). Nas árvores, o primeiro produto fotossintético contém 3 átomos de carbono, que a caracteriza como planta C3. Nas plantas C3 o  $\delta^{13}\text{C}$  médio da folha é -27 ‰ e nas folhas de planta C4 é -12.5 ‰. Só essa diferença já permite inferir muitas interpretações ambientais.

Porém a interpretação do ciclo isotópico está relacionada com a troca do meio abiótico com o meio biótico. Nas diversas etapas do ciclo, dependendo do ritmo em que ocorre, há fracionamentos da razão isotópica. A razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do gás carbônico do ar normalmente apresenta o  $\delta^{13}\text{C}$  de -8 ‰. As folhas das árvores (planta C3) apresentam valores muito mais baixos (-20 ‰ à -30 ‰). Essa variação de razão entre a fonte de produção (ar) e o tecido da folha é conhecido como fracionamento e os graus de fracionamento são controlados até certo ponto pela resposta da árvore ao ambiente. Devido a diferença de massa atômica entre os isótopos estáveis há uma facilitação de uso do isótopo mais leve. Durante o processo de fotossíntese há dois pontos de fracionamento do isótopo de carbono (Mc Carrol e Loader 2004). O primeiro é na fusão das moléculas de dióxido de carbono do ar através dos estômatos. O isótopo de carbono mais leve  $^{12}\text{C}$  são capazes de difundir mais facilmente do que o isótopo mais pesado, porque as moléculas “mais leves entram mais rápido”. O segundo fracionamento ocorre quando o  $\text{CO}_2$  interno é utilizado pelas enzimas da fotossíntese, onde os processos biológicos tendem a usar preferencialmente o  $^{12}\text{C}$  ao  $^{13}\text{C}$ , com uma fração líquida de -27‰. O fracionamento que ocorre na difusão e carboxilação são constantes, mas se o  $\text{CO}_2$  interno ficar enriquecido de  $^{13}\text{C}$ , (houver um fechamento dos estômatos), mais  $^{13}\text{C}$  será assimilado no açúcar produzido pelas folhas. Isso ocorre quando a razão da condutância estomática é baixa comparada com a razão fotossintética, ou seja os estômatos mantêm-se fechados mas a fotossíntese segue ocorrendo (Mc Carrol e Loader 2004). Essa razão da condutância estomática com a razão fotossintética é impressa nos anéis de crescimento e registra a variação ambiental ao longo do tempo (Mc Carrol e Loader 2004). Em locais com elevada intensidade do período seco é possível observar uma grande variação intraanual da  $\delta^{13}\text{C}$  da celulose da madeira (Ohashi *et al.* 2009).

Enquanto o isótopo estável de carbono expressa a relação fotossintética, o isótopo estável de oxigênio expressa informações sobre a fonte de água das plantas, na maior parte dos casos, a água do solo (Dawson e Ehleringer 1991; Dawson *et al.* 2002; Pons e Helle 2011; Brienen *et al.* 2013; Ohashi *et al.* 2015). Se a fonte de água da planta for a precipitação, o sinal isotópico da água interna na árvore é da precipitação com um fracionamento apenas da evaporação da água no solo (Mc Carrol e Loader 2004). Quando a raiz puxa a água não há fracionamento. O ponto crítico do fracionamento do  $\delta^{18}\text{O}$  é na folha onde ocorre a evaporação pela transpiração (Mc Carrol e Loader 2004). Neste ponto, ocorre a perda de isótopos leves e o enriquecimento do  $^{18}\text{O}$ , podendo chegar 20‰. O nível de enriquecimento de  $^{18}\text{O}$  na folha varia com a temperatura, mas o principal enriquecimento depende da diferença entre a composição isotópica da fonte de água e a mistura do vapor do ambiente, assim como a pressão do vapor dentro e fora da folha (Mc Carrol e Loader 2004). Porém no momento da formação da celulose da madeira no tronco há uma troca de  $\delta^{18}\text{O}$  vindo da seiva do floema com  $\delta^{18}\text{O}$  da água que está no xilema (Barbour 2007). No entanto é possível reconhecer anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  nos anéis de crescimento de acordo com a variação  $\delta^{18}\text{O}$  da fonte de água. No caso das florestas de terra firme de Manaus a árvore armazena na celulose da madeira respostas da  $\delta^{18}\text{O}$  da água da chuva (Ohashi *et al.* 2015).

#### 3.4.4 Análise intra anual da razão isotópica de $^{13}\text{C}$ e $^{18}\text{O}$

##### 3.4.4.1 Análise do isótopo estável $^{18}\text{O}$

Cada amostra subdividida para análise isotópica deve pesar entre 80-200  $\mu\text{g}$  e o comprimento tangencial de aproximadamente 2 mm. Cada amostra é embalada em suporte de alumínio e seco a vácuo em  $70^\circ\text{C}$  um dia antes da análise isotópica. As subamostras foram submetidas a pirólise em forno de alta temperatura (Hekatech HTO) acoplado em um espectrômetro de massa de radioisótopo (Thermo Fisher MAT 252). Todos os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  são comparados com os valores do Padrão da Média da Água Oceânica de Viena (VSMOW) e escalas de PEE Dee belemnite, respectivamente. Padrões de celulose da IAEA-C3 e Merck foram as referências utilizadas por Ohashi *et al.* 2015).

#### 3.4.4.2 Determinação dos anéis isotópicos

Após comprovar uma variação cíclica nos dados de  $\delta^{18}\text{O}$ , cada ciclo é considerado um anel isotópico de  $\delta^{18}\text{O}$  (Ohashi *et al.* 2015). A determinação do limite entre dois ciclos (p.e. começo da estação de crescimento) difere dependendo da espécie. O limite para detectar os picos utilizado por Ohashi *et al.* 2015 foi baseado no erro analítico de dois valores de  $\delta^{18}\text{O}$ . Para determinar um anel isotópico, o ponto crucial é o ponto de mudança do maior para o menor valor que é caracterizado pela quebra entre o ponto mínimo e o ponto máximo. Os detalhes do protocolo utilizado para definir os picos de variação de  $\delta^{18}\text{O}$  e determinar os anéis  $\delta^{18}\text{O}$  estão descritos no material suplementar de Ohashi *et al.* (2015).

#### 3.4.5 Análise isotópica: Radioisótopo de $^{14}\text{C}$

A comprovação da anualidade dos anéis de crescimento tanto anatômicos como isotópicos têm sido comprovada com o radioisótopo de carbono  $^{14}\text{C}$  (Worbes 1995; Andreu-Hayles *et al.* 2015; Ohashi *et al.* 2015). Este método pode ser utilizado para datar amostras antigas de até 70.000 anos com diferentes intervalos de confiança. Para datação de amostras recentes o  $^{14}\text{C}$  pode informar a idade com elevada precisão (erro de  $\pm 2$  anos). O isótopo natural  $^{14}\text{C}$  é um radioisótopo totalmente diferente dos isótopos estáveis, começando pela sua formação e concentração na atmosfera. O radioisótopo  $^{14}\text{C}$  é produzido em taxas relativamente constantes na atmosfera por meio de uma reação nuclear de radiações cósmicas com o  $^{14}\text{N}$ , formando o  $^{14}\text{C}$  (Schuur *et al.* 2016). O  $^{14}\text{C}$  formado na atmosfera se mistura com os demais carbonos formando  $^{14}\text{CO}_2$  e sendo incorporado a biosfera por meio da fotossíntese. A concentração deste radioisótopo na atmosfera é tão baixa que a razão isotópica  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  é expressa por  $10^{-12}$ . Como a ciclagem do carbono entre a atmosfera e a biomassa viva é rápida, a maior parte dos tecidos das plantas que cresceram no período pré industrial mantém a razão  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  igual aos valores da atmosfera, quando corrigidos pelo fracionamento. Os animais refletem a razão  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  que vem das plantas e dos animais que estes consomem. Após a incorporação do  $^{14}\text{C}$  no tecido, como na parede celular do xilema da árvore, o tecido fica inativo e a incorporação do radiocarbono cessa, iniciando um processo de meia vida do

<sup>14</sup>C. Admitindo que a intensidade da radiação cósmica não variou no passado, a comparação do <sup>14</sup>C de um material mais velho com a atividade do <sup>14</sup>C “moderno” possibilita a datação das amostras (Vieira, 2003).

Os dados de <sup>14</sup>C podem ser reportados de diversas maneiras dependendo da aplicação: i. análise da meia vida do carbono para datar amostras mais antigas; ii. datação recente por meio da curva do Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com base no pico da bomba; iii. traçadores para estudos fisiológicos. Além das utilidades, há dois métodos de contagem de <sup>14</sup>C que são muito diferentes e com resolução diferentes: i. a contagem do decaimento por unidade de tempo relacionada com a radioatividade do elemento (Stuiver e Polach 1977) (exige grande quantidade de amostra); ii. a espectrometria de aceleração de massa (AMS) por meio da razão entre os isótopos <sup>14</sup>C, <sup>12</sup>C e <sup>13</sup>C (Trumbore *et al.* 2016a). No presente projeto usamos o método de AMS.

O método que utiliza o acelerador de partículas (AMS) para quantificar os átomos de <sup>14</sup>C não exige grande quantidade de amostras, mas precisa remover a influência do fracionamento ambiental, similar ao que ocorre com o <sup>13</sup>C. Detalhes sobre a correção dos dados de <sup>14</sup>C devido ao fracionamento pode ser observado em Trumbore *et al.* (2016a). Após essas correções, muitos laboratórios de AMS reportam os dados da Fração moderna (FM-Fraction Modern) da amostra de onde os dados de <sup>14</sup>C são derivados.

Por meio da Lei do Decaimento Radioativo em função do número de átomos de <sup>14</sup>C presente, é possível definir a idade de amostra orgânicas mais antigas, como materiais arqueológicos. Este processo parte do pressuposto de que a quantidade de <sup>14</sup>C inicial na amostra é conhecida (igual ao da atmosfera pré industrial); que ocorreu o decaimento radiotivo do <sup>14</sup>C ao longo dos anos; e que a amostra se encontra em um sistema fechado (não ocorreu trocas de C da amostra com a atmosfera ao longo do tempo). O decaimento radioativo ( $\lambda$ ) é considerado constante devido a meia vida do carbono definida por Libby em  $5568 \pm 30$  anos. Este valor atualmente foi corrigido para 5730 anos. Com informações da meia vida do <sup>14</sup>C foi calculado a vida média de 8033 anos que juntamente com a fração moderna expressa a idade do <sup>14</sup>C da amostra. A equação 3 expressa o cálculo do  $\Delta^{14}\text{C}$  da amostra para conhecer a idade do <sup>14</sup>C. No entanto a idade <sup>14</sup>C expressa pelo decaimento



radioativo não corresponde a idade do calendário. É necessário curvas de calibração criada por amostras com idade conhecida para relacionar a idade  $^{14}\text{C}$  com a idade do calendário.

Equation 3: Formula do Delta  $^{14}\text{C}$

$$\Delta^{14}\text{C} = \left[ \frac{\left[ \frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right]_{\text{amostra}-25}}{\left[ 0.95 \frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right]_{\text{OXI}-19} \exp^{((y-1950)/8267)}} - 1 \right] \times 1000$$

Onde:

OX-I- Padrão da atmosfera pré-industrial

y - ano que a amostra foi medida

A curva de calibração para definir a amostra de idades desconhecidas é a  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera. A curva de  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera é construída com base em milhões de amostras de anéis de crescimento de árvores, de corais e de conchas marinhas com idades conhecidas e contagem precisa. A curva de  $\Delta^{14}\text{C}$  foi construída por muitos laboratórios em conjunto e é aprimorada constantemente. Há vários programas que podem ser utilizados para converter a idade de  $^{14}\text{C}$  para a idade calendário (p.e. OXcal). Até o momento, o recorde mais antigo da curva de  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera é aproximadamente 14.000 anos (Trumbore *et al.* 2016a) com o auxílio de outros métodos de datação e outras fontes de materiais. Medições no  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera começaram a ser realizadas antes dos anos 60. A curva utilizada para o hemisfério norte é com base em dados de anéis de crescimento de árvores e corais até o ano de 1959, do ano de 1959 a 1986 amostras de  $\Delta^{14}\text{C}$  foram coletadas direto da atmosfera em Alpes de Vermont e a partir de 1986 foram coletadas em uma estação de pesquisa dos Alpes Suíços (Levin *et al.* 2010).

No período de 1959 até 1964 ocorreram fortes testes de bomba atômica na atmosfera. Estes testes aumentaram significativamente a concentração de  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera. A partir deste período, o nível de

referencia natural antes do pico da bomba é considerado zero e em 1964 o  $\Delta^{14}\text{C}$  atingiu 1000‰. O valor de  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera vem decaindo muito rápido desde 1964. Este ritmo de decaimento é devido ao aumento de  $\text{CO}_2$  oriundo de combustíveis fósseis na atmosfera. Os combustíveis fósseis por serem muito antigos não apresentam átomos de  $^{14}\text{C}$ . No entanto, até o momento o  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera não alcançou o nível de referencia natural. O pico da bomba de  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera foi observado em todo o globo, porém a intensidade do pico variou entre o hemisfério norte e o hemisfério sul. Deste modo, há diferentes curvas de calibração dependendo da localidade da amostra (Hua *et al.* 2013). Para o hemisfério Sul há a SH zone 1-2 e a SH zone 3. A SH zone 3 que abrange a região próxima do equador possui poucas amostras de calibração de anéis de crescimento da Índia, Vietna e Tailândia. A SH zone 1-2 possui referências mais bem distribuídas ao longo do globo. Andreu-Hayles *et al.* (2015) ao detectar anéis anuais nos Andes da Bolívia encontraram maior correspondência do  $\Delta^{14}\text{C}$  da madeira com o  $\Delta^{14}\text{C}$  da curva SH zone 1-2.

No entanto, há dois pontos críticos que devem ser levados em consideração no momento da calibração da idade. O primeiro está relacionado na certeza de que a amostra datada é um sistema fechado, ou seja, que a amostra não continua trocando carbono com o ambiente. Para este ponto, destaca-se a vantagem de usar o AMS (acelerador de partículas) por utilizar uma pequena quantidade de amostra, o que permite isolar apenas a parte do material em que não houve troca, como a celulose da madeira ou alguma proteína intacta (Trumbore *et al.* 2016a). É muito importante evitar a contaminação ao inferir a idade da amostra (Trumbore *et al.* 2016b). O segundo ponto limitante na determinação da idade calendário com o  $^{14}\text{C}$  é o período de 1650 a 1950. Por diversas razões há flutuações no  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera com picos com o mesmo valor de  $\Delta^{14}\text{C}$  em diferentes momentos do calendário. Neste período não é possível distinguir com baixo intervalo de confiança a idade da amostra, pois o valor de  $\Delta^{14}\text{C}$  da amostra pode ser diferentes datas. Este período de 300 anos deve ser datado com cuidado.

O Pico da Bomba de 1964 permitiu um novo meio de determinar com precisão a idade do carbono fixado da atmosfera em uma amostra desde 1956. Uma simples comparação do  $\Delta^{14}\text{C}$  da amostra com o  $\Delta^{14}\text{C}$  da

atmosfera permite reconhecer a data no calendário. Nos anéis de crescimento das árvores, é possível utilizar múltiplas medições em pontos novos e velhos das amostras para acompanhar o comportamento do pico da bomba ( $\Delta^{14}\text{C}$  da madeira reconhece o pico). Ainda, este método permite reconhecer se a amostra está depois do pico da bomba (depois de 1964) ou se caiu nos períodos de picos de flutuação da curva de calibração (Schoor *et al.* 2016). A elevada precisão que o método da curva do pico da bomba pode alcançar ( $\pm 1$  ano) aponta este método como o mais seguro para definir se os anéis anatômicos das arvores são anuais ou não (Worbes 1995; Andreu-Hayles *et al.* 2015).

As curva de calibração de  $\Delta^{14}\text{C}$  que foram construídas principalmente com dados de anéis de crescimento de árvores agora auxiliam nos estudos com árvores que não há certeza da anualidade dos anéis (Worbes 1995; Vieira *et al.* 2005; Andreu-Hayles *et al.* 2015; Ohashi *et al.* 2015). As principais inferências até o momento deste método nos estudos de árvores tropicais destaca-se o reconhecimento da anualidade dos anéis tanto anatômicos (Worbes 1995; Andreu-Hayles *et al.* 2015) quanto isotópicos (Ohashi *et al.* 2015). Além de comprovar a anualidade, a ferramenta têm sido de grande valia para determinar taxa de crescimento (Vieira *et al.* 2004 e 2005) e reconhecer a idade da árvore, ao datar a celulose da medula (parte mais antiga da árvore).

#### 3.4.6 Anéis intranuais de $\delta^{18}\text{O}$ em árvores na Amazônia Central

Em um estudo dendrocronológico em duas espécies arbóreas de uma floresta madura na região de Manaus, Ohashi *et al.* (2015) analisaram anéis isotópicos intra-anuais. O estudo não focou os anéis anatômicos que mesmo visíveis demonstraram incongruência no número de anéis entre raios do mesmo indivíduo, entre indivíduos da mesma espécie e não houve correlação com dados climáticos. Em *E. coriacea* as estruturas dos anéis anatômicos são caracterizados como bandas parenquimáticas apotraqueais com variações nos intervalos (Figura 2 a). Em *I. coriacea* as bandas de anéis de crescimento são definidas por bandas de claros parênquimas marginais de fácil reconhecimento (Figura 2 b).

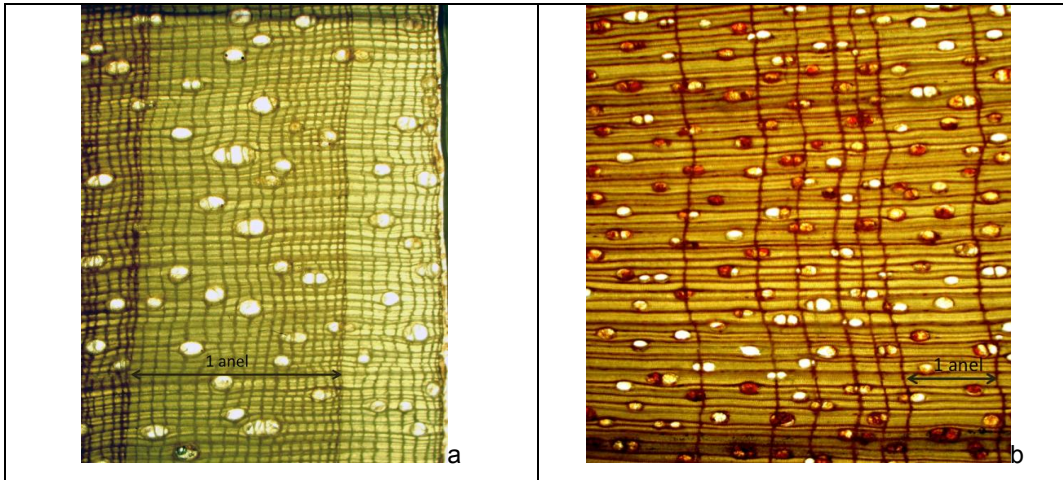


Figura 2: Imagem das estruturas anatômicas dos anéis de crescimento de duas espécies estudadas: a- Parenquima apotraqueal de *Eschweilera coriacea* com variações nos intervalos; 2- Parenquimas marginais facilmente reconhecíveis na espécie *Iryanthera coriacea*

Ao datar os anéis com  $^{14}\text{C}$  percebe-se que: um indivíduo de *Eschweilera coriacea* obteve número de anéis anatômicos maior que a data estimada por  $^{14}\text{C}$ ; e no indivíduo de *Iryanthera coriacea* o comportamento é o oposto entre a datação e os anéis anatômicos, há menos anéis que anos (Figura 3). Os anéis anatômicos possuem um padrão de comportamento com a variação temporal, porém não são anuais. Deste modo, é perigoso inferir sobre o comportamento das árvores apenas com a contagem de anéis anatômicos sem antes comprovar a anualidade (Rozendaal e Zuidema 2011; Andreu-Hayles *et al.* 2015).

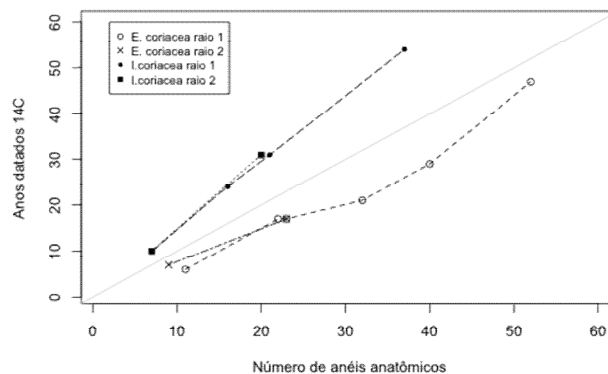


Figura 3: Representação gráfica da relação entre a contagem de anéis anatômicos e anos datados com  $^{14}\text{C}$  em dois raios de cada indivíduo: 1- *Eschweilera coriacea*; 2- *Iryanthera coriacea*.

A análise isotópica da celulose comprovou a presença de anéis isotópicos nas madeiras da Amazônia Central conforme publicado por Ohashi *et al.* (2015). Com uma resolução de 0.2 mm foi possível avaliar a variação sazonal da razão isotópica de carbono e oxigênio da celulose da madeira. A  $\delta^{13}\text{C}$  não apresentou grande variação ao longo do câmbio, indicando que não ocorre forte variação na condutância estomática da folha ao longo do tempo a ponto de marcar na celulose do tronco (Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7). A amplitude de variação radial dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  na  $\alpha$ -celulose ao longo do raio formam os anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$ . Tanto espécies de *Eschweilera* quanto as espécies de *Iryanthera* apresentaram anéis isotópicos conforme as Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7).

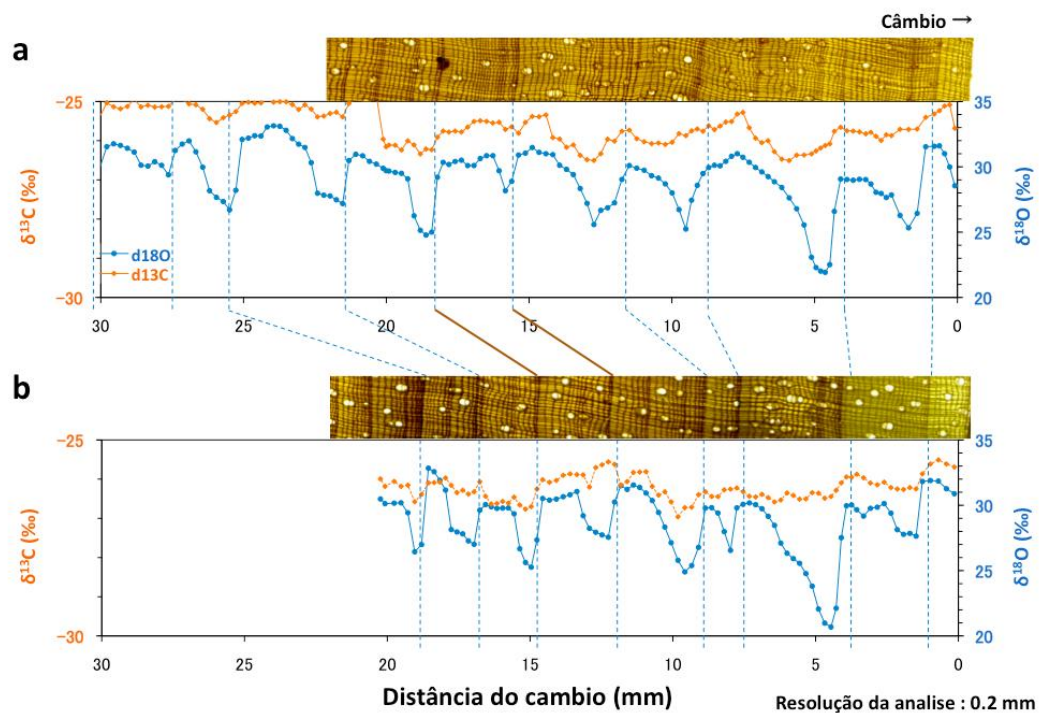


Figura 4: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Eschweilera coriacea* (indivíduo 1) com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio 2 da mesma árvore.

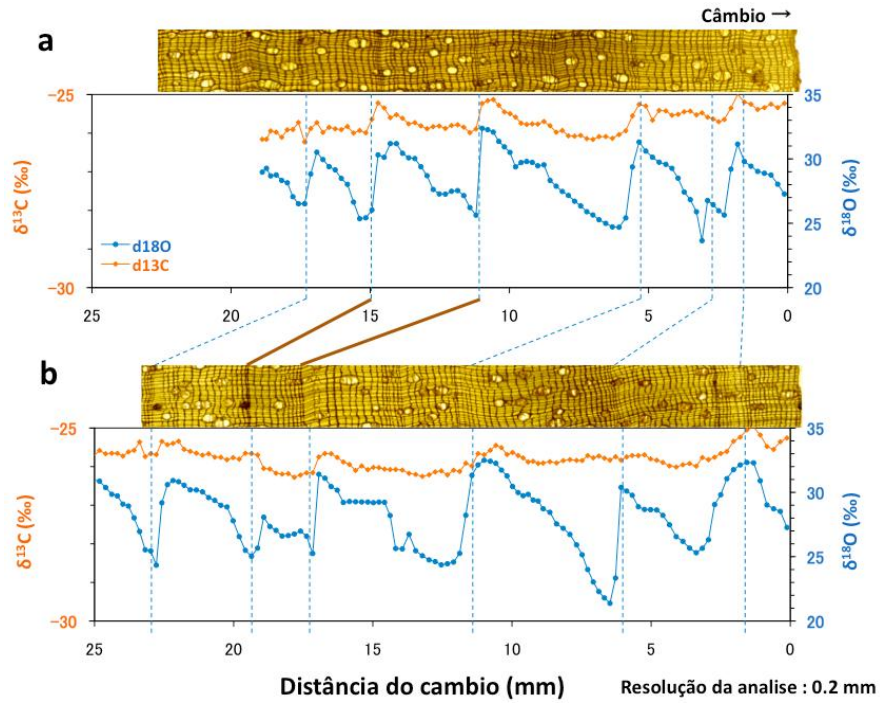


Figura 5: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Eschweilera truncata* com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio dois da mesma árvore.

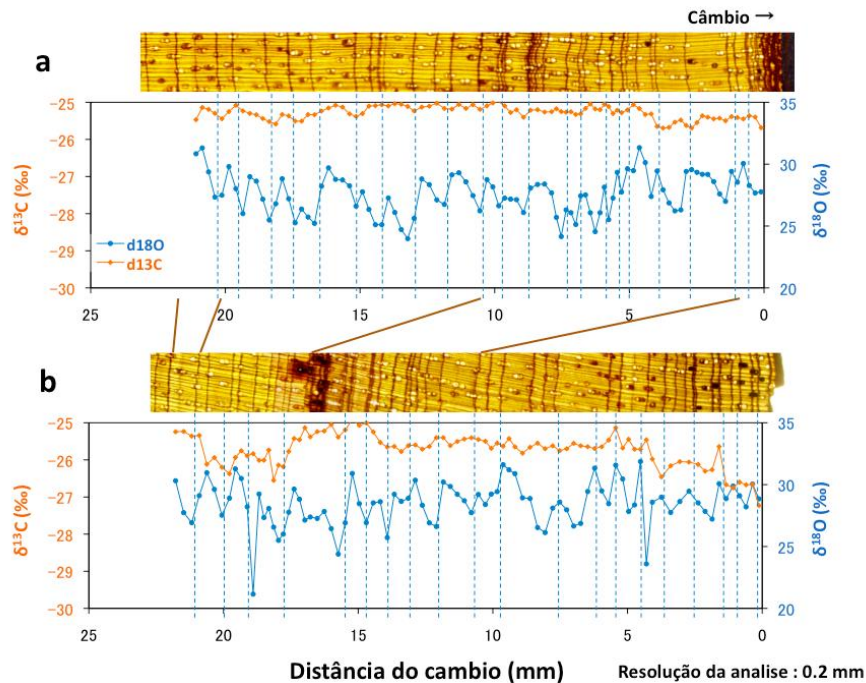


Figura 6: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Iryanthera coriacea*. com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio dois da mesma árvore.

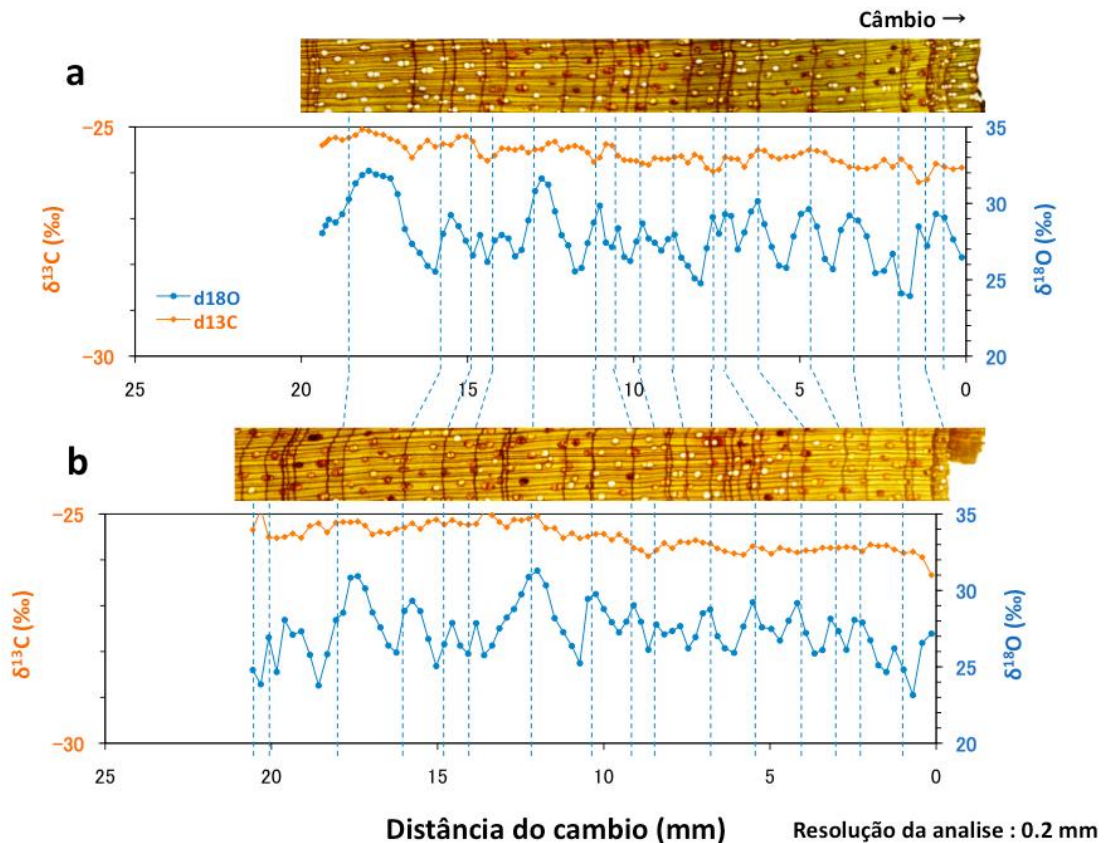


Figura 7: Comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira da *Iryanthera spp.* com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 e b- o raio dois da mesma árvore.

No entanto, o anel isotópico da  $\delta^{18}\text{O}$  da celulose apresenta elevado potencial em armazenar informações temporais no tronco das árvores da Amazônia Central. A  $\delta^{18}\text{O}$  apresentaram ampla variação radial na celulose do DAP das árvores estudadas. Esta variação expressa a razão isotópica do  $^{18}\text{O}$  da água da chuva na região de Manaus ( $R = -0.87$   $p = 0.0002$ ) (Figura 8), indicando a chuva como a principal fonte de água das árvores de terra firme da Amazônia Central.

Ao observar a comparação de  $\delta^{18}\text{O}$  entre três indivíduos de matamatá (*Eschweilera spp.*) percebe-se na região próxima ao câmbio o comportamento isotópico da madeira difere das árvores coletadas em maio com a coletada de outubro de 2013 (Figura 9). Esse comportamento observado na Figura 9c expressa fortemente que a principal fonte de água das árvores de terra firme é a chuva e que essa resposta está na celulose da madeira.

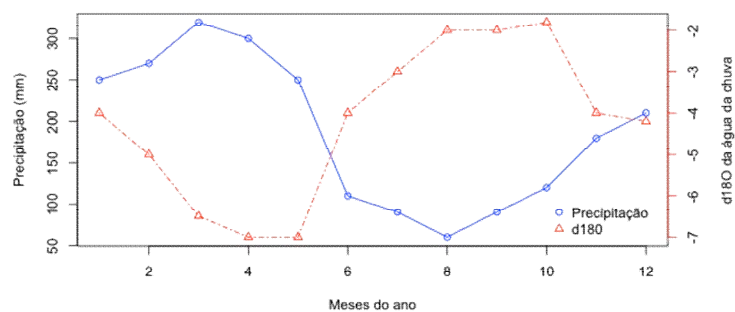


Figura 8: Variação sazonal média entre 1965 a 1990 da  $\delta^{18}\text{O}$  da água da chuva em relação a distribuição da chuva nos meses do ano na região de Manaus. Dados oriundos de Water Isotope System for Data Analysis, Visualization, and Electronic Retrieval (WISER).

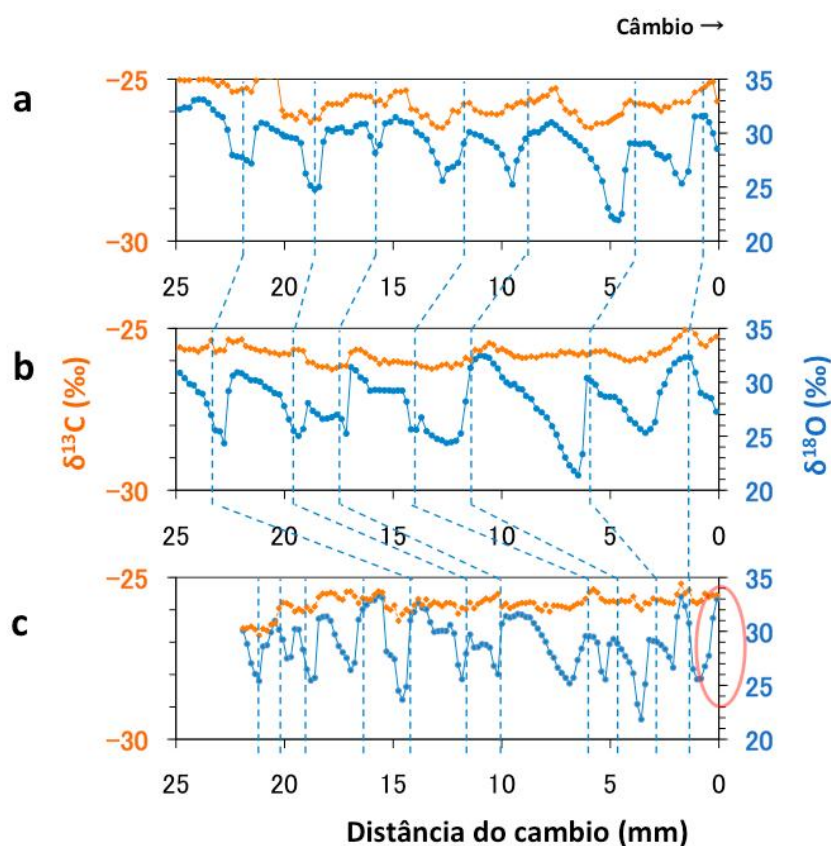


Figura 9: Comparação do comportamento isotópico radial da  $\alpha$ -celulose da madeira dos três indivíduos de *Eschweilera* spp. com resolução de 0,2mm de acordo com a distância do câmbio. No eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ . Sendo: a- o raio 1 da *E. coriacea* coletados em Maio de 2013 b- o raio 1 da *E. sp.* coletados em Maio de 2013 c- raio 1 da *E. coriacea* 2 coletados em Outubro de 2013. É possível observar em destaque vermelho a variação do comportamento isotópico de maio a outubro de 2013.

No momento de comprovar a anualidade dos anéis isotópicos observou-se um fenômeno no mínimo intrigante para estas árvores de terra



firme. As árvores em que os anéis isotópicos foram datados apresentaram discrepância entre os métodos. Essa discrepância sugere períodos de tempo (anos) com produção limitada do xilema. Na Figura 10, podemos observar a comparação entre raios de duas árvores de *Eschweilera* spp. com o ano datado com  $^{14}\text{C}$ . No matamatá 1, o primeiro ponto datado foi próximo de 20mm de distância da casca, neste ponto o anel isotópico correspondeu com a idade datada com  $^{14}\text{C}$ , comprovando a anualidade até este período. Porém, ao aumentar a distância da casca, percebe-se que a datação com  $^{14}\text{C}$  e com  $^{18}\text{O}$  começa a se distanciar, por exemplo: i. anel próximo a 40mm: 1999 datado com  $\delta^{18}\text{O}$  – 1997  $^{14}\text{C}$  (2 anos de diferença); ii. o anel próximo a 50mm: 1995 com  $\delta^{18}\text{O}$  – 1992 com  $^{14}\text{C}$  (3 anos de diferença); iii. o anel próximo a 70mm: 1989 com  $\delta^{18}\text{O}$  – 1985 com  $^{14}\text{C}$  (4 anos); iv. O anel próximo a 87mm: 1983 com  $\delta^{18}\text{O}$  – 1978 com  $^{14}\text{C}$  (5 anos); v. o anel em 90mm: 1980 com  $\delta^{18}\text{O}$  – 1973 com  $^{14}\text{C}$  (7 anos de diferença). Ao analisar o matamatá 2 raio 2 *E. truncata* (Figura 10b), percebe-se lacunas muito maiores entre as datações, impossibilitando considerar os anéis isotópicos anuais. Por exemplo, na posição de 20mm do matamatá 2 da Figura 10b há uma lacuna de 10 anos entre as datações. A datação de  $\delta^{18}\text{O}$  estima 2004 e a de  $^{14}\text{C}_{\text{wc}}$  estima 1994 e essa lacuna, neste indivíduo vai aumentando com maior escala com a distância da casca. Próximo aos 40 mm de distancia da casca o  $\delta^{18}\text{O}$  estima 2000 e a de  $^{14}\text{C}_{\text{wc}}$  estima 1984 (16 anos de diferença entre as datações) e próximo aos 50 mm do raio a diferença já chega em 29 anos, pois o  $^{14}\text{C}_{\text{wc}}$  encontrou o pico da bomba. Estes resultados sugerem que ocorreu períodos de anos entre as datações sem produção da celulose, como ausência de anéis.

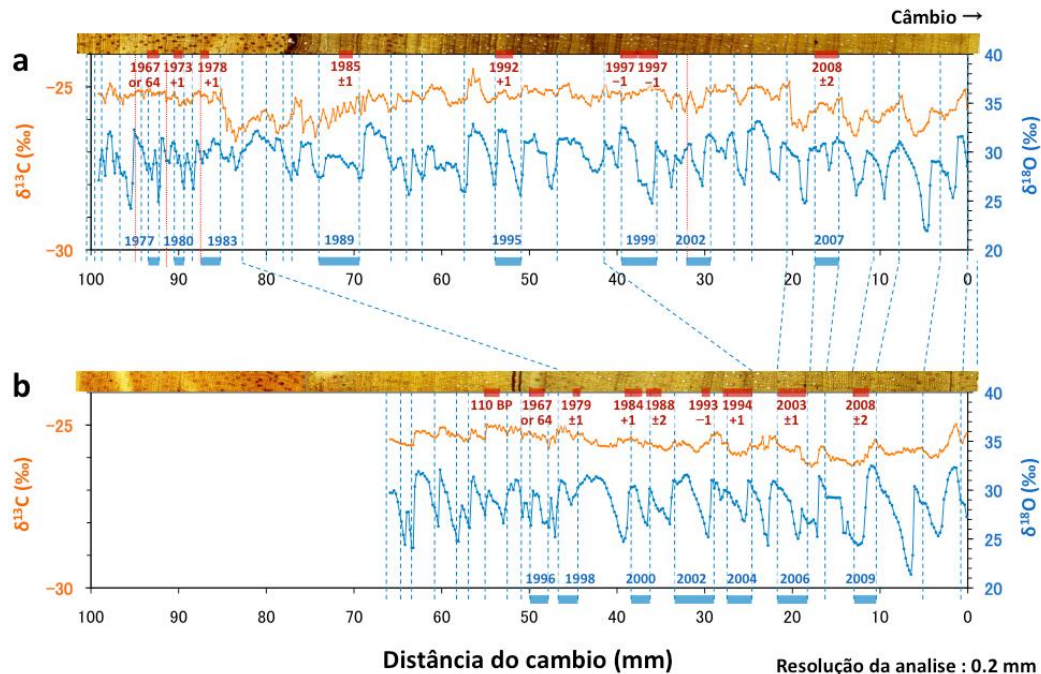


Figura 10: Comparação de anéis isotópicos e a respectiva datação com  $^{14}\text{C}$  do anel entre dois indivíduos do mesmo gênero oriundos d terra firme na EEST-ZF-2: a - *Eschweilera coriacea* e b - *E. truncata*. Em azul a datação estimada por  $\delta^{18}\text{O}$  e em vermelho a datação por  $^{14}\text{C}$ . No gráfico o eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ .

No caso dos indivíduos de *Iryanthera* a discrepância entre os anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  e o a datação com  $^{14}\text{C}_{\text{WC}}$  ocorre dentro do mesmo indivíduo conforme as Figura 11 e Figura 12. No indivíduo 1 de *I. coriacea* raio 1 (Figura 11 a) os anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  datam 2010 e o  $^{14}\text{C}_{\text{WC}}$  data 1983 (27 anos). O raio 1 deste indivíduo alcança o pico da bomba de 1964 (49 anos) antes de atingir 1 cm de raio. No raio 2 do mesmo indivíduo o anel isotópico de 2010 é datado como 1995 (15 anos) e 1984 se encontra em 1,2 cm de distância do câmbio. Este indivíduo expressa uma grande discrepância no crescimento cambial dentro do mesmo indivíduo na altura do DAP. No indivíduo 2 de *I. sp* o crescimento diamétrico da árvore foi mais regular na região mais próximo ao câmbio, mas depois mostra o mesmo comportamento de crescimento irregular apresentado no indivíduo 1 de ucuuba (*I. coriacea*). Porém as datações dos anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  e do  $^{14}\text{C}_{\text{WC}}$  continuam discrepantes. Os indivíduos de *Iryanthera* indicam ausência de celulose em períodos muito mais longos que encontrado nos indivíduos de *Eschweilera* além do crescimento diamétrico irregular.

Considerando que os 4 indivíduos sofreram as mesmas condições ambientais (anos chuvosos e anos secos, mesmo tipo de solo na terra firme da ZF-2) eles não respondem da mesma maneira as variações climáticas. A discrepância entre as datações isotópicas expressam lacunas entre os métodos. Dados de crescimento de parcelas permanentes monitoradas a longo prazo podem auxiliar a entender esse comportamento.

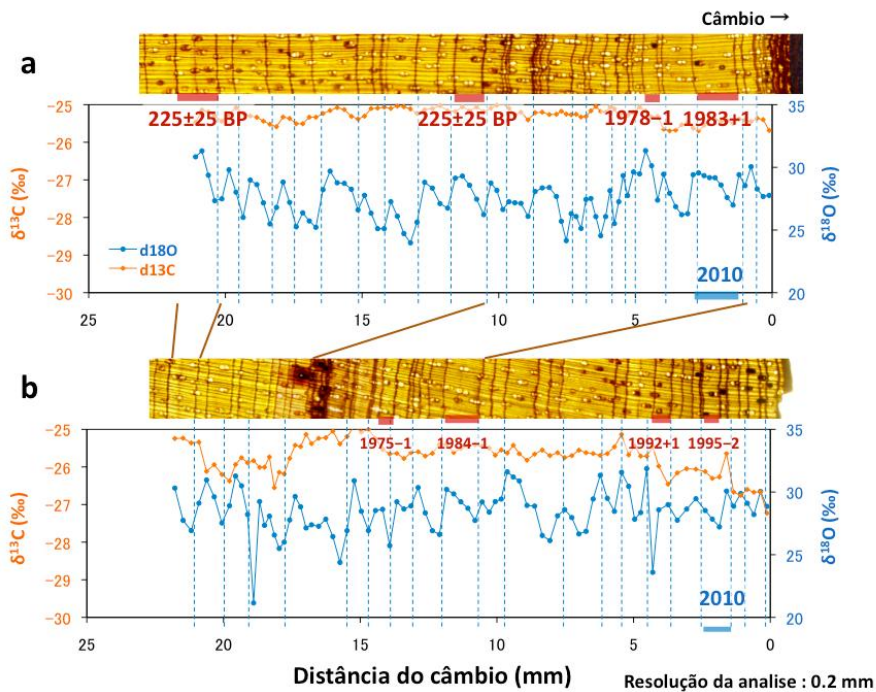


Figura 11: Comparação de anéis isotópicos da  $\delta^{18}\text{O}$  com a datação com  $^{14}\text{C}$  dos dois raios do indivíduo de *Iryanthera coriacea* (indivíduo 1), coletado em maio de 2013 na EEST/ZF-2. Em azul a datação estimada por  $\delta^{18}\text{O}$  e em vermelho a datação por  $^{14}\text{C}$ . No gráfico o eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda o  $\delta^{13}\text{C}$ .

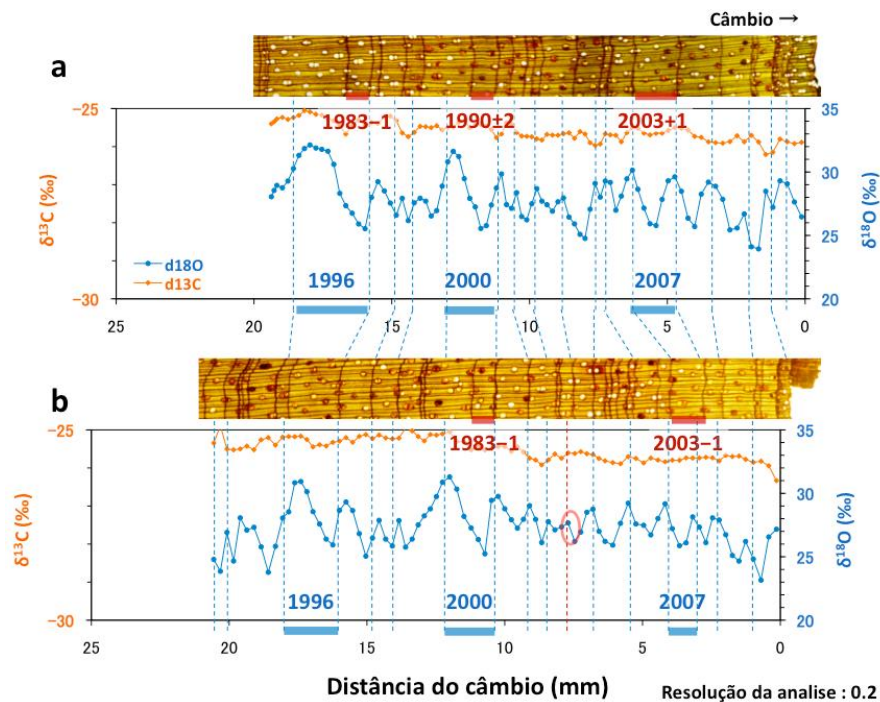


Figure 12: Comparação de anéis isotópicos da  $\delta^{18}\text{O}$  com a datação com  $^{14}\text{C}$  dos dois raios do indivíduo de *Iryanthera* sp (indivíduo 2), coletado em maio de 2013 na EEST/ZF-2. Em azul a datação estimada por  $\delta^{18}\text{O}$  e em vermelho a datação por  $^{14}\text{C}$ . No gráfico o eixo da direita, em azul está expressa a variação do  $\delta^{18}\text{O}$  e em laranja no eixo da esquerda.

### 3.5 Ambiente para a produção de madeira: A floresta amazônica

Os recursos naturais da floresta amazônica têm sido utilizado pelos seres humanos a no mínimo 10.500 anos atrás (Roosevelt *et al.* 1996). A paisagem atual da floresta amazônica é resultado da relação das comunidades que aqui viveram com o ambiente. Pois há áreas da floresta que são antropizadas e foram reconhecidas devido a distribuição de espécies domesticadas (Levis *et al.* 2012) e pela presença de ilhas de florestas manejadas (Lui 2008, Scoles 2011). Mesmo com a influência do homem a floresta amazônica apresenta uma das maiores biodiversidades do planeta e árvores com idades desconhecidas.

Árvores centenárias foram encontradas na Amazônia brasileira (Chambers *et al.* 1998; Vieira 2003), onde Vieira (2003) descreve uma árvore de 900 anos com 17 cm de DAP e Chambers *et al.* 1998 encontrou uma árvore de 1400 anos em um pátio de uma serraria. A intensidade de árvores muito velhas na floresta é uma incógnita, mas saber da existência delas e que estamos manejando uma floresta com árvores centenárias (Chambers *et al.*, 1998) é essencial para o manejo florestal. Dendrólogos tropicais não

concordam com as datações encontradas por Chambers *et al.* (1998) e Vieira *et al.* (2005) por haver grande discrepância com as datas estimadas com a contagem de anéis de crescimento (Brienen *et al.* 2016). Mesmo com um monitoramento de parcelas permanentes de 30 anos, o conhecimento sobre a dinâmica dessa floresta com árvores velhas ainda é incipiente tanto pelo desconhecimento da idade das árvores quanto pela elevada diversidade de espécies arbóreas.

Na floresta amazônica há 11.676 espécies de árvores descritas e coletadas de 1707 até 2015 (ter Steege *et al.* 2016). A elevada diversidade de espécies florestais na Amazônia está relacionada com a existência de muitas espécies raras com menos de um indivíduo por hectare e poucas espécies dominantes (Pitman *et al.* 2001; ter Steege *et al.* 2013). Diversos estudos buscam entender o motivo pelo qual essas espécies são abundantes, mas o que pode-se perceber é que 225 espécies possuem o potencial de ocorrer e dominar mais de 50% das árvores da bacia amazônica (ter Steege *et al.* 2013).

O Laboratório de Manejo Florestal (LMF) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) ao longo de sua história já instalou mais de 2.000 parcelas permanentes e temporárias para o Inventário Florestal Contínuo do estado do Amazonas (Higuchi 2015; Lima 2010). Foi possível reconhecer ao nestes inventários 3 morfoespécies dominantes no estado (Higuchi 2015). Determina-se morfoespécie pois a identificação dos indivíduos do inventário florestal é definido com nome popular com referência a um nome científico coletado no local. A equipe da dendrologia que coleta e identifica as espécies ao nível de gênero e nome científico, não coleta todos os indivíduos do inventário mas coleta indivíduos representativos da população inventariada.

As espécies dominantes pertencem a gêneros abundantes com elevada similaridade morfológica entre espécies que dificulta seu reconhecimento (Gomes *et al.* 2012). Gaúf 2013, descreve que uma problemática comum na identificação de espécies amazônicas foi a relação dos nomes científicos com os nomes populares (identificadas por parobotânicos e mateiros). Espécies popularmente conhecidas como matamatá amarelo agrupou 9 espécies deste gênero *Eschweilera*. Enquanto

breu vermelho onde encontra-se grande parte dos indivíduos de *Protium hebetatum* foram agrupadas 27 espécies sendo 16 do gênero *Protium* e 3 gêneros da mesma família. Além da confusão na identificação que ocorre com pouca variação dos identificadores, Gomes *et al.* 2012 comprova que existe uma grande variação entre identificadores no momento de reconhecer uma espécie, independente do grau de experiência. Deste modo, possivelmente ter Steege *et al.* 2013 também agruparam espécies ao apresentar as espécies hiperdominantes da Amazônia ao trabalhar com diferentes números de identificadores que utilizam poucos livros de referência como o Guia da reserva Ducke.

### 3.5.1 Crescimento e incremento da floresta ao longo da bacia amazônica

Phillips *et al.* (2004) ao avaliar dados de parcelas permanentes reconheceram uma dinâmica mais acelerada nas florestas do sul e do oeste da Amazônia quando comparada com as florestas central e leste. Essa dinâmica foi relacionada com a fertilidade do solo, onde as árvores crescem e morrem mais rápido em solos mais férteis quando comparado com locais de solos menos férteis (Quesada *et al.* 2012). Porém Baker *et al.* (2009) descreve que possivelmente é a variação da composição de espécies que determinam esse comportamento na dinâmica florestal. Ou seja, espécies de crescimento rápido predominam em locais de rápida dinâmica e espécies de crescimento lento em locais de dinâmica mais lenta. É importante conhecer o comportamento do crescimento de uma mesma espécie nos diferentes locais para entender se a dinâmica é um fator nutricional do solo ou está relacionada com a composição das espécies. Vieira *et al.* (2004) não encontrou o mesmo padrão de crescimento descrito por Phillips *et al.* (2004) na variação Leste oeste da Bacia Amazônica. Em um estudo em 3 localidades (Santarém PA, Rio Branco AC, e Manaus AM) Vieira *et al.* (2004) encontrou uma variação na estrutura da floresta e na taxa de crescimento onde Santarém e Rio Branco possuem menor número de indivíduos por hectare, menor diversidade florística, porém maior incremento que a floresta de Manaus. No entanto os autores apontam que as localidades com maior incremento estão associadas principalmente a um prolongamento maior do período seco (Vieira *et al.* 2004). O comportamento do crescimento pode

estar relacionado a diferentes fatores além da intensidade do período seco, como a disponibilidade de luz de acordo com a estrutura da floresta, as características dos solos, influências de aberturas de clareiras, variação na composição das espécies e no regime hidrológico.

### 3.5.2 Densidade da madeira na floresta amazônica

A densidade da madeira é a variável que expressa as características da madeira e está relacionada com todas as demais propriedades físicas e mecânicas da madeira. A densidade é o peso da madeira em um determinado volume, sendo importante para reconhecer a variação na concentração de carbono das árvores em locais hiperdiversos (Marra *et al.* 2014; Chave *et al.* 2014). Muitos fatores podem estar relacionados com a variação da densidade da madeira entre os indivíduos arbóreos. Fatores genéticos influenciam na variação da densidade da madeira entre as espécies, onde 74% da variação da espécie é explicada no gênero (Chave *et al.* 2006). Características do solo também é apontada como influente na variação da densidade da madeira entre sítios. Baker *et al.* (2004) descreve que em locais com solos férteis e a densidade da madeira é menor quando comparada a densidade da madeira sob solos menos férteis. Porém Baker *et al.* (2004) justifica essa variação devido a dinâmica acelerada da floresta sob solos férteis. No entanto, Chave *et al.* (2006) relaciona a variação na densidade da madeira entre localidades como uma resposta da mudança da composição florística e não como uma influência das características do sítio. Porém outros autores apontam que a variação da densidade da madeira entre diferente regiões geográficas pode ser uma resposta plástica da espécie ao ambiente (Koubaa *et al.* 2000; Woodcock e Shier 2003). Pois fatores como índice de competição da população e taxa de crescimento estão relacionados com variações na densidade da madeira (Gelder *et al.* 2006).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi delineado utilizando duas escalas espaciais diferentes:

1. Local (ZF2, Manaus): análise do crescimento e incremento do diâmetro de um grupo de espécies abundantes utilizando diferentes métodos. Nesta escala, as medições em parcelas permanentes foram confrontadas com as análises de isótopos estáveis e datação com radioisótopos no tronco.

2. Estadual - Figura 13 (Maués - leste, Manicoré - sudeste, Manaus - centro-leste, Juruá - centro-oeste, Atalaia do Norte - oeste e São Gabriel da Cachoeira – noroeste): análise do crescimento diamétrico por meio da datação de  $^{14}\text{C}$  de uma morfoespécie (matamatá amarelo – *Eschweilera sp.*). Nessa escala, a datação de  $^{14}\text{C}$  no tronco foi correlacionada com informações morfométricas e ambientais.

### 4.1 Descrição da área de estudo

O estado do Amazonas os tipos climáticos predominantes, segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.* 2013) são: **Af** – sem estação seca definida que compreende 82,3% da área do estado e **Am** – tropical monônico que compreende 17,7% da área do estado. Dentre os sítios estudados apenas Manicoré pertence ao clima **Am**. A distribuição das chuvas ao longo do ano pode ser observada na Figura 14. O trabalho foi realizado exclusivamente em florestas de terra firme.



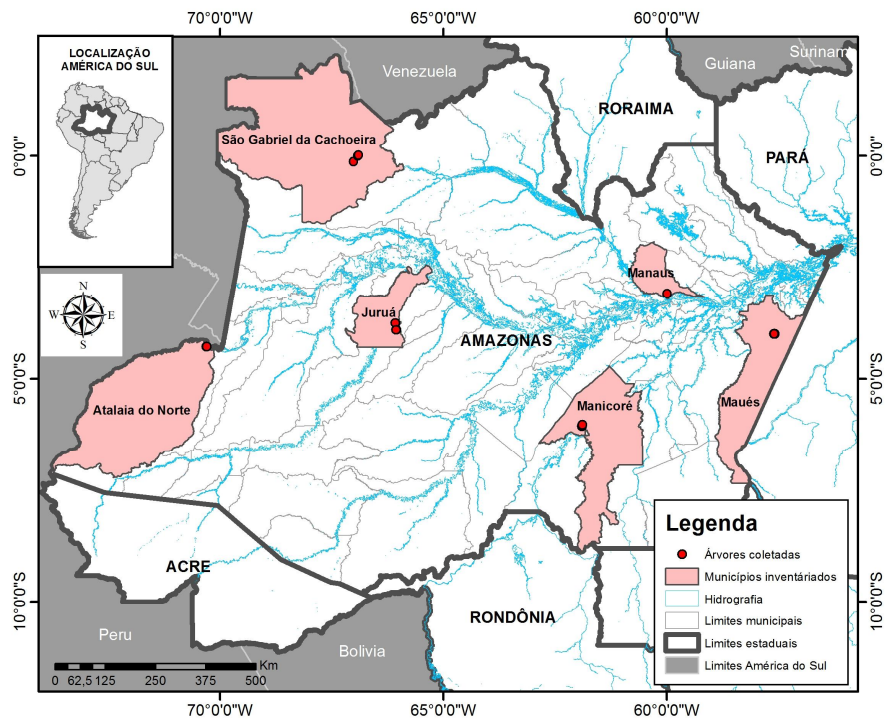


Figura 13: Mapa da área de estudo indicando os 6 sítios de coleta, sendo na porção leste do estado do Amazonas Maués, Manaus e Manicoré e na porção oeste Atalaia do Norte, São Gabriel da Cachoeira e Juruá. FONTE: GEO/LMF.

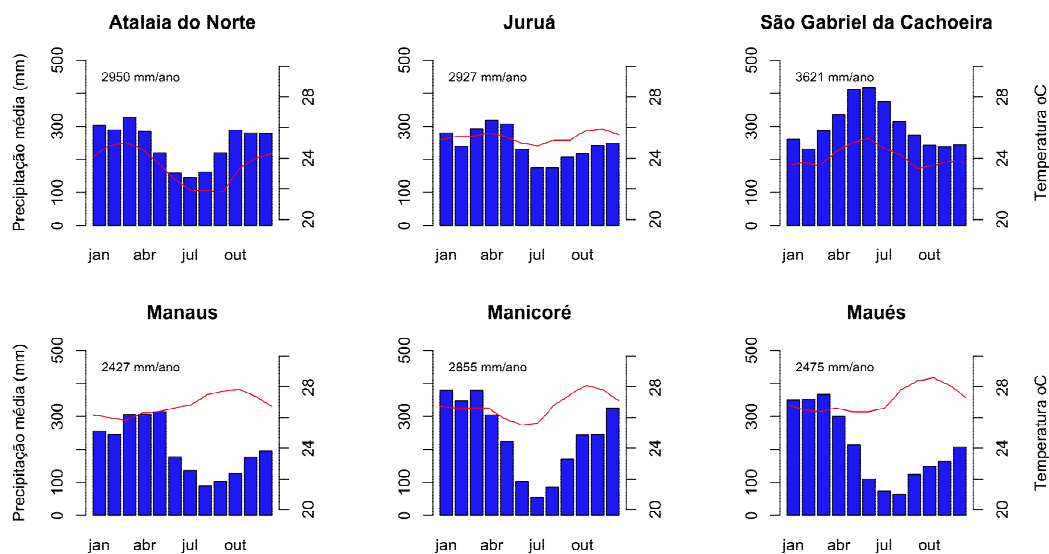


Figura 14: Distribuição da precipitação média e da temperatura ao longo do ano nos municípios estudados, onde: nas barras em azul é a precipitação e a linha vermelha expressa a variação da temperatura. Fonte de dados de Alvares *et al.* 2013.

Os solos do Amazonas são basicamente sedimentares e variam principalmente de acordo com a formação da origem dos sedimentos. Os

sedimentos são originados principalmente da cordilheira dos Andes (porção oeste da bacia amazônica), escudo guianense (norte da bacia) e escudo brasileiro (sul da bacia). Segundo Teixeira *et al.* 2010 os principais tipos de solos no estado são: argissolos compreendendo 45% da área; latossolos em 26% sendo a região central do estado caracterizada como latossolos amarelo; gleissolos hálicos e neossolos (9%) em áreas alagadas como as várzeas; espodosolos ocorrendo em 7% do estado e são encontrado na porção norte como Barcelos e São Gabriel da Cachoeira; cambissolos em Alto Solimões e Urucu, entre outros. Mesmo tendo fixado o estudo em floresta de terra firme, existe uma grande variação nos dados de solos entre os sítios estudados.

#### 4.1.1 Manaus

Na região de Manaus o estudo foi realizado na bacia do rio Cuieiras na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – núcleo ZF-2 (EEST/ZF-2) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) que está localizada a 90km noroeste da cidade de Manaus, Amazonas, Brasil, (2°38'18.55"S e 60°9'26.10"O). A EEST/ZF-2 abrange 22.735 hectares, da qual 59% da área (13.414 ha) está na bacia do rio Cuieiras e 41% da área total (9.321 ha) na bacia do rio Tarumã Açu (Ranzani 1980). O núcleo ZF-2 é o laboratório de campo do Grupo de Pesquisas em Manejo Florestal (GP-MF) da Coordenação de Dinâmica Ambiental do INPA, que iniciou as suas atividades de campo em 1980. O GP-MF já implementou diversas pesquisas na área, desde então. Há parcelas permanentes monitoradas em diferentes escalas de tempo e níveis de medições, estudos ecológicos, de dinâmica florestal e de ciclos biogeoquímicos que complementam o entendimento da floresta no local. Próximo das parcelas na EEST/ZF-2 está localizada a torre K34 que está em operação a quase 20 anos, sob a coordenação do Programa LBA-INPA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia).

O clima da região segundo a classificação de Köppen é **Af** – sem estação seca definida (Alvares *et al.* 2013). A temperatura média anual na região é de 26°C, com baixa variação ao longo do ano, sendo os valores de mínima e máxima de 22,3°C e 31,6°C (Antonio 2011), respectivamente. A média histórica da precipitação em 39 anos na região de Manaus (1971-

2010) é 2.612 mm por ano (Antonio 2011), com dois períodos sazonais distintos. O período mais chuvoso vai de novembro a junho com a média histórica do mês mais chuvoso de 328,8 mm e o período mais seco é de julho a outubro com a média histórica do mês mais seco próximo de 111,2 mm (Antonio 2011; Sombreak 2001) não atingindo média mensal abaixo de 60 mm (Antonio 2011; Alvares *et al.* 2013). A umidade relativa do ar média é de 86,2% (Antonio 2011).

O relevo da região, possui uma suave variação na escala de drenagem das águas, expressas nas ondulações no terreno. Essas topossequências, caracterizadas como platôs, vertentes (encosta) e baixios (Higuchi *et al.* 2004) possuem diferença máxima de altura entre os platôs e baixios de 60 metros (Araujo *et al.* 2002). Toda essa região compreende um solo sedimentar do período terciário, da formação Barreiras, que recobre: os platôs com latossolos amarelos álicos com textura argilosa (Chauvel 1982; Chauvel *et al.* 1987); as encostas com solos latossolos podzolicos vermelho-amarelo com uma mescla na concentração de argila e areia, sendo maior concentração de argila quanto mais perto do platô e maior concentração de areia quando mais perto do baixio (Ferraz *et al.* 1998); os baixios possuem elevada influência da drenagem dos igarapés e proximidade com lençol freático, com solos de textura arenosa, classificados como Arenossolos hidromórficos (Ferraz *et al.* 1998).

A vegetação predominante na Amazônia Central é caracterizada como floresta tropical úmida densa de terra firme (Higuchi *et al.* 1997), descrita por Chambers *et al.* (2013) como uma floresta antiga de dossel fechado. Para EEST/ZF-2 o número médio de indivíduos por hectare com DAP > 10 cm é de 602 ind/ha e a área basal de 28,8m<sup>2</sup>/ha (Oliveira 2010). Gai 2013 encontrou em 12 hectares de parcelas permanentes 58 famílias botânicas e 709 espécies, das quais 51 permanecem em nível de gênero e somente 19 em nível de família. As famílias mais abundantes na região são Lecythidaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Sapotaceae e Bursertaceae, que juntas representam aproximadamente 51% dos indivíduos da área estudada (Gai 2013). As espécies mais abundantes são *Eschweilera wachenheimii* (Lecythidaceae), *Micrandropsis scleroxylon* (Euphorbiaceae), *Protium*

*hebetatum* (Burseraceae), *Croton matourensis* (Euphorbiaceae), *Eschweilera romei-cardosoi* e *Eschweilera Truncata* (Lecythidaceae) (Gauí 2013).

#### 4.1.2 Atalaia do Norte

Atalaia do Norte é um município localizado na fronteira oeste do estado do Amazonas, com divisa política com o Peru. Caracteriza-se pela proximidade com Benjamin Constant e Tabatinga, municípios que permitem a entrada do rio Solimões no Brasil. As coletas foram realizadas em locais com acesso pelo rio Javari, importante afluente do Alto Solimões. A precipitação média anual na região é acima de 3100 mm por ano com meses de menor precipitação de junho a agosto conforme a Figura 14 (Alvares *et al.* 2013). A temperatura média na região varia de 22 a 24°C. As amostras foram coletadas em agosto de 2013 em uma área particular. O acesso a área se deu pelo rio Javari.

#### 4.1.3 Juruá

Amostras foram coletadas julho de 2013 na Reserva Extrativista (RESEX) do Baixo Juruá. O acesso a área se deu por meio do Igarapé do Branco, porção sul da RESEX. O rio Juruá é um importante afluente do médio Solimões. Este sítio está localizado na porção centro-oeste do estado. A temperatura média anual varia de 24 a 26 °C com a precipitação média anual na região é 2.800 a 3100 mm por ano e os meses de menor precipitação no ano são junho e julho (Alvares *et al.* 2013). O relevo na região é muito homogêneo, sem grandes desníveis altimétricos (Brasil 2009a). A RESEX é delimitada por rios, sendo a oeste rio Juruá, a leste rio Copacá, ao sul rio Andirá e o Igarapé do Branco (local da coleta). Os solos da região do Igarapé do Branco é Plintossolo Argiluvico Aluminico (Brasil 2009a).

#### 4.1.4 São Gabriel da Cachoeira

O município de São Gabriel da Cachoeira faz a fronteira ao norte do Brasil com Colômbia e Venezuela. Localizado na porção noroeste do estado, é banhado pelo Rio Negro e é caracterizado por uma formação rochosa influenciada principalmente pelo escudo guianense. A precipitação média anual na região é acima de 3100 mm por ano sem estação seca definida e a temperatura anual média varia de 24 a 26°C (Alvares *et al.* 2013). Essa

região é particularmente distinta das demais regiões do estado, principalmente pela intensidade de vegetação esparsa de campinas e campinaranas sob espodossolos (Teixeira *et al.* 2010). Porém para as coletas em setembro de 2013 do presente trabalho, fixou-se em áreas de terra firme de uma área particular no município de São Gabriel da Cachoeira.

#### 4.1.5 Manicoré

As amostras foram coletadas em março de 2014 na RESEX do Lago do Capanã Grande, localizada ao sul do estado, no município de Manicoré, na margem oeste do rio Madeira, no Interflúvio Madeira – Purus. O acesso a área de coleta se deu pelo Lago do Capanã Grande. O clima na região é caracterizado por Alvares *et al.* 2013 segundo a classificação de Köppen de **Am** – Tropical monstônico. A temperatura média é acima de 26°C com precipitação média anual de 2855 mm/ano e os meses mais secos de junho a agosto que alcançam meses com precipitação abaixo de 60 mm (Alvares *et al.* 2013). Os solos predominantes da resex são solos hidromórficos gleyzados distróficos com argila de baixa atividade; latossolo vermelho amarelo álico textura argilosa com floresta aberta nos interflúvios tabulares; e solos aluviais com argila de baixa atividade, indiscriminada com floresta aberta aluvial de relevo plano (Brasil 2013).

#### 4.1.6 Maués

Amostras foram coletadas na Floresta Estadual de Maués em fevereiro de 2014 com licença do CEUC e da gestora da UC. As coletas foram realizadas na comunidade Ebenézer com acesso pelo rio Parauari, rio de água preta. A vegetação predominante na Floresta Nacional do Pau Rosa localizada no mesmo município aponta matamatá amarelo (*Eschweillera* sp.), breu vermelho (*Protium* sp.) e abiurana (*Pouteria* sp.) como as morfoespécies com maior índice de valor de importância (IVI) (Brasil 2009b). Esta localidade é a porção mais a leste do estado no presente experimento.

## 4.2 Métodos laboratoriais de análise Isotópica da $\delta^{18}\text{O}$ e $^{14}\text{C}$

As análises isotópicas foram realizadas em amostras coletadas de forma destrutiva, com a derrubada da árvore e a coleta de um disco da madeira na altura do DAP.

### Preparo das amostras

Os discos coletados na altura do DAP foram polidos com lixas em escalas granulométricas variando de 60 a 200 grãos (Figura 15 a). Assim que as estruturas atômicas ficaram mais claras, foi possível selecionar os raios que seriam analisados isotopicamente. Para verificar a sincronicidade do crescimento dentro do indivíduo, dois raios de cada disco foram selecionados (Figura 15 b). Estes raios estavam distantes entre si em um ângulo de 180° podendo variar no máximo até 120°. Para a seleção dos raios buscou-se regiões do disco onde estes não estivessem danificados ou com protuberâncias. Ainda, os anéis anatômicos, quando visíveis deveriam estar perpendiculares a linha de corte. Estes raios foram cortados em forma de lâminas com 12 mm de largura por 1 mm de espessura no comprimento do raio da árvore abatida (Figure 16). Grande porção das amostras foram preparadas com serra fita no laboratório de Engenharia de Pequenos Objetos e Artefatos de madeira (LAPEAM) do INPA. A lâmina de 1 mm das amostras que os dois métodos isotópicos foram datados foi retirada em uma serra circular na serraria do FFPRI, no Japão. Para as amostras que apenas o  $^{14}\text{C}$  foi analisado, as lâminas foram retiradas em uma serra fita do LAPEAM.



Figura 15: Discos coletados para análise isotópica: a. Discos do DAP de três morfoespécies; b. Disco de Ucuuba com os raios marcados para fazer o corte.



Figure 16: Raio selecionado com a lâmina de 1 mm na parte superior. A lâmina é utilizada para extração da celulose.

#### 4.2.1 Análise intra anual da razão isotópica de $^{13}\text{C}$ e $^{18}\text{O}$

A análise da razão isotópica de  $^{18}\text{O}$  na  $\alpha$ -celulose da madeira foi realizada em árvores coletadas em Manaus. A técnica utilizada permitiu a extração da  $\alpha$ -celulose de lâmina inteira da madeira. Esta técnica foi adaptada especificamente para análise isotópica em anéis de crescimento por Kagawa *et al.* (2015) e utilizado por Ohashi *et al.* (2015) tanto para análise de isótopos estáveis quanto para radioisótopos. Deste modo, o pedaço da amostra que foi analisado isotopicamente foi cortado posterior à extração da celulose. Dentre os benefícios da técnica destaca-se: a economia de tempo e recursos ao extrair de uma só vez grande quantidade de amostra de celulose; um melhor acesso à amostra para novas análises e confirmações de resultados evitando novos processos de extração da celulose; melhor controle do local de corte ao visualizar as estruturas anatômicas microscopicamente. Dentre as dificuldades podemos citar que no processo de extração da  $\alpha$ -celulose, pode ocorrer um curto encolhimento da lâmina de madeira. Ou seja, a estrutura da madeira diminui do tamanho original para o da lâmina de  $\alpha$ -celulose. Como as estruturas anatômicas permanecem intactas, é possível reconhecer a posição e corrigir esse enxugamento com imagens de scanner de alta resolução coletadas antes e depois da extração.

A técnica de extração da celulose do pedaço inteiro da madeira utiliza um suporte de teflon (plástico de politetrafluoretileno PTFE) previamente identificado que possui telas do mesmo material que devem ser costuradas com uma linha de nylon na parte externa do suporte (Figura 17 a). A lâmina

de madeira de 1 mm é cortada de modo que caiba no suporte de teflon (Figura 17 b) e posteriormente costurada dentro do suporte (Figura 18). As telinhas são furadas e permitem que os substratos químicos acessem a amostra e realize a extração permanecendo a amostra inteira. Ao final, a amostra é seca em freezer dryer para evitar a desintegração da celulose, sendo possível visualizar os anéis anatômicos na celulose. É necessário tomar cuidado com a identificação do suporte de teflon e marcar o lado da amostra que é mais perto da casca, para garantir a cronossequência da amostra. As análises de isótopos estáveis nas madeiras foram realizadas no laboratório de Qualidade e Anatomia da Madeira do Instituto de Pesquisas de Florestas e Produtos Florestais do Japão (FFPRI – Forestry and Forest Products Research Institute), sobre a supervisão de Dr. Kagawa, que desenvolveu o método (Kagawa *et al.* 2015).

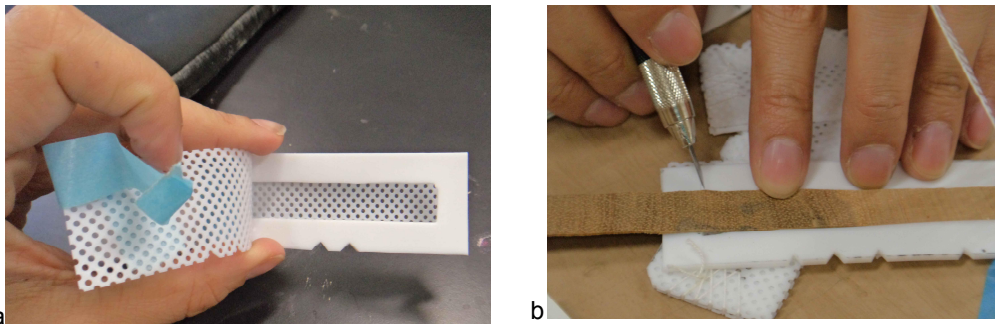


Figura 17: Preparo das amostras para extração de celulose: a- Estojo de teflon para extração de celulose da amostra inteira de madeira; b - Corte da lâmina de madeira para encaixar dentro do estojo de teflon.

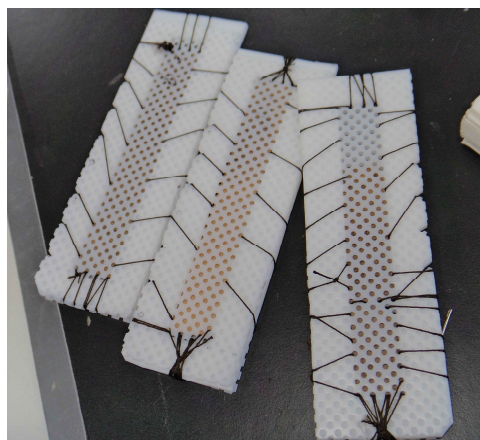


Figura 18: Estojo de teflon costurado à mão para fixar a lâmina de madeira para a extração da celulose.



#### 4.2.1.1 Tratamento químico da extração da $\alpha$ -celulose

Para alcançar a  $\alpha$ -celulose, a madeira passa por três processos de extração: 1- extração dos extrativos, lipídios e resinas: em um soxelet as amostras permanecem fervendo 48 horas em solução de 1:1 de tolueno com etanol. Depois secar por 2 horas em papel absorvente as amostras foram fervidas em água mais 48 horas (Figura 19);

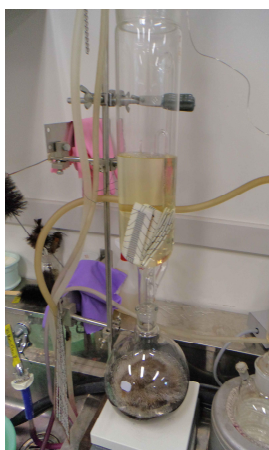


Figura 19: Estojos de teflon costurados com a lâmina de madeira passando pelo processo de extração dos extrativos dentro de um soxelet.

2- extração de lignina: as amostras permanecem embebidas em tubos de ensaio de uma solução composta por 350 ml de água deionizada, 10g de cloreto de sódio ( $\text{NaClO}_2$ ) e 5ml de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), em banho-maria a  $70^\circ\text{C}$ , por aproximadamente 1 hora. O processo é repetido 4 vezes até observar que a amostra está “clara”, a lignina foi extraída, permanecendo a holocelulose (hemicelulose +  $\alpha$ -celulose). Após esse processo é necessário lavar a amostra com água morna diversas vezes para retirar qualquer resquício do ácido acético (Figura 20 b).

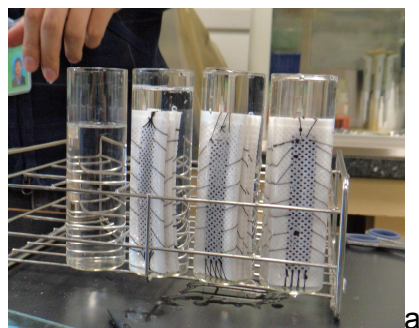


Figura 20: Amostras de madeira durante o processo de extração de celulose: a - Amostras sendo preparadas para passar pelo processo de extração da lignina; b - Amostras da celulose das lâminas de madeira.

3- extração da hemicelulose: as amostras devem permanecer submersas em uma amostra de hidróxido de sódio(NaOH), preparada com 400ml de água e 68g de (NaOH), em banho maria a 80°C por uma hora. Repetir o processo 3 vezes (Figura 20 b). Após, lavar bem a amostra com água e colocar para secar no freezer - dryer por 24 horas (Figura 21 a). A  $\alpha$ -celulose é retirada do suporte de teflon e acoplada em uma lâmina para as amostras serem cortadas (Figura 21 b).

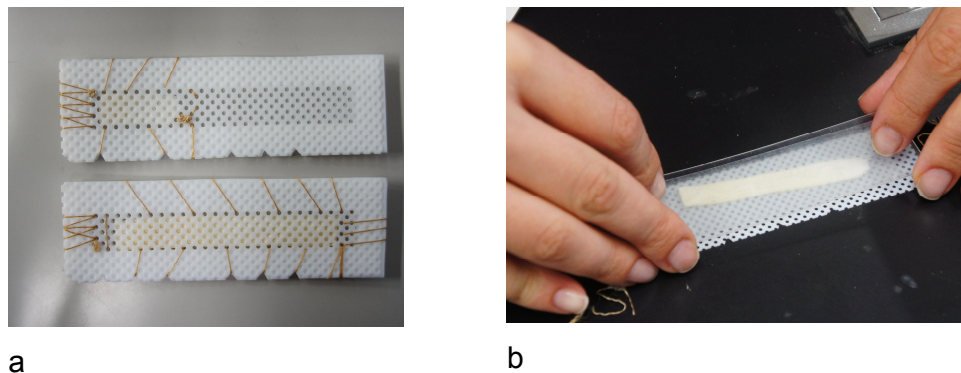


Figura 21: Lâminas de  $\alpha$ - celulose sendo preparadas para o corte das subamostras. a- Amostras já secas no freezer-dryer; b- amostra sendo acoplada na lâmina para armazenamento e corte.

#### 4.2.1.2 Corte das sub amostras

Para a análise da variação intraanual de  $\delta^{18}\text{O}$  na celulose da madeira a lâmina de  $\alpha$ -celulose dos 2 raios de uma árvore foram subdivididas com um bisturi sob um microscópio estereoscópio a uma resolução de 0.2 mm. Cada subdivisão foi cortada paralela a curvatura da estrutura visível do anel para maximizar a resolução da escala de tempo ao isolar o tecido da  $\alpha$ -celulose formado durante o mesmo período (Ohashi *et al.* 2015). Esta resolução foi considerada suficiente para detectar um ciclo anual de árvores no dossel. Devido a amostra ter murchado, a extensão da porção que murchou foi calculada para cada raio a cada 1 mm pela comparação de imagens de scanner de alta resolução antes e depois da extração. A resolução isotópica cronológica foi corrigida para o comprimento radial original das amostras de madeira (Ohashi *et al.* 2015).

#### 4.2.1.3 Análise do isótopo estável $^{18}\text{O}$

Cada amostra subdividida para análise isotópica pesou entre 80-200  $\mu\text{g}$  e o comprimento tangencial foi de aproximadamente 2 mm. Cada amostra

foi embalada em suporte de alumínio e seco a vácuo em 70°C um dia antes da análise isotópica. As subamostras foram submetidas a pirólise em forno de alta temperatura (Hekatech HTO) acoplado em um espectrômetro de massa de radioisótopo (Thermo Fisher MAT 252) do FFPRI, no Japão. Todos os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  foram apresentados com os valores do Padrão da Média da Água Oceânica de Viena (VSMOW) e escalas de PEE Dee belemnite, respectivamente. Padrões de celulose da IAEA-C3 e Merck foram usados de referência. O erro analítico ( $1\sigma$ ) de  $\delta^{18}\text{O}$  foi dentro de 0,2‰ (Ohashi *et al.* 2015).

#### 4.2.1.4 Determinação dos anéis isotópicos

Após comprovar uma variação cíclica nos dados de  $\delta^{18}\text{O}$  em todas as amostras, cada ciclo foi considerado um anel isotópico de  $\delta^{18}\text{O}$ . A determinação do limite entre dois ciclos (p.e. começo da estação de crescimento) difere dependendo da espécie. O limite para detectar os picos e as bandas foi baseado no erro analítico de dois valores de  $\delta^{18}\text{O}$ . O limite foi computado assumindo o erro analítico de todos os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  é 0.2‰ de acordo com a lei da propagação do erro. O ponto crucial é o ponto de mudança do maior para o menor valor que é caracterizado pela quebra entre o ponto mínimo e o ponto máximo. Os detalhes do protocolo utilizado para definir os picos de variação de  $\delta^{18}\text{O}$  e determinar os anéis  $\delta^{18}\text{O}$  estão descritos no material suplementar de Ohashi *et al.* (2015). Os anéis isotópicos foram determinados por Ohashi *et al.* 2015.

#### 4.2.2 Datação por radioisótopo de $^{14}\text{C}$

A datação por radioisótopo de  $^{14}\text{C}$  foi realizada em 40 indivíduos, sendo 30 de *Eschweilera spp.* (5 amostras de cada sítio), 5 de *Protium spp.* (Manaus) e 5 de *Iryanthera spp.* (Manaus). Em cada indivíduo, dois raios na altura do DAP obtiveram diferentes pontos da celulose datados com  $\Delta^{14}\text{C}$  no sentido casca - medula. Buscou-se acessar principalmente regiões mais perto da casca para obter informações do crescimento diamétrico nos últimos 50 anos. Este período possui uma maior precisão dos anos datados devido a um Pico de  $^{14}\text{C}$  que ocorreu na atmosfera até 1964. O  $\Delta^{14}\text{C}$  da celulose da

madeira foi utilizado para informar o ano que o carbono foi fixado neste ponto por comparação com o  $\Delta^{14}\text{C}$  da atmosfera.

#### 4.2.2.1 Tratamento químico da extração da holocelulose

As amostras que foram determinados os anéis isotópicos por Ohashi *et al.* (2015) foram datadas com o mesmo processo químico, ou seja, determinada a idade do carbono da  $\alpha$ -celulose. Nas demais, foi aplicado um processo similar ao anterior porém um passo a menos. A datação de  $^{14}\text{C}$  destes indivíduos foi determinada na holocelulose (Figura 22). Não há diferença nos resultados de  $^{14}\text{C}$  na datação da  $\alpha$  ou  $\beta$  celulose (Xiaomei Xu considerações pessoais). As amostras passaram por tratamento químico sob a supervisão da Dra. Xiaomei Xu da Universidade da Califórnia, Irvine (UCI) e a Dra Susan Trumbore (Universidade da Califórnia, Irvine e Instituto de Biogeoquímica do Max Plank – Jena, Alemanha), com o apoio da técnica de laboratório Msc. Jennifer Lehman.

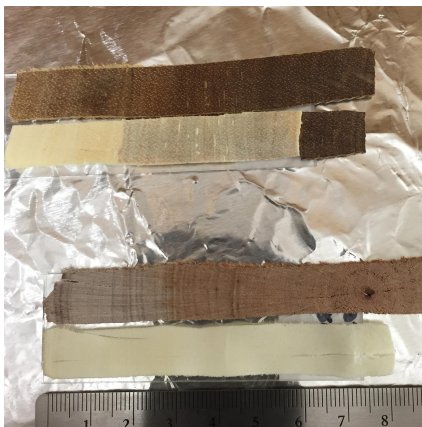


Figura 22: Amostras de lâminas de 1mm de madeira e de holocelulose da mesma amostra. Apenas as amostras de holocelulose foram utilizadas para datação com  $^{14}\text{C}$ .

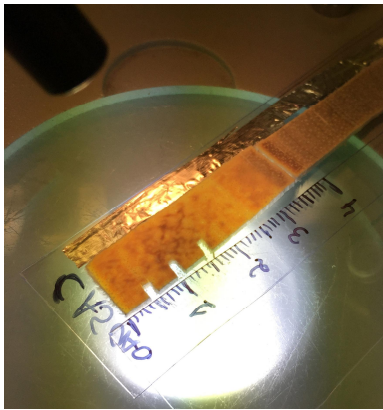
##### 1.1.1.1 Corte das sub amostras para datação com $^{14}\text{C}$

O anel anatômico cortado para datar as amostras tiveram diferentes critérios de seleção. As amostras utilizadas por Ohashi *et al.* (2015) para confirmar a anualidade dos anéis isotópicos partiram do critério de selecionar um anel anatômico que permitisse coletar uma amostra de 1mg de  $\alpha$ -celulose e que tivesse correspondência a um ciclo isotópico. As demais amostras foram cortadas com distâncias sistemáticas no sentido casca - medula com o uso de um microscópio eletrônico (Figura 23). Inicialmente foram cortadas

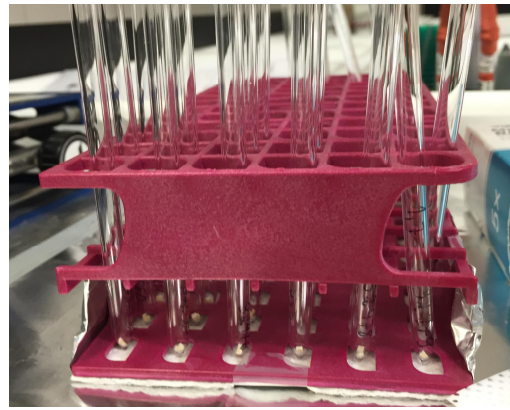
amostras a 0.5, 1.0 1.5 cm de distância da casca (Figura 24 a) alcançando 1mm de largura, 1 mm de espessura e o comprimento necessário para alcançar o peso de 2 a 3 mg (Figura 24 b). Devido ao comportamento do incremento da árvore determinado pela datação outros pontos extras foram coletados em diferentes posições para complementar as informações de incremento.



Figura 23: Processo de corte das amostras para datação de  $^{14}\text{C}$  com auxílio de microscópio eletrônico.



a



b

Figura 24: Processo de corte das amostras para datação com  $^{14}\text{C}$ : a - Corte das amostras em 0.5, 1.0 e 1.5 cm de distancia da casca; b - Amostras dentro dos tubos de quartzo prontas para passar pelo processo de combustão com o Oxido de cobre.

#### 1.1.1.1 Análise do radioisótopo $^{14}\text{C}$

As amostras de celulose passaram por um processo de combustão em  $\text{CuO}$  (óxido de cobre) selados em tubos de quartzo, com  $\text{CO}_2$  purificado e partes de grafite utilizando o método descrito e aprimorado por Xu *et al.* (2007) para análise de  $^{14}\text{C}$ . Todas as amostras foram analisadas no Espectrômetro de Aceleração de Massas (AMS) do laboratório de Keck

Carbon Cycle AMS da UCI. Os dados foram corrigidos pelo fracionamento isotópico (Stuiver e Plach 1977), com valores medidos de  $\delta^{13}\text{C}$  em grafite preparado usando um espectrômetro de aceleração de massas (Trumbore *et al.* 2016a). A precisão é de 2 – 3‰ para amostras modernas baseados na reprodutibilidade de padrões secundários ao longo do tempo.

Dados de Fração Moderna (FM- Fraction Modern) foram convertidos em anos do calendário para as amostras de madeira utilizando o programa OxCal [versão 4.2 (Bronk Ramsey 2009)] com a curva de calibração para o hemisfério sul: Bomb 13 SH 1 2 (Figura 25) (Hua *et al.* 2013; Andreu-Hayles *et al.* 2015). Foram utilizados apenas dados de datação de períodos que estavam entre o pico da bomba de 1964 até 2014 ( $\text{FM} \geq 1.0$ ), para garantir uma alta acurácia da datação, com intervalo de confiança de 1 a 3 anos. Os resultados de  $^{14}\text{C}$  foram reportados usando 95.4% de probabilidade determinada por incertezas da análise de  $^{14}\text{C}$  e da curva de calibração (Ramsey *et al.* 2010).

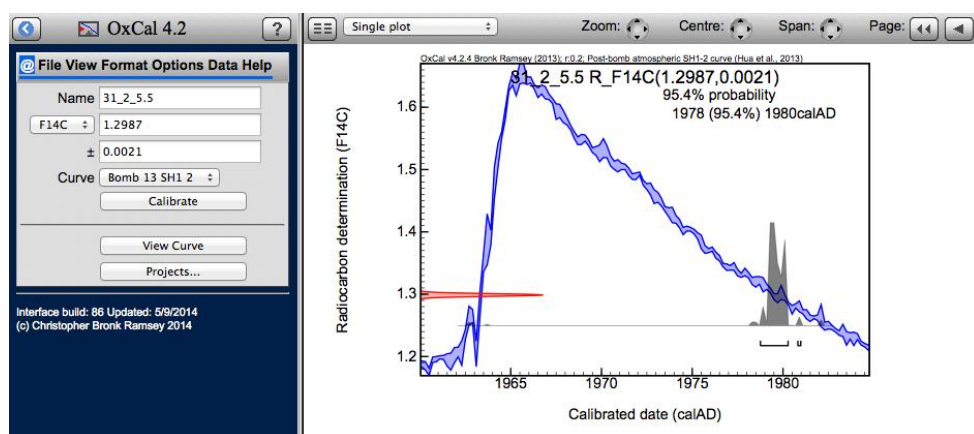


Figura 25: Imagem da curva da Fração Moderna da atmosfera Bomb 13 SH1 2 com a data estimada para a amostra de holocelulose da madeira com base no valor da Fração Moderna desta amostra apresentada pelo acelerador (AMS) expresso no programa OxCal 4.2.

Cada raio foi datado no mínimo em 3 pontos. Quando a datação do ponto caiu antes do pico da bomba (1964) a incerteza foi observada e então a amostra foi excluída. Os três pontos datados em cada raio mostraram uma sequência temporal concomitante com a curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera, conforme a Figura 26 e as figuras do item 3 em anexo.

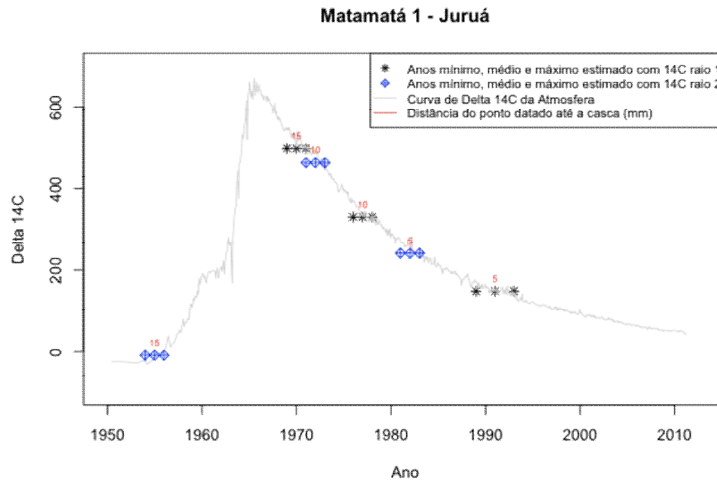


Figura 26: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com a sobreposição dos pontos das 3 amostras de celulose em um raio. Em preto com o símbolo “\*” estão as datas mínimas media e máxima estimada para os três pontos do raio 1; com o símbolo em azul estão as datas mínimas media e máxima estimada para cada ponto do raio 2. Os números em vermelho indicam a distância em mm da amostra datada até a casca.

#### 4.3 Seleção das espécies estudadas

Na busca de viabilizar o manejo florestal, o presente estudo focou no crescimento de espécies generalistas de grande dominância na bacia. Nas mais de 2 mil parcelas do Inventário Florestal Contínuo (IFC) do Amazonas, realizado pelo Laboratório de Manejo Florestal, matamatá amarelo (*Eschweilera* spp.), breu vermelho (*Protium* spp.) e ucuuba puna (*Iryanthera* spp., Miristicaceae) estão sempre entre as 10 morfoespécies de maior índice de valor de importância (Higuchi 2015). Esses dados corroboraram com os publicados por ter Steege *et al.* (2013) com a lista das espécies hiperdominantes de toda a bacia amazônica. No entanto, dificuldades para reconhecer a espécie dos indivíduos arbóreos na Amazônia ocorrem nos diversos níveis causando problemas de identificação e agrupamento de espécies com o mesmo nome. No presente estudo buscou-se acessar espécies específicas como *Eschweilera coriacea* (matamatá amarelo), *Protium hebetatum* (breu vermelho) e *Iryanthera coriacea* (ucuuba – punã). Porém, também ocorreram algumas confusões nas identificações, que ampliou o número de espécies dentro de cada gênero. Vale ressaltar que estes resultados não representam o comportamento do gênero, e sim de um grupo de espécies dentro do gênero que são morfologicamente semelhantes. A lista de espécies é apresentada junto com cada método.

## Delineamento amostral

O delineamento amostral está dividido em 4 tópicos de acordo com os objetivos específicos da presente tese. 1- Comparação de métodos de incremento; 2- Descrição de árvores com ICA  $\leq 0$  ao longo dos anos; 3- Determinação e comparação do IPA e da quantidade estocada anualmente de carbono do matamatá amarelo no Amazonas; 4- Correlação do IPA do matamatá amarelo com caracteres morfométricos e variáveis ambientais.

### 4.4 Comparação de métodos de incremento

Foram testados 4 métodos de determinar incremento em diferentes indivíduos da mesma classe diamétrica (19 a 47cm) que cresceram em condições ambientais similares: platô de floresta madura de terra firme na Estação Experimental de Silvicultura Tropical da ZF-2. Dois métodos foram aplicados utilizando parcelas permanentes que chamamos de BIONTE e bandas dendrométricas e dois métodos são isotópicos  $\delta^{18}\text{O}$  e  $^{14}\text{C}$ . Cada método possui número de indivíduos distintos, mesmo número de morfoespécies (matamatá amarelo, ucuuba-punã e breu-vermelho), mesmo número gêneros com algumas espécies diferentes (Tabela 1). Dentre os métodos ainda há variação entre período de monitoramento e precisão de incremento. Deste modo cada método está detalhado abaixo.

Tabela 1: Número de indivíduos em cada método de estimativa de incremento periódico anual para cada espécie, onde: Bandas – parcela permanente com 14 anos de medição mensal em bandas dendrométricas; Bionte – parcela permanente com 23 anos de medição anual do DAP;  $^{14}\text{C}$  – incremento periódico anual ponderado determinado com a datação de  $^{14}\text{C}$  da celulose da madeira na altura do DAP;  $^{18}\text{O}$  – incremento periódico anual determinado com a contagem de anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$ .

Nome popular	Espécie	Número indivíduos Bandas	Número indivíduos Bionte	Número indivíduos $^{14}\text{C}$	Número indivíduos $^{18}\text{O}$
Matamatá amarelo	<i>Eschweilera coriacea</i>	6	16	3	2
	<i>Eschweilera truncata</i>	6	16	2	1
Ucuuba puna	<i>Iryanthera coriacea</i>	0	0	1	1
	<i>Iryanthera sp</i>	3	0	4	1
	<i>Iryanthera juruensis</i>	2	1	0	0
	<i>Iryanthera sagotiana</i>	1	3	0	0
Breu	<i>Protium sp</i>	3	0	1	0
	<i>Protium spruceanum</i>	2	0	3	0
	<i>Protium hebetatum</i>	0	4	1	0
<b>Soma</b>		23	40	15	5



### ***Parcelas permanentes***

O incremento periódico anual (IPA) das espécies selecionadas foi determinado para comparar as informações dos métodos isotópicos com a de parcelas permanentes. As parcelas permanentes possuem dois níveis de precisão: BIONTE com medições anuais utilizando fitas de diâmetro na altura do DAP com precisão de 0,1 cm; as bandas dendrométricas com medições mensais utilizando paquímetros digitais com precisão de 0,01 mm.

#### **4.4.1 BIONTE**

Foram selecionados indivíduos arbóreos com 23 anos (1989-2012) consecutivos de medição do DAP (diâmetro à altura do peito), na classe diamétrica de 19 a 44 cm das selecionadas espécies, nas parcelas permanentes que são testemunhas do experimento Bionte (parcelas que não sofreram intervenção de exploração no projeto BIONTE - T0). O IPA (incremento periódico anual) foi calculado pela média dos incrementos correntes anuais (ICA) observados pela subtração da informação do dap do ano posterior com o imediatamente anterior ( $ICA = DAP_{ano\ t+1} - DAP_{ano\ t}$ ). É importante ressaltar que 1993 e 1998 não houve medições. No entanto não houve ICA entre 1992 - 1993, 1993 - 1994, 1997 - 1998 e 1998 - 1999.

#### **4.4.2 Bandas dendrométricas**

O experimento que chamamos de bandas nos transectos possui medições mensais de 14 anos consecutivos em bandas dendrométricas com o uso de paquímetros digitais. Este experimento possui dois tipos de bandas metálicas, uma que a janela de medição se expande (abre) e outra que a janela de medição se retrai (fecha). Para determinar o incremento corrente mensal da circunferência ( $ICM_C$ ) nas janelas que se expandem subtrai-se o valor da medição do mês posterior com o valor do mês imediatamente anterior ( $ICM_C\ banda\ aumenta = dap_{mês\ t+1} - dap_{mês\ t}$ ) e as bandas que diminuem o tamanho da janela é o contrário, subtrai-se o valor da medição do mês anterior com o valor do mês imediatamente posterior ( $ICM_C\ banda\ diminui = DAP_{mês\ t} - DAP_{mês\ t+1}$ ). A soma do incremento corrente mensal da circunferência ( $ICM_C$ ) informa o  $ICA_c$  (Incremento corrente anual da circunferência) de um determinado ano. A média do ICA dos anos de

medição foi utilizada como o IPA da circunferência (IPA<sub>c</sub>) das amostras. O IPA diamétrico das árvores com bandas dendrométricas foi determinado com a divisão do IPA<sub>c</sub> por PI (3,14159...), conforme a relação matemática entre circunferência e diâmetro.

#### 4.4.3 Incremento com anéis isotópicos de <sup>18</sup>O

Devido ao tempo e os custos a análise de isótopos estáveis foi realizada em apenas 5 indivíduos: 3 *Eschweilera spp.* e 2 *Iryanthera spp.* O IPA com anéis  $\delta^{18}\text{O}$  foi determinado com base no ciclo isotópico determinado por Ohashi *et al.* 2015 que foi considerado como 1 ano. A distância do último anel isotópico detectado na celulose da madeira até câmbio (mm) foi dividida pelo número de anéis isotópicos (anos). Este cálculo foi realizado para cada raio da árvore e então o incremento de 2 raios de cada indivíduo foi somado para determinar o incremento diamétrico da árvore.

#### 4.4.4 Incremento Periódico Anual (IPA) com datação de <sup>14</sup>C

O Incremento Periódico Anual (IPA) significa o incremento diamétrico da árvore em um certo período dividido pelo número de anos do respectivo período. É possível analisar o incremento periódico anual de diferentes maneiras com o método de datação de <sup>14</sup>C no tronco. Cada ponto datado até a casca expressa um valor de incremento e um ponto datado até outro também expressa um valor de incremento. O IPA com datação foi determinado com a fórmula expressa nas Figura 27 e Figura 28.

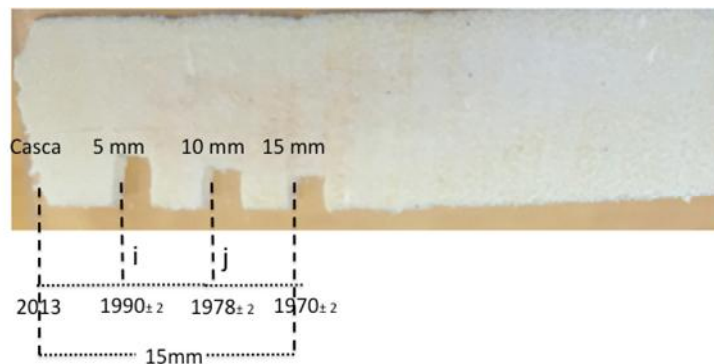


Figura 27: Esquema do corte da amostra de celulose com cada ponto datado por <sup>14</sup>C para o cálculo do incremento periódico anual (IPA).

$$\text{IPA} = \frac{\text{Distância } j - \text{Distância } i}{\text{Data } i - \text{Data } j}$$

Exemplo ponto 5 mm  
Distância do ponto até a casca: 5 mm  
Tempo: 2013- 1990 = 23 anos  
IPA:  $5/23 = 0.22$  mm/ano

Figura 28: Fórmula do cálculo do incremento com a datação por  $^{14}\text{C}$ .

No entanto, buscou-se um método que captasse a variação do IPA ao longo do tempo. Deste modo foi realizado um cálculo de Incremento Periódico Anual ponderado médio utilizando todos os pontos datados. Para o cálculo do IPA ponderado médio (IPAp<sub>m</sub>) de cada árvore, primeiro calculou-se o IPA ponderado (IPAp) ao longo do tempo para cada raio. Neste caso, calculou-se o IPA entre dois pontos (Figura 27). O IPA entre os pontos este distribuído ao longo do intervalo de tempo estimado entre esses pontos (Figura 29). O raciocínio utilizado é como se cada ponto datado fosse um ano de medição em campo com variação no intervalo de tempo entre as remedições. É possível observar o IPA ponderado de dois raios na linha pontilhada preta e linha tracejada azul da Figura 29. Depois realizou-se a soma do IPAp dos dois raios para encontrar o IPA ponderado diamétrico da árvore. Ao final, a média dos IPA ponderado foi determinada. O ponto positivo deste método é captar a variação temporal do incremento entre os pontos datados. O ponto negativo do IPA ponderado médio é que ao utilizar apenas o período comum entre os dois raios, perde-se informação. Ocorreram variações entre os períodos datados entre os dois raios, na mesma distância da casca. Os períodos que não foram comuns entre os raios foi excluído do cálculo de IPAp<sub>m</sub>. Como o exemplo na Figura 29, onde o período datado no raio 2 (tracejado azul) entre os pontos 10 e 15 (1954 e 1972) foi excluído do cálculo do IPA ponderado e ponderado médio pois não é comum entre os dois raios.

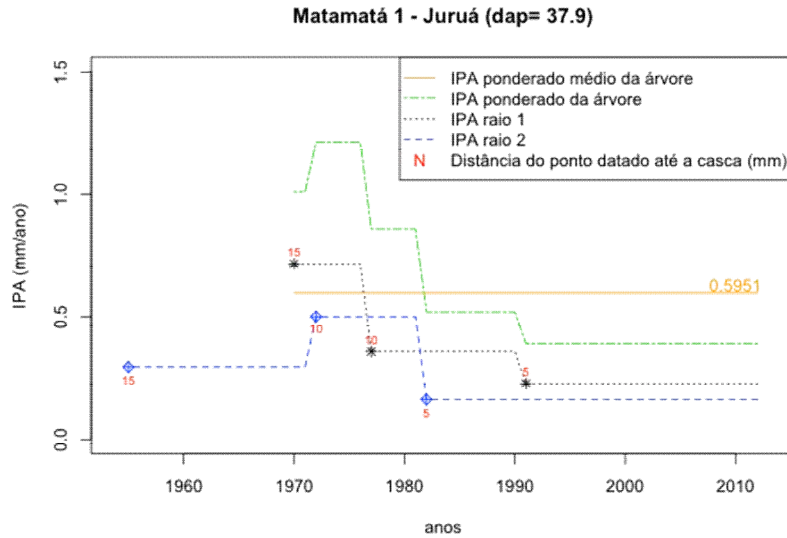


Figura 29: Incremento periódico anual ponderado médio. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro dos períodos datados entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

#### 4.4.5 Análise estatística na comparação de métodos de incremento

Foram comparados os métodos de medição de Incremento Periódico Anual - IPA diamétrico das árvores com anéis isotópicos, radioisótopos e parcelas permanentes. Foram realizadas análises de variância de dupla entrada (tratamento e espécie) e quando necessário utilizou-se o Post-hoc teste Tukey: uma ANOVA foi entre o IPA do  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\Delta^{14}\text{C}$  nos mesmos indivíduos e duas anovas para a comparação do IPA entre os 4 tratamentos:  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $^{14}\text{C}$ , T0 do BIONTE e bandas dendrométricas (número variado de indivíduos em cada tratamento). O que variou das anovas entre os 4 tratamentos foi no cálculo do incremento com datação de  $^{14}\text{C}$ . Uma foi utilizando o IPA estimado com a datação do ponto mais distante até a casca. A outra foi utilizando o IPA ponderado médio com informações de todos os pontos datados com  $^{14}\text{C}$ .

#### 4.5 Incremento Corrente Anual menor ou igual a zero ( $\text{ICA}_{\text{dap}} \leq 0$ )

Foi analisado de forma descritiva o comportamento de árvores que apresentaram Incremento Corrente Anual no DAP menor ou igual a zero ( $\text{ICA}_{\text{dap}} \leq 0$ ) nas parcelas permanentes BIONTE e Bandas. A parcela

permanente BIONTE é remeida anualmente na mesma posição da árvore utilizando fitas de diâmetro e fornece uma precisão nos dados de incremento de 0,1 cm (Honório e Baker 2010). A parcela permanente chamada de Bandas são bandas dendrométricas remeidas mensalmente com paquímetro digital e fornece uma precisão de 0,01 mm. A lista das famílias e das espécies utilizada em cada parcela permanente para a observação do  $ICA_{dap} \leq 0$  encontra-se na Tabela 2. O número de indivíduos por família e por tipo de parcela permanente encontra-se na Tabela 3.

Tabela 2: Lista das famílias e das espécies utilizadas para a análise dos anos de  $ICA_{dap} \leq 0$ .

Familia	Nome científico	Bionte	Bandas
Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	x	x
	<i>Eschweilera truncata</i> A.C. Smith	x	x
	<i>Eschweilera bracteosa</i> (Poeoo. Ex O. Berg) Miers		x
	<i>Eschweilera romeu-cardosoi</i>		x
	<i>Eschweilera tessmannii</i> R. Knuth		x
	<i>Eschweilera wachenheimii</i> (Benoist) Sandwith		x
	<i>Cariniana integrifolia</i> Ducke		x
	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke		x
	<i>Corythophora alta</i> R. Knuth		x
	<i>Gustavia elliptica</i> S. A. Mori		x
	<i>Gustavia hexapetala</i> A.C. Smith		x
	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.		x
	<i>Lecythis prancei</i> S. A. Mori		x
	<i>Lecythis zabucajo</i> Aubl.		x
Myristicaceae	<i>Iryanthera coriacea</i> Ducke	x	
	<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	x	x
	<i>Iryanthera lancifolia</i> Ducke		x
	<i>Iryanthera macrophylla</i> (Benth.) Warb.		x
	<i>Iryanthera paradoxa</i> (Schwacke) Warb.		x
	<i>Iryanthera sagotiana</i> (Benth.) Warb.		x
	<i>Iryanthera sp.</i>		x
	<i>Virola calophylla var. calophylla</i> (Spruce) Warb.		x
	<i>Virola mollissima</i> (Poepp. Ex A. DC.) Warb.		x
	<i>Virola pavonis</i> A.C. Smith		x
<i>Virola sp.</i>		x	
<i>Virola theiodora</i> (Spruce ex Benth.) Warb.		x	
<i>Virola venosa</i> (Berth.) Warb		x	
Burseraceae	<i>Protium hebetatum</i> Daly	x	
	<i>Protium apiculatum</i> Swart		x
	<i>Protium nitidifolium</i> (Cuatrec.) Daly		x
	<i>Protium sp.</i>		x
	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.		x
	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze		x
	<i>Trattinnickia burseraefolia</i> Mart.		x

#### 4.5.1 ICA menor ou igual a zero no Bionte

O BIONTE com 23 anos de monitoramento (1989 a 2012), apenas 1993 e 1998 não foram monitorados, o que forneceu informações de 19 intervalos de ICA ao longo do tempo. Foi realizado um pré-tratamento dos dados diamétricos para excluir possíveis erros não amostrais. Os valores do diâmetro que estavam muito discrepante do ano anterior e posterior foram corrigidos para um valor intermediário. Nos dados do BIONTE para as curvas

de crescimento (item 2 em anexo) os valores negativos foram substituídos por zero. Foram utilizados indivíduos das selecionadas espécies que ocorrem nos quatro tratamentos do BIONTE (12 hectares), onde: T0 são 3 parcelas de 1 hectare que não houve intervenção (testemunha); T1 são 3 parcelas de 1 hectare sob influência da retirada de 1/3 da área basal em 1986; T2 são 3 parcelas de 1 hectare sob influência da retirada de 50% da área basal; e T3 são 3 parcelas de 1 hectare sob a influência da retirada de 2/3 da área basal. No BIONTE foi avaliado: i. desvio padrão do ICA dos indivíduos ao longo do tempo; ii. % dos indivíduos que obtiveram ao menos um ano com  $ICA \leq 0$ ; iii. % do tempo monitorado em que o indivíduo apresentou  $ICA \leq 0$  apenas para o T0; iv. porcentagem do tempo monitorado com  $ICA \leq 0$  por classe diamétrica (Classe 1:  $20 > 30$ ; Classe 2:  $30 > 40$ ; Classe 3:  $40 > 50$ ) para duas espécies (*E. coriacea* e *E. truncata*) da família Lecytidaceae no T0; v. correlação de dados de precipitação com % de indivíduos com  $ICA \leq 0$  nos respectivos anos monitorados.

#### 4.5.2 ICA menor ou igual a zero nas bandas dendrométricas

Nas bandas dendrométricas selecionou-se apenas os indivíduos com 10 anos ou mais de monitoramento contínuo. Devido ao baixo número de indivíduos por espécie a observação do  $ICA \leq 0$  foi realizada em nível de família para Lecytidaceae, Burseraceae e Myristicaceae (50 indivíduos) conforme a Tabela 3. Para as bandas dendrométricas foi possível avaliar: i. desvio padrão do ICA dos indivíduos entre os anos; ii. % dos indivíduos que obtiveram  $ICA \leq 0$  em ao menos um ano do período monitorado; iii. % do tempo monitorado em que os indivíduos apresentaram  $ICA \leq 0$ ; v. correlação de dados de precipitação com a % de indivíduos com  $ICA \leq 0$  nos respectivos anos monitorados. A porcentagem expressa valores representativos da população e foi utilizado para descrever o comportamento deste fenômeno. O desvio padrão mostra a dispersão dos valores de ICA de cada ano em relação à média, expressando se os valores de ICA estiveram próximos ou muito longe da média ao longo do tempo. O incremento negativo foi assumido para representar a real variação que ocorre nas medições de diâmetro devido ao fluxo de água do tronco.

Tabela 3: Número de indivíduos para cada experimento para a análise do  $ICA \leq 0$ . parcelas permanentes Bionte com 19 anos de monitoramento e Bandas dendrométricas com 14 anos de monitoramento para as análises da variação temporal do Incremento Corrente Anual.

Família	Indivíduos Bandas dendrométricas	Indivíduos Bionte T0	Indivíduos Bionte todos os tratamentos
Lecythidaceae	26	48	105
Burseraceae	6	4	4
Myristicaceae	18	25	15

#### 4.5.3 Dados climáticos da EEST-ZF-2 para avaliar o $ICA \leq 0$

Para avaliar a influência do tempo na ocorrência de  $ICA \leq 0$  por ano, os dados de porcentagem de indivíduos que apresentaram  $ICA \leq 0$  por ano foi correlacionado com dados de precipitação de 2000 a 2011 coletados na Torre K34 (dados LBA). Os dados de precipitação da K34 foram trabalhado com dados de precipitação diária. Os dados foram tratado da seguinte maneira: i. os anos que obtiveram falhas de medição de mais de 89 dias no ano não foram utilizados; ii. Para correlacionar  $ICA \leq 0$  por ano com a precipitação no mesmo período, foi realizado a soma da precipitação por ano; iii. Para correlacionar  $ICA \leq 0$  com períodos sem chuva por ano, foi realizado a soma de dias sem chover no determinado ano. Para correlacionar com os dados das PP das bandas dendrométricas com as variáveis temporais, foi considerado um ano, os dados de precipitação de janeiro a dezembro e para o bionte, que a medição ocorre sempre no mês de julho, o ano foi considerado de julho do ano X à junho do ano X+1. Esta estação meteorológica está localizada no máximo a 2km de distância das árvores com bandas dendrométricas.

#### 4.6 O Incremento Periódico Anual do matamatá amarelo no Amazonas

Em cada uma das 6 localidades (Juruá, Atalaia do Norte, São Gabriel da Cachoeira, Manicoré e Maués) 5 indivíduos de matamatá amarelo foram abatidos, totalizando 30 indivíduos. As espécies de matamatá amarelo de cada sítio estão detalhadas na Tabela 4. A classe diamétrica, altura comercial e total mínima, média e máxima por localidade pode ser observado na Tabela 5.



Tabela 4: Número de indivíduos por espécie em cada localidade.

Espécies	Juruá	Atalaia do Norte	São Gabriel da Cachoeira	Manicoré	Manaus	Maués
<i>Eschweilera coriacea</i>	5	3	1	5	3	
<i>Eschweilera truncata</i>			1		2	4
<i>Eschweilera grandiflora</i>		1				
<i>Eschweilera sp1</i>		1				
<i>Eschweilera sp2</i>			3			
<i>Eschweilera sp3</i>						1

Tabela 5: Dados de diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros (cm), altura comercial (Hc) em metros (m) e altura total (Ht) em metros (m) para as árvores abatidas de matamatá amarelo por sítio coletado no Amazonas.

Sítio	dap (cm)			Hc (m)			Ht (m)		
	min	média	máx	min	média	máx	min	média	máx
Juruá	20	33	42,5	6,7	9,6	14,6	16,1	20,4	26,1
Atalaia do Norte	18	27	38	9	12	13,6	17	22	30
São Gabriel da Cachoeira	19	23	26	6,4	10	16	14,7	21,3	24,8
Manaus	19,7	31,9	47,7	7,7	9	9,8	17,8	20,6	22,4
Maués	18	20,7	25	9,4	13,3	23	17,4	20,9	24,5
Manicoré	18	25,4	29	7,6	10,8	12,7	16,2	20,4	22,8
Média Amazonas	18	26,7	47,7	6,4	11	23	14,7	21,1	30,3

Um disco do DAP de cada árvore foi coletado. A lâmina de 1 mm foi retirada e a extração de celulose no laboratório da Dra Susan Trumbore e Dra Xaiomei Xu conforme o protocolo descrito no tópico acima para datação de  $^{14}\text{C}$ . Em cada raio, no mínimo três pontos foram datados com  $^{14}\text{C}$ . Utilizou-se apenas amostras que datadas no intervalo entre o pico da bomba (1956/1964) até o presente para determinar o incremento periódico anual dos indivíduos. Foi utilizado o Incremento periódico anual ponderado médio (IPAp<sub>m</sub>) de cada indivíduo calculado conforme a Figura 27, Figura 28 e Figura 29.

#### 4.6.1 Análise estatística do incremento periódico anual do Matamatá amarelo no Amazonas

A média do IPAp<sub>m</sub> determinado por  $^{14}\text{C}$  dos 30 indivíduos de matamatá foi utilizada para determinar uma taxa média de incremento dessa morfoespécie no Amazonas. Foi realizado uma ANOVA de simples entrada com o IPAp<sub>m</sub> dos 5 indivíduos em cada sítio para comparar o incremento entre os sítios. Tratamos os dados como apenas uma morfoespécie, o

matamatá amarelo. Quando ocorreu a diferença significativa no IPA do matamatá entre os sítios fez-se o Post Hoc Teste de Tukey para entender a dinâmica do crescimento do matamatá no estado. Foi realizado uma ANOVA entre as espécies *E. coriacea* e *E. truncada* para avaliar se houve influencia da espécie no resultado apresentado.

#### 4.6.2 Análise de dados morfométricos e ambientais do matamatá amarelo no Amazonas

Para avaliar os fatores bióticos e abióticos relacionados com o incremento periódico anual do matamatá nos 6 sítios do Amazonas diversas informações foram coletadas in situ e fatores morfométricos foram calculados como: área basal em um parcela ao redor da árvore, diâmetro da copa da árvore, altura de copa, fator de forma do tronco, razão altura:diâmetro, densidade da madeira e características físicas e mecânicas do solo.

##### 4.6.2.1 Área basal da parcela

Ao redor da árvore foi instalada uma parcela temporária de 800 m<sup>2</sup> com vértices no sentido leste - oeste e norte – sul no comprimento de 20 metros. Todos os indivíduos com DAP maior ou igual a 10 cm foram medidos e as espécies foram identificadas a nível de nome popular dentro desta parcela. A área basal dos 800 m<sup>2</sup> foi calculada com base no diâmetro das árvores da parcela. A área basal foi utilizada como indicador de competição ao ser correlacionada com o IPAp<sub>m</sub> de cada árvore com de matamatá.

##### 4.6.2.2 Diâmetro de copa

O diâmetro de copa foi medido antes de derrubar o indivíduo. A projeção da copa no chão foi medida em duas direções perpendiculares em forma de cruz. Com o auxílio de uma trena, foi utilizado o seguinte critério: o primeiro diâmetro foi selecionado de acordo com a maior distância entre o galho de uma extremidade e seu oposto e o segundo diâmetro perpendicular ao primeiro formando uma cruz. O diâmetro de copa foi correlacionado com o IPAp<sub>m</sub> para avaliar se havia influência da dimensão da copa da árvore com o incremento diamétrico do tronco.

#### 4.6.2.3 Altura da copa

A altura da copa é um fator morfométrico muito utilizado no manejo de árvore singular (Durlo 2001). A diferença entre a altura total e a altura comercial forneceu a informação sobre a altura da copa de cada árvore. A altura da copa foi correlacionado com o IPAp<sub>m</sub> para avaliar se havia influencia da dimensão da copa da árvore com o incremento diamétrico do tronco.

#### 4.6.2.4 Fator de forma comercial

O fator de forma é calculado pela razão do volume real (volume rigoroso) da árvore com o volume do cilindro utilizando como base o diâmetro a altura do peito (DAP). O cálculo do volume do cilindro foi a área basal do DAP multiplicada pela altura comercial da árvore. Para o cálculo do volume rigoroso foi realizado em campo a cubagem rigorosa utilizando um misto entre os métodos de cubagem de Smalian e Hohenald. Esse misto é o procedimento utilizado pelo Laboratório de Manejo Florestal desde as primeiras coletas de biomassa na tese de Santos (1996). No procedimento dos métodos de cubagem, o fuste é seccionado em pedaços para as medições do diâmetro. O método misto de Smalian com Hohenald conta em dividir o tronco em 10 secções iguais, na dimensão de 10% da altura comercial (influência do método de Hohenald) e medir o diâmetro de cada secção nas duas extremidades e fazer a média (influência de Smalian). O volume rigoroso é calculado da seguinte forma: em cada uma das 10 secções o diâmetro foi medido com uma suta nas duas extremidades. A área basal de cada extremidade foi calculada. A média da área basal da secção multiplicado pela comprimento da secção informa o volume da secção. A soma do volume das 10 secções da árvore é o volume rigoroso do tronco.

#### 4.6.2.5 Razão altura / diametro

A razão altura:diâmetro ( $h/dap$ ) é uma variável de arquitetura da árvore e é utilizada por florestais há muitos anos para diferentes fins (Cremer *et al.* 1982; Wonn e O'Hara 2001). A razão altura:diâmetro avalia níveis de competição do povoamento florestal (Seidel 1987; Seidel 1989; Cochram and Barret 1999 Oliver 1997; van Gelder *et al.* 2006; Rinn 2015) e susceptibilidade das árvores para queda em tempestades (Cremer *et al.*

1982; Wonn e O'Hara 2001). Todos os estudos corroboram que, aumentando o espaçamento do povoamento florestal (intensidade de luz), a razão altura:diâmetro diminui (Wonn e O'Hara 2001). No entanto, quanto maior a razão altura:diâmetro maior o índice de competição por luz do povoamento (Cremer *et al.* 1982). Esta razão também indica fortalecimento da defesa mecânica do povoamento (van Gelder *et al.* 2006). Deste modo, para avaliar o nível de competição e a relação da competição com o IPAp<sub>m</sub> do matamatá, calculou-se a correlação do incremento com a razão h/dap.

#### 4.6.2.6 Densidade da madeira

Um disco na base de cada indivíduo foi coletado para determinação da densidade básica do indivíduo. Cada disco foi subdividido em 8 subamostras de 1.5 x 1.5 x 3.0 ao longo do raio casca – medula para determinação da densidade da madeira. Cada subamostra foi colocada submersa em água por no mínimo 15 dias para atingir o ponto de saturação das fibras. Após esse período é medido o volume verde da amostra saturada por meio do princípio de deslocamento de líquidos, Princípio de Arquimedes. Após essa medição, as amostras foram colocadas em estufa a 105°C por aproximadamente 3 dias até atingir peso constante após três pesagens. A razão entre o peso seco e o volume saturado foi utilizada como a densidade básica da subamostra. A média da densidade básica das sub-amostras foi utilizada para determinar a densidade básica do indivíduo arbóreo. A densidade básica da madeira foi determinada com o método padrão utilizado no Laboratório de Pequenos Objetos de Madeira (LAPEAM) do INPA. A densidade básica foi correlacionada por correlação de Pearson com o IPAp<sub>m</sub>.

#### 4.6.2.7 Quantidade de carbono na área basal por ano

Com o intuito de avaliar a variação no armazenamento do carbono no tronco foi calculado a quantidade de carbono armazenada na área basal de cada árvore. Para calcular a quantidade de carbono na área basal por ano multiplicamos as informações de Incremento Periódico Anual (IPA) em área basal, a densidade da madeira e o fator de 0,5 (quantidade de carbono na madeira) segundo Silva 2007. A quantidade de carbono na área basal por ano é expressa em: gC/cm<sup>2</sup> área basal/ano.

#### 4.6.3 Análise de solos nos diferentes sítios

Amostras de solos foram coletadas na profundidade de 20 cm em 2 pontos à 5 metros de distância da árvore selecionada. O solo foi misturado gerando uma amostragem mista para representar o micrositio de cada indivíduo selecionado/parcela.

As análises das propriedades físicas e químicas dos solos foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA seguindo metodologia de Quesada *et al.* 2010. Foram avaliados pH (potencial de Hidrogênio), análise granulométrica (% de argila, % de areia e % de silte), e análise de cátions (Ca, MG, K e Na).

As amostras foram secas ao ar ambiente, os torrões de terra passaram por um processo de moagem e peneiramento com uma peneira de 2mm de diâmetro, obtendo a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

##### 4.6.3.1 Análise de pH

O valor de pH (Potencial de Hidrogênio) representa a concentração de hidrogênio [H<sup>+</sup>] na solução do solo. A escala do pH varia de 0 a 14. O pH foi determinado com um processo por meio de um eletrodo combinado, imerso em suspensão solo:água na proporção de 1:2,5 mL. Foram misturados 10g de terra fina com 25 ml de H<sub>2</sub>O e manteve-se esta mistura em um agitador mecânico por 1 hora. Após a agitação, as amostras permaneceram 1 hora em repouso. As amostras que formaram duas fases distintas foram lidas com um pHmetro e as que permaneceram turvas foram lidas com o phmetro em agitação.

##### 4.6.3.2 Análise granulométrica

As amostras passaram por diferentes processos físicos e químicos para a análise de partículas do solo. Foram separados areia (partículas entre 0,05 e 2 mm), silte (partículas entre 0,002 mm e 0,05 mm) e argila (partículas <0,002 mm). O método utilizado é uma adaptação de Filizola (2006) e se baseia na velocidade de decantação das partículas. Devido a elevada concentração de matéria orgânica nas amostras, foi necessário um tratamento inicial para a destruição da mesma, que tem elevada influência na análise de tamanho de partículas (10 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> agitada em um prato quente a 50 °C possivelmente durante a noite). Após este processo, 10 g de terra

fina (TFSA) misturada com 10 ml de pirofosfato de sódio e 200 ml de água permaneceram em repouso por aproximadamente 18 horas para a dispersão dos sedimentos. As amostras foram transferidas para copos metálicos do agitador elétrico “stirrer” por 15 minutos em 5000 rpm. A solução de solo com água e dispersante foi passado em uma peneira com malha de 0,053 mm para separar a areia. O material da peneira foi colocada em placas de petri e seco em estufa. Após seco foi realizada a pesagem a quantidade total de área para cada amostra. A solução de solo após o peneiramento da areia foi misturado aproximadamente 1 minuto com um bastão e com medições de tempo e temperatura e com o auxílio de uma tabela foi indicado o tempo de sedimentação da argila em 5cm de profundidade. A influência da temperatura do dispersante foi corrigida com a medição da temperatura de uma amostra controle do dispersante. Após o final do tempo determinado pela tabela, com o auxílio de uma pipeta retirou-se 20 ml de argila abaixo de 5 cm de profundidade que foi seca em estufa por 24 horas para a pesagem e determinação da argila total da amostra. Com os valores de areia total e argila total os dados de silte total foram calculados. As frações foram calculadas com relação aos valores de 100% da amostra utilizada.

#### 4.6.3.3 Cátions trocáveis

Para a determinação dos macronutrientes Ca, Mg, K e Na utilizou-se o método de prata – tiuréia (Ag-TU). Após o preparo da solução, misturou-se 5 g de TFSA com 40 mL da solução extratora de AgTu que permaneceu sob agitação por 4 horas e posteriormente 12 horas de descanso. Pipetou-se o sobrenadante para frascos âmbar identificados. Após, o sobrenadante foi colocado em tubos de ensaio onde foi adicionado uma solução diluidora. Para determinação de Ca e Mg utilizou-se a solução de Lantânio e para Na e K solução de Césio. A análise foi realizada em absorção atômica e o equipamento utilizado para sua leitura foi o AASpectrometer Thermo Scientific iCE 3000 Series. A concentração de cada elemento é expressa em  $\text{mmol}_c \text{ Kg}^{-1}$  de solo.

#### 4.6.3.4 Correlação das variáveis ambientais e morfométricas com o IPAp<sub>m</sub>

Foi testada a correlação de Pearson entre o Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAp<sub>m</sub>) determinado por datação com  $^{14}\text{C}$  com os

caracteres funcionais (densidade da madeira), morfométricos (diâmetro de copa, altura de copa, fator de forma, razão altura:diâmetro) e características físicas (% de silte, % de areia, % de argila) e químicas do solo (pH e cátions trocáveis) para cada indivíduo nos 6 sítios. Duas árvores em Manaus e duas em Juruá foram excluídas das análises pois estas informações não foram coletadas. No entanto a correlação entre IPApM e os fatores morfométricos e ambientais foi realizado com 26 das 30 árvores coletadas.

#### 4.7 Projetos que viabilizaram a pesquisa

##### 4.7.1 BIONTE

O projeto-âncora da ZF-2, conhecido como BIONTE, foi uma proposta experimental de 1980 para avaliar o impacto da exploração madeireira em floresta de terra firme sobre o meio ambiente (Higuchi *et al.* 1997). O projeto passou por diversas etapas de financiamento que garantiram sua sustentação até os dias atuais e diversas produções de conhecimento científico nas mais diversas áreas foram realizados (Higuchi *et al.* 1997). No experimento ocorreu uma intervenção na floresta natural madura de terra firme com diferentes intensidades de corte a partir de 1987. O experimento foi e ainda é composto por uma testemunha (T0), exploração leve – exploração seletiva de 1/3 da área basal comercial - AB (T1), intermediária – exploração de 50% da AB (T2) e pesada – exploração de 2/3 da AB (T3), com 3 repetições. No centro de cada tratamento uma parcela permanente de 1 hectare, 100 x 100 m (Higuchi *et al.* 1997) tem sido monitorada todos os anos desde então, com exceção de 1993 e 1998. Todo o experimento foi instalado em áreas de platô. Gai 2013 em sua dissertação de mestrado coletou amostras botânicas de todas as parcelas permanentes do BIONTE e as identificou de acordo com o sistema “Angiosperm Phylogeny Group – APG” (APG III, 2009). As árvores monitoradas no BIONTE foram utilizadas na presente pesquisa.

##### 4.7.2 Transectos do Jacaranda

Outras informações de parcelas permanentes utilizadas nesta pesquisa são oriundas dos transectos. Os transectos são parcelas permanentes em área de floresta madura, na mesma reserva e foram

instaladas no componente Manejo Florestal do projeto Jacaranda, cooperação INPA/JICA (Agência de Cooperação Internacional do Japão) em 1996 (Silva *et al.* 2002). São dois transectos de 20 x 2.500 metros (5 ha) cada, orientados nas direções Norte – Sul e Leste – Oeste. O experimento foi instalado com o intuito de captar a variação da topossequência da região, abrangendo platô, encosta e baixio e foram subdivididos em subparcelas de 20 x 20 m para facilitar a remedição, que ocorre a cada 2 anos. Dentro desses transectos foram instaladas no ano de 1999 fitas dendrométricas metálicas de forma aleatória em 300 árvores igualmente distribuídas ao longo da topossequência e em 3 classes diamétricas (10 cm ≤ dbh < 30cm; 30 cm ≤ dbh < 50cm; e dbh ≥ 50cm) (Silva *et al.* 2002). Atualmente, nos transectos há mais de 500 árvores com bandas. Essas árvores têm sido remedidas mensalmente desde então, com o intuito de observar o comportamento sazonal do crescimento ao longo dos anos. Coletas de material botânico foram realizadas por Vilany Carneiro durante o mestrado em 2004 e depois, em 2011, por Fernanda Coelho.

#### 4.7.3 CADAF

O projeto CADAF (Carbon Dynamics of Amazonian Forests ou Dinâmica do carbono das florestas da Amazônia) foi executado pelo FFPRI (Forestry and Forest Products Research Institute ou Instituto de Pesquisa em floresta e produtos florestais) do Japão em colaboração com o Laboratório de Manejo Florestal do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O projeto foi desenvolvido de abril de 2010 a abril de 2014. O principal objetivo do CADAF foi desenvolver técnica de avaliação, em grande escala, da dinâmica do carbono da floresta amazônica. Dentre os principais produtos destaca-se a consolidação de um sistema de inventário florestal contínuo no Amazonas. Maiores detalhes sobre este projeto pode ser lido no livro publicado por Lima *et al.* 2014.

No último ano do projeto, o pesquisador Shinta Ohashi entrou com a proposta de avaliar os anéis isotópicos de <sup>13</sup>C e <sup>18</sup>O na madeira. A decisão dos coordenadores do projeto foi de realizar as análises isotópicas em conjunto com meu doutorado. Desse modo tive a oportunidade de realizar um



treinamento no Japão com anéis isotópicos intraanuais e participar das coletas, análises de dados e publicação do artigo Ohashi *et al.* (2015). Outra colaboração da equipe do LMF com o trabalho dos anéis isotópicos foi incluir a datação de  $^{14}\text{C}$  que já fazia parte da minha tese devido a colaboração do LMF com outro projeto, o projeto TACAPE. O CADAPE financiou as atividades de campo e as análises de isótopos estáveis.

#### 4.7.4 TACAPE

O projeto TACAPE (Tree Assimilation and Carbon Allocation Physiology Experiment ou Experimento de fisiologia em assimilação e alocação de carbono em árvores) é uma colaboração do Laboratório de Manejo Florestal e o Departamento de Biogeoquímica do Instituto Max Planck. Dentre os principais objetivos desse projeto destaca-se o estudo da ecofisiologia de espécies arbóreas e como muda a alocação de carbono em áreas logo após distúrbios. Dentre os métodos utilizados nas pesquisas do TACAPE destaca-se análise de isótopos estáveis e radioisótopos.

O projeto TACAPE me proporcionou um curso sobre radioisótopo de  $^{14}\text{C}$  no Instituto de Biogeoquímica do Max Planck em Jena na Alemanha em junho de 2012 (antes do doutorado). Ainda financiou todas as datações com  $^{14}\text{C}$  realizadas tanto para o artigo de Ohashi *et al.* (2015) quanto para a presente tese. As duas viagens para o Laboratório de análise de radioisótopos de  $^{14}\text{C}$  da Universidade da Califórnia em Irvine UCI, também foram financiadas dentro da conjuntura do presente projeto.

#### 4.7.5 Crescimento e incremento das espécies florestais mais abundantes no Amazonas Universal/FAPEAM edital 030/2013

O principal objetivo do projeto é avaliar o incremento do matamatá amarelo no Amazonas; parte integrante da presente tese de doutorado. Este é um projeto aprovado no Universal FAPEAM na categoria de mestre, que é coordenado por mim. O projeto tem como integrantes outros pesquisadores do LMF; as instituições envolvidas são: Departamento de Biogeoquímica do Max Planck e o FFPRI do Japão na pessoa do pesquisador. O projeto financiou partes da pesquisa como materiais de laboratório para preparar amostras de solos, cortar as amostras de madeira e algumas coletas de campo.

## 5 Resultados

### 5.1 Variação temporal do crescimento e incremento diamétrico utilizando diferentes métodos para espécies selecionadas

Para estimar o Incremento Periódico Anual (IPA) em diâmetro foram utilizados os seguintes métodos: BIONTE (parcelas permanentes - BTO), Bandas (transectos - BD), isótopo de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ). No caso do  $^{14}\text{C}$ , o IPA é a média ponderada considerando todos os pontos amostrados e datados. As morfo-espécies analisadas foram selecionadas espécies de matamatá amarelo (*Eschweilera spp.*), ucuuba-punã (*Iryanthera spp.*) e breu (*Protium spp.*). O método da  $\delta^{18}\text{O}$  não foi utilizado para analisar o IPA da morfo-espécie breu.

#### 5.1.1 Comparação de 4 métodos e duas espécies

Para comparar os quatro métodos para estimar o IPA foram utilizadas apenas as morfo-espécies matamatá amarelo e ucuuba-punã. A ANOVA aplicada desdobrou a variação total em: variação devido aos métodos, variação devido às espécies e variação residual (Figura 30). Esta análise mostrou fortes evidências ( $p = 0,0001$ ) que, pelo menos, um método apresentou resultado diferente. No post doc Tukey, o método da  $\delta^{18}\text{O}$  apresentou fortes evidências que o mesmo se destoava dos demais: em relação ao  $^{14}\text{C}$  ( $p = 0,001$ ), ao Bionte tratamento T0 (BT0) ( $p = 0,0003$ ) e as Bandas dendrométricas (BD) ( $p = 0,00005$ ). Na comparação entre as morfo-espécies, há também fortes evidências ( $p = 0,0001$ ) que os IPAs entre as mesmas sejam diferentes. Ao comparar o incremento periódico anual das mesmas espécies entre os tratamentos há evidências estatísticas que a datação com  $^{14}\text{C}$  estima o incremento das árvores similar ao incremento estimado com parcelas permanentes de 23 e 14 anos de monitoramento ( $^{14}\text{C}$  – BT0  $p=0.997$ ; BD -  $^{14}\text{C}$   $p= 0.83$ ).

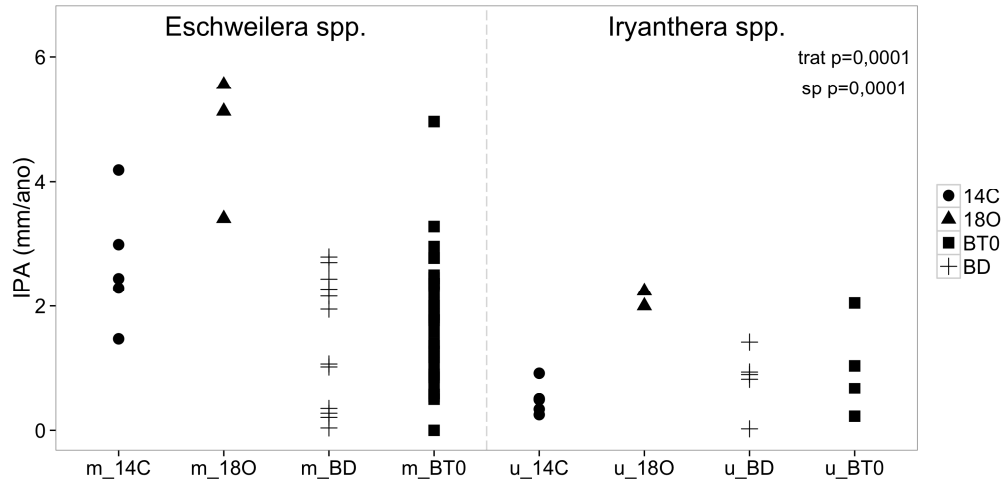


Figura 30: Comparação do Incremento Periódico anual e 2 morfoespécies em 4 métodos, onde: m- matamatá amarelo; u- ucuuba-punã; 14C - incremento estimado por datação de  $^{14}\text{C}$ ; 18O - incremento estimado por anéis de isótopos estáveis de  $^{18}\text{O}$ ; BD - incremento estimado por 14 anos de medições mensais de bandas dendrométricas; BT0- incremento estimado por 23 anos de medições anuais nas parcelas permanentes testemunha do bionte.

A ampla variação na taxa de crescimento entre os anos e ao longo do tempo pode ser a justificativa para a elevada discrepância entre o  $\delta^{18}\text{O}$  e os demais métodos testados. Os anéis isotópicos partem do princípio que o crescimento do xilema é constante sem períodos longos de dormência cambial. Porém nos dados de Ohashi *et al.* 2015 observa-se lacunas entre as datações dos anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  com a datação por  $^{14}\text{C}$ . Essa lacuna entre os métodos pode ser observada nos valores absolutos (Tabela 6) de incremento dos mesmos indivíduo nos diferentes métodos isotópicos. A diferença entre as taxas de crescimento dentro do mesmo indivíduo foi evidente ( $p= 0,02$ ) com a superestimativa do incremento no método de contagem de anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$ .

Tabela 6: Incremento Periódico Anual (mm/ano) determinado com dois métodos isotópicos na madeira para os mesmos indivíduos.

Espécie	Código	IPA isotópico (mm/ano)	
		Datação com $\Delta^{14}\text{C}$	Anel isotópico $\delta^{18}\text{O}$
<i>Eschweilera coriacea</i>	zm1	3,84	5,12
<i>Eschweilera coriacea</i>	zm2	2,04	5,55
<i>Eschweilera truncata</i>	zm3	2,20	3,40
<i>Iryanthera coriacea</i>	zu1	0,75	2,00
<i>Iryanthera sp.</i>	zu2	1,02	2,24

No entanto, os anéis  $\delta^{18}\text{O}$  são a assinatura isotópica da água da chuva registrada na celulose da madeira (Ohashi *et al.* 2015). Esse método tem potencialidade para estudos dendroclimatológicos na Amazônia. Porém é necessário selecionar árvores que possuam o crescimento contínuo, com anéis anuais, para realizar interpretações sobre variações climáticas recentes.

### 5.1.2 Comparação de três métodos e três espécies

Ao manter as três morfo-espécies na análise estatística, apenas três métodos foram considerados para estimar o IPA. Ao excluir o método do  $\delta^{18}\text{O}$  da análise, a ANOVA (Figura 31) mostra que as evidências são muito fracas ( $p = 0,365$ ) para afirmar que os três métodos apresentam resultados diferentes para estimar o IPA. Este resultado confirma o que foi constatado na análise anterior quando os quatro métodos foram comparados, o  $^{18}\text{O}$  mostrou-se diferente dos demais métodos. Na comparação entre as três morfo-espécies, as evidências são fortes ( $p = 0,002$ ) para rejeitar a hipótese sobre a similitude entre os IPAs de cada espécie.

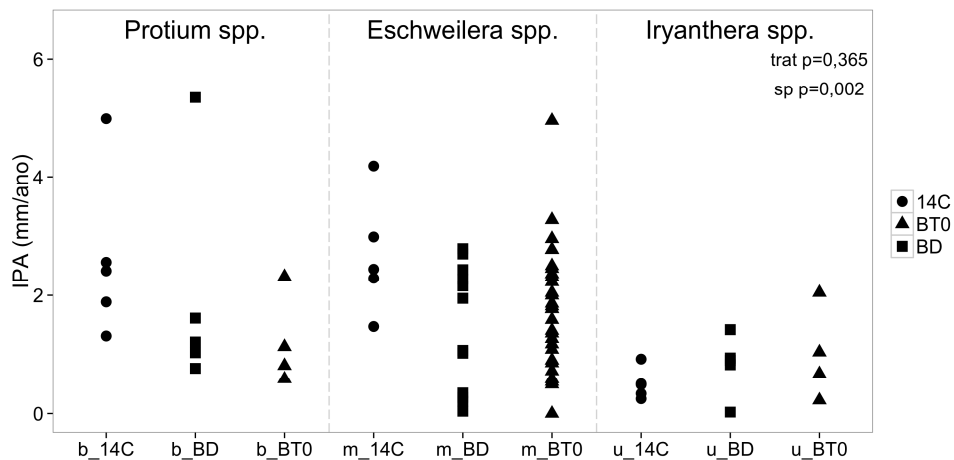


Figura 31: Comparação do Incremento Periódico anual e 3 morfoespécies em 3 métodos, onde: b- breu vermelho; m- matamatá amarelo; u- ucuuba-punã; 14C - incremento estimado por datação de  $^{14}\text{C}$ ; BD - incremento estimado por 14 anos de medições mensais de bandas dendrométricas; BT0- incremento estimado por 23 anos de medições anuais nas parcelas permanentes testemunha do bionte.

## 5.2 Variação do Incremento Corrente Anual e anos com incremento nulo ao longo do tempo

### 5.2.1 Variação do Incremento corrente anual

O incremento corrente anual (ICA) dos indivíduos de matamatá amarelo não foi constante ao longo do tempo. A simples variação da informação do incremento sugere um crescimento em pulsos, ou seja, um pulso de crescimento alto em um ano é compensado por um menor crescimento no outro ano. Para representar essa variação no Bionte, escolhemos os indivíduos da classe de dap entre 30 e 35 cm. Podemos observar uma grande variação do comportamento do incremento dentro da mesma classe diamétrica (Figura 32). Na Figura 32 o primeiro gráfico expressa o comportamento do dap ao longo do tempo e o segundo gráfico expressa o valor do ICA ao longo do tempo. Podemos observar que o ICA não é constante. Os gráficos das demais classes diamétricas podem ser consultados no item 2 do anexo.

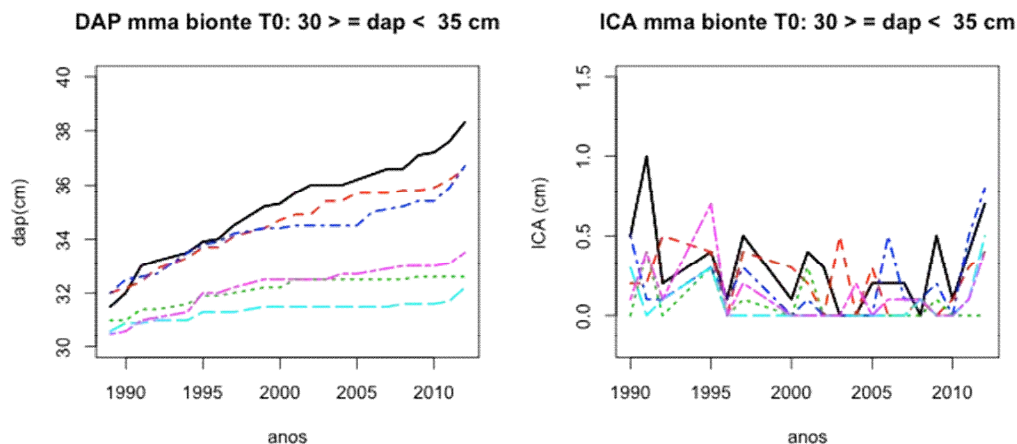


Figura 32: Dois gráficos representando a variação do crescimento ao longo do tempo: Gráfico 1: Comportamento diamétrico de indivíduos de matamata amarelo na classe de 30 a 32cm de DAP em 20 anos. Gráfico 2: comportamento do incremento corrente anual (ICA) dos mesmos indivíduos em 20 anos.

O IPAp<sub>m</sub> calculado com <sup>14</sup>C mostrou elevada variação do incremento ao longo do tempo. Na Figura 33 do indivíduo 62 em Manicoré, observa-se que na década de 1990 o IPAp<sub>m</sub> da árvore chegou a 8mm/ano, foi decaindo nos anos 2000 e no período de 2009 a 2013 chegou próximo de 2mm/ano.

No entanto, este comportamento pode estar relacionado com o histórico da área, como uma suposta abertura de clareira na década de 1990 que agora já está com o dossel fechado retornando um momento de competição por luz.

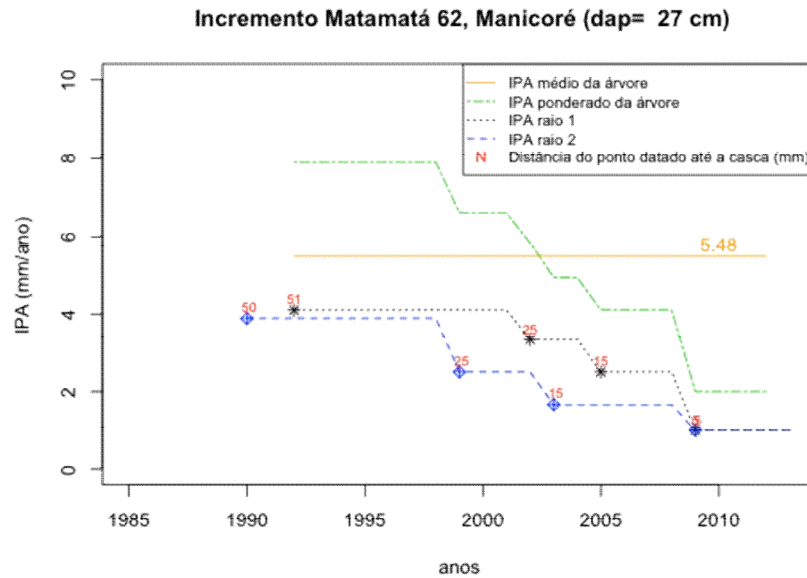


Figura 33: Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAp) do indivíduo de Matamatá Amarelo coletado em Manicoré AM com dap = 27cm.

Esta elevada variação temporal foi comum em todas as árvores de matamatá analisadas no Amazonas, independente do sítio. Na Figura 34 foi possível resgatar o comportamento do incremento no tempo de acordo com o histórico da área. Esta árvore ZM1 foi um matamatá amarelo coletado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – ZF-2 muito próximo do ramal e do alojamento. No raio 1 (representado pelo pontilhado preto) é possível reconhecer um incremento muito baixo antes da abertura da estrada (vicinal ZF-2). A estrada da estação foi aberta próximo de 1976. Após esta data, percebe-se um salto no incremento do raio, que seguiu aumentando a taxa de incremento próximo a década de 90. Nesta área, na década de 90 ocorreu a derrubada e pesagem das árvores utilizadas na tese de doutorado de Santos 1996. Depois, a floresta possivelmente fechou o dossel até nova retirada de árvores no local para atividades do projeto do INCT Madeiras da Amazônia em 2010. A influência da abertura do dossel e disponibilidade de luz é nítida na taxa de crescimento das árvores de matamatá amarelo na região de Manaus.

### Incremento Matamatá zm1, Manaus (dap= 47.7 cm)

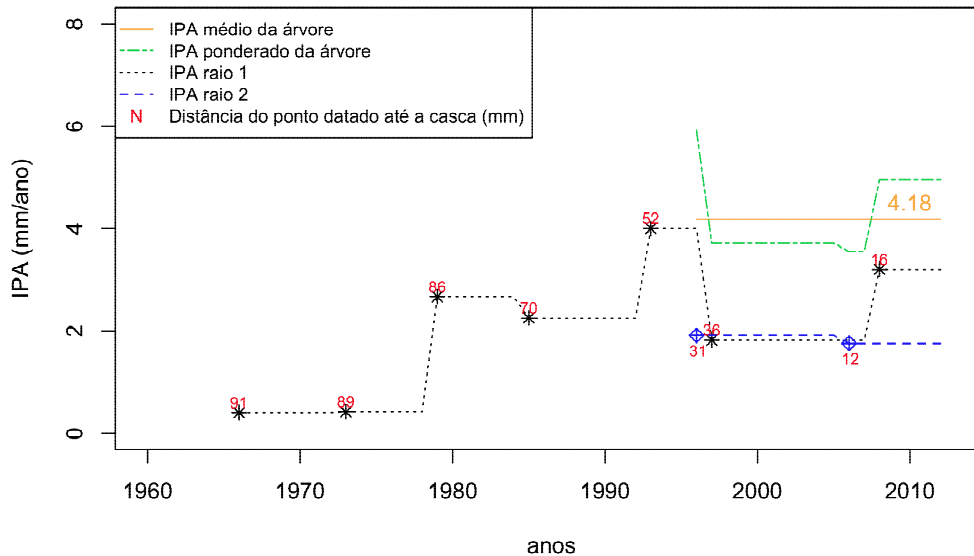


Figura 34: Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAp) do indivíduo de Matamatá Amarelo coletado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – ZF-2, com dap = 47,7cm.

O desvio padrão do Incremento Corrente anual ICA ao longo do tempo foi calculado e distribuiu-se de 0 a 0,4 nas parcelas testemunha (T0) do Bionte. Apenas um indivíduo de matamatá amarelo apresentou o desvio padrão do ICA de 0,8 (Figura 35).

### Desvio Padrão entre famílias TO Bionte

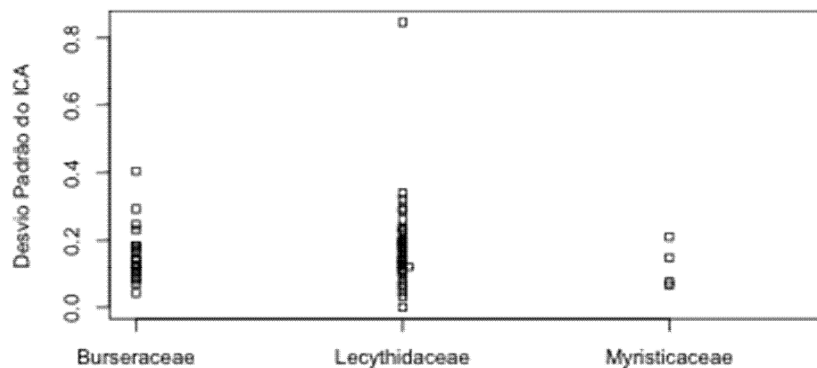


Figura 35: Desvio Padrão do Incremento Corrente Anual (ICA) das árvores das selecionadas espécies no tratamento testemunha (T0) do Bionte.

O desvio padrão do matamatá amarelo aumentou ao analisar as parcelas que sofreram exploração seletiva da área basal (Figura 36). O

elevado desvio padrão e a resposta dos indivíduos aos tratamentos comprovam a elasticidade da espécie conforme sugerido por Silva *et al.* 2002. As espécies de matamatá amarelo respondem no crescimento diamétrico de acordo com as variações ambientais.

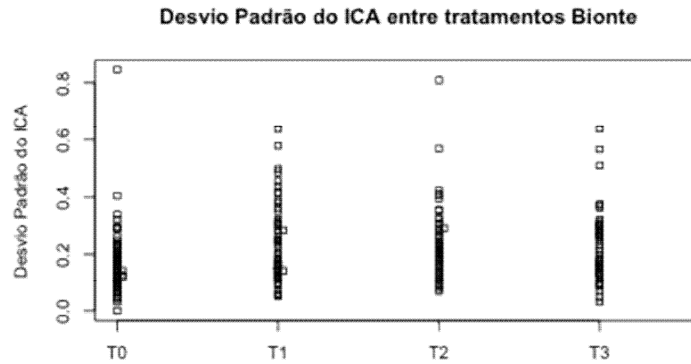


Figura 36: Desvio Padrão do Incremento Corrente Anual (ICA) das árvores das selecionadas espécies no entre os tratamentos do bionte: T0: Testemunha; T1: exploração de 25% da área basal; T2: exploração de 50% da área basal; T3: exploração de 75% da área basal.

### 5.2.2 Anos de incremento nulo nas parcelas permanentes

Ocorreram anos de incremento nulo nos indivíduos analisados. Estes anos em que não houve diferença nos valores de DAP variaram em indivíduos dentro de uma mesma espécie e na mesma classe diamétrica como podemos observar na Figura 37.



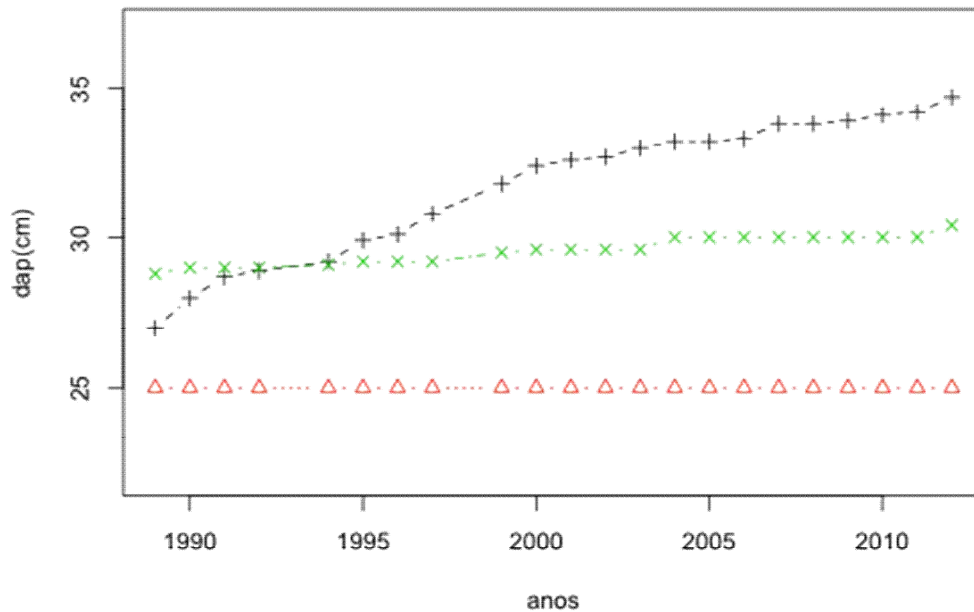


Figura 37: Exemplo do comportamento do crescimento ao longo do tempo 1989 a 2012. Três indivíduos em uma classe dia métrica de 15 a 25 cm de DAP.

Os períodos de incremento nulo variam ao longo do tempo. Há indivíduos como o representado pelo símbolo triângulo da cor vermelha na Figura 37 que em 23 anos de monitoramento não incrementou nem 0,1cm. Há indivíduos como o representado pelo “x” verde com anos seguidos de incremento nulo (p.e. de 2004 à 2010). E indivíduos como o representado pelo símbolo “+” com no máximo 2 anos consecutivos de incremento nulo. Vale ressaltar que, os três indivíduos com a curva diamétrica apresentados na Figura 37 são indivíduos da mesma espécie na mesma classe diamétrica nas parcelas testemunha do Bionte. Estes resultados fortalecem a hipótese que além de grande discrepância do incremento ao longo tempo, ocorrem longos períodos de ICA nulo.

#### 5.2.2.1 Anos de incremento nulo em 23 anos de monitoramento - Bionte

Nos tratamento testemunha do bionte (T0), 100% dos indivíduos (77 indivíduos) selecionados obtiveram ao menos um ano com  $ICA \leq 0$  ao longo dos 23 anos de monitoramento (excluídos 1993 e 1998). Nos 19 intervalos de monitorados os indivíduos apresentaram uma media de 46% do tempo com ICA nulo, variando de 10 a 100% (Figura 38).

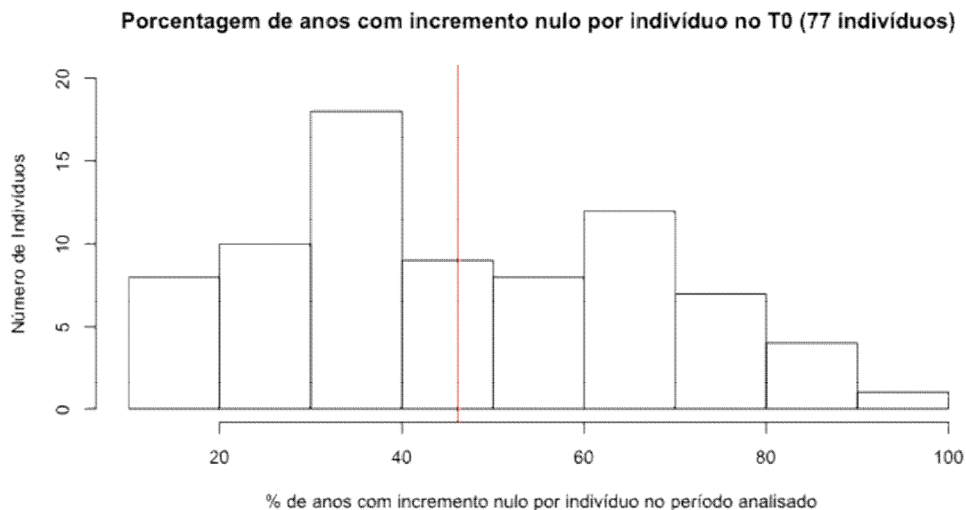


Figura 38: Histograma da distribuição da porcentagem de tempo registrado de ICA nulo em cada indivíduo das parcelas testemunha do Bionte das selecionadas espécies.

Este comportamento foi observado nas três famílias estudadas (Figura 39) e nas diferentes classes diamétricas do matamatá amarelo (fase ontogenética) (Figura 40). Não foi encontrado correlação entre % de indivíduos com  $ICA \leq 0$  do Bionte em um respectivo ano com os dados de precipitação ou dias sem chuva para o mesmo período.

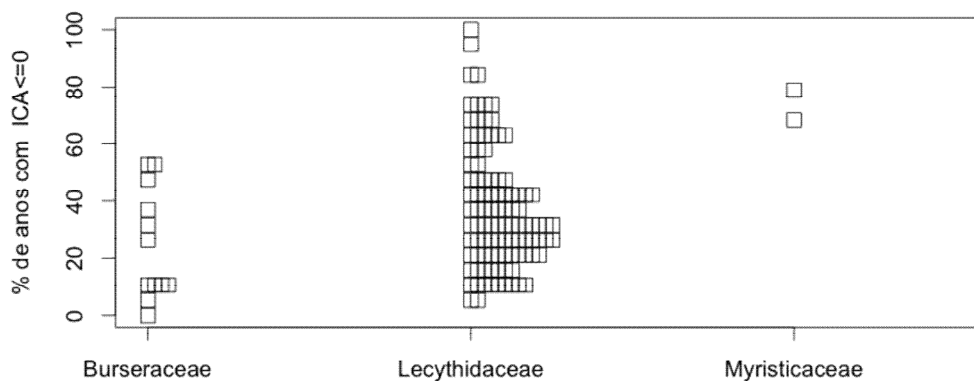


Figura 39: % de anos com  $ICA \leq 0$  entre as famílias nas parcelas permanentes de medição anual – Bionte.

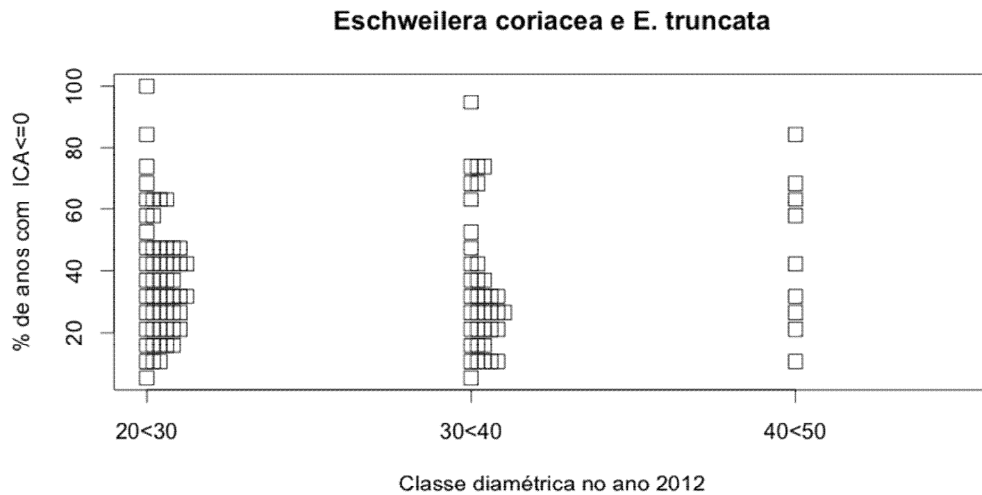


Figura 40: % de anos monitorados com  $ICA \leq 0$  entre as classes diamétricas em duas espécies da família Lecythidaceae: *Eschweilera coriacea* e *E. truncata* nas parcelas permanentes de medição anual – Bionte.

No entanto, alguns valores de ICA anual zero ou negativo nas parcelas permanentes que utilizam medições anuais com fitas dendrométricas pode ser um artefato de medição devido a precisão da medida da trena dendrométrica (0,1cm) e a baixa taxa de incremento médio no sítio. A média do ICA para mais de 300 árvores na região de Manaus é 1,6 mm/ano (Silva *et al.* 2002). Para evitar a interpretação sob qualquer possível artefato de coleta, a mesma observação foi realizada em árvores com 10 a 12 anos de monitoramento mensal com bandas dendrométricas.

#### 5.2.2.2 Anos de incremento nulo de 10 a 14 anos de monitoramento de Bandas dendrométricas

Na resolução das bandas dendrométricas (0,01 mm) os anos consecutivos de incremento nulo no DAP ficaram mais evidentes. Nas três famílias Lecythidaceae, Burseraceae e Myristicaceae há indivíduos com elevados anos monitorados de  $ICA \leq 0$  (Figura 41). Com bandas dendrométricas 59,74% dos indivíduos (77 indivíduos) entre 10 e 14 anos com medições mensais obtiveram no mínimo um ano com  $ICA \leq 0$ . Para os indivíduos que apresentaram  $ICA \leq 0$  a porcentagem de anos com incremento nulo dentro do período monitorado variou de 7,14 a 75% do tempo, com média de 20,5% do tempo monitorado (Figura 42). Percebe-se que ao aumentar a precisão da medição do incremento (0,01 mm), o número de

anos com  $ICA \leq 0$  diminuiu. Vale ressaltar que os 10 à 14 anos de monitoramento de bandas dendrométricas é aproximadamente a metade do período monitorado no Bionte (23 anos). Os anos de  $ICA \leq 0$  ocorrem irregularmente entre e dentro dos indivíduos. Há indivíduos com um ano de  $ICA \leq 0$  entre dois anos de incremento positivo. Há indivíduos com 2 a 4 anos consecutivos de  $ICA \leq 0$ , um incremento positivo e mais anos com incremento nulo.

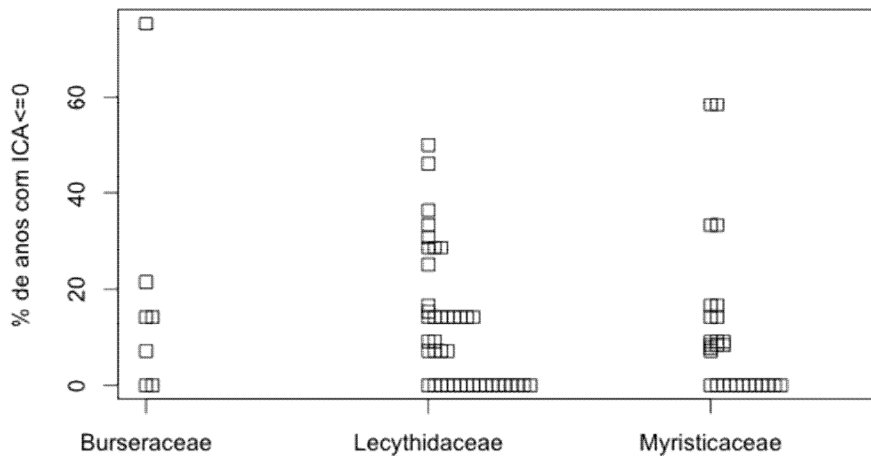


Figura 41: % de anos que cada indivíduo apresentou  $ICA \leq 0$  em um monitoramento de 10 a 14 anos de medição mensal de bandas dendrométricas das famílias Burseraceae, Lecythidaceae e Myristicaceae.

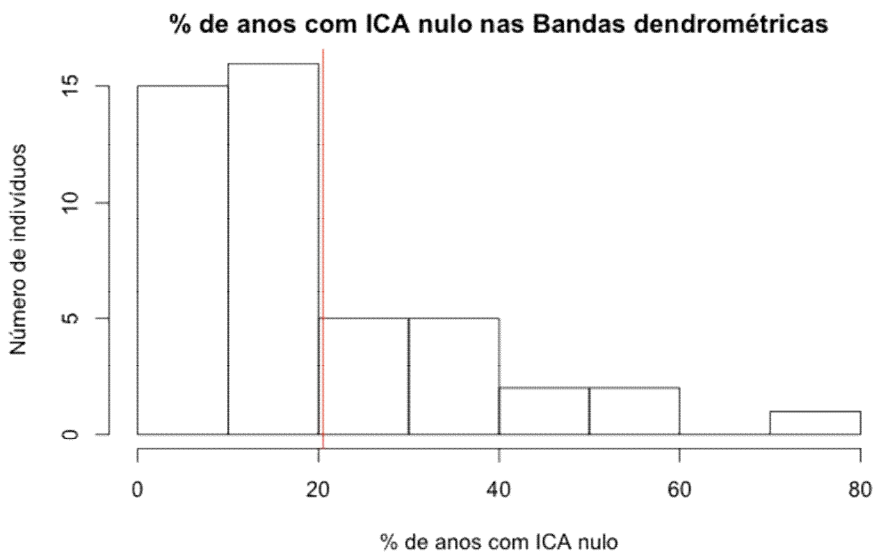


Figura 42: Histograma da distribuição da porcentagem de tempo registrado de  $ICA$  nulo em cada indivíduo das parcelas testemunha do Bionte das selecionadas espécies.

Com os dados das bandas dendrométricas foi observado um padrão no comportamento do  $ICA \leq 0$  ao longo do tempo relacionado com a variação ambiental. Ao avaliar a porcentagem de indivíduos das três famílias com  $ICA \leq 0$  por ano monitorado, percebe-se um comportamento cíclico que está fortemente correlacionado com o número de dias sem chuva por ano ( $r=0,85$  e  $p=0,0004$ ). Anos que ocorreram muitos dias sem chuva (chuvas mal distribuídas) ocasionaram uma estagnação do crescimento diamétrico na altura do dap das árvores estudadas (Figura 43). A linha vermelha da Figura 43 é a % de indivíduos com  $ICA \leq 0$  para a população de 300 árvores monitoradas com bandas dendrométricas, utilizada neste contexto como uma linha de base dessa informação. Longos períodos secos no ano podem proporcionar ausência de anéis de crescimento nas árvores em Manaus. Porém, apenas a intensidade do período seco não explica os longos períodos de anos consecutivos de incremento nulo. Estes longos períodos podem estar relacionados a danos maiores, que exigem mais tempo da árvore para se recompor até realizar um significativo incremento diamétrico no DAP, ou períodos de elevada restrição luminosa na copa, intensa competição por luz.

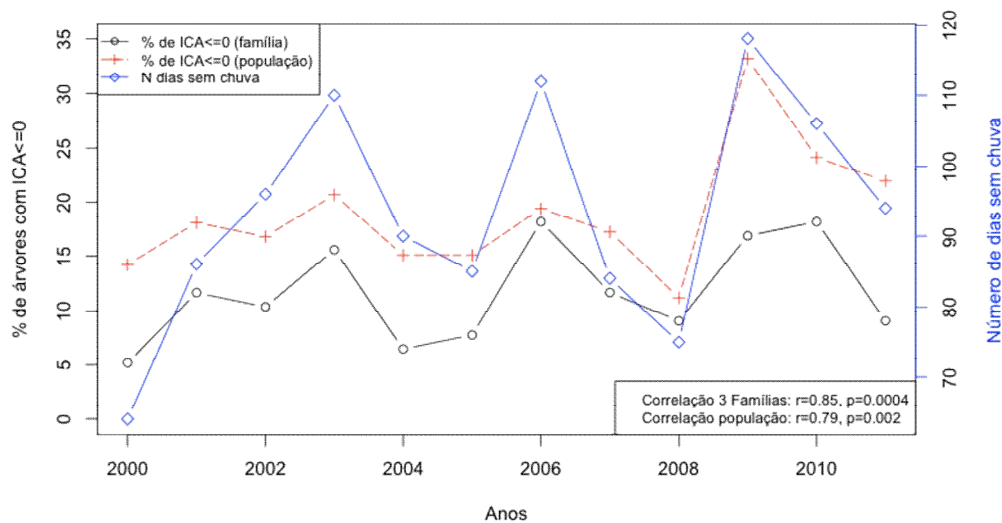


Figura 43: Gráfico representando a % de indivíduos que apresentaram  $ICA_{dap} \leq 0$  por ano monitorado para os 50 indivíduos das famílias Burseraceae, Lecythidaceae e Myristicaceae.

### 5.3 Incremento Periódico Anual do matamatá amarelo no Amazonas

O incremento periódico anual ponderado médio (IPAp<sub>m</sub>), estimado pelo método  $^{14}C$ , do matamatá amarelo no Amazonas foi de  $2,04 \pm 0,53$  mm/ano com a mínima de 1,51 e máxima de 2,57 mm/ano. A taxa de

crescimento do matamatá amarelo variou significativamente entre sítios ( $p=0,0005$ ) (Figura 44).

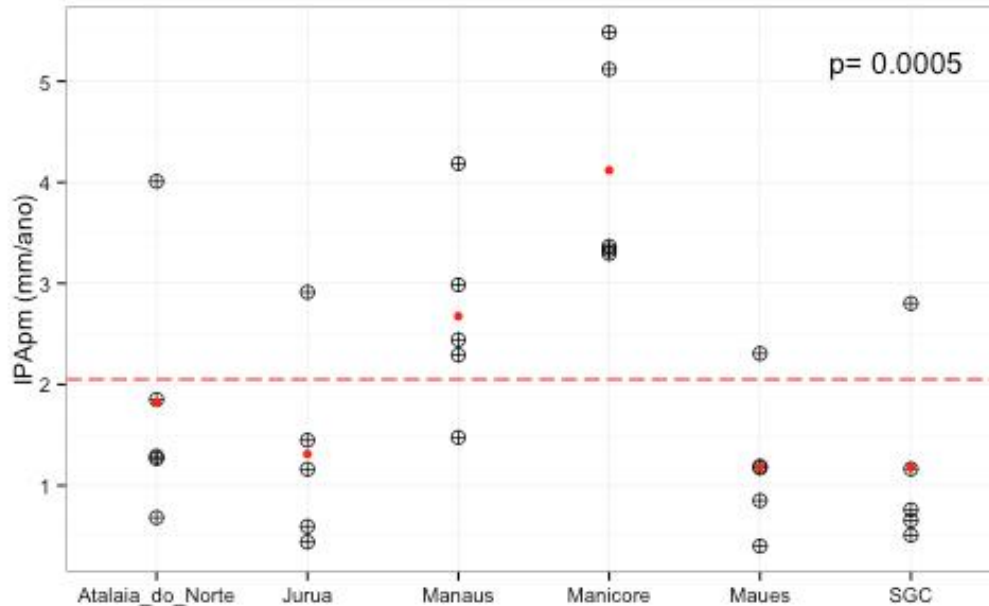


Figura 44: Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPApM) determinado por datação de  $^{14}\text{C}$  em 30 indivíduos de matamatá amarelo de 6 localidades do Amazonas. A linha pontilhada em vermelho indica a média do IPApM para o Amazonas.

Entre os sítios estudados, Manicoré se diferenciou de Atalaia do Norte ( $p=0,017$ ), Juruá ( $p=0,02$ ), Maués ( $p=0,001$ ) e São Gabriel da Cachoeira ( $p=0,001$ ). Apenas Manaus não apresentou diferença significativa de Manicoré. Manicoré possui uma classificação climática distinta dos demais, classificada segundo Koppen de Am- Tropical monsonico (Alvares *et al.* 2013). Manicoré é o único sítio estudado que atinge meses com precipitação abaixo de 60mm (Alvares *et al.* 2013). As demais localidades não apresentaram evidências significativas que pudesse distinguir o incremento entre esses sítios.

### 5.3.1 Relação do IPA e as propriedades dos solos

A % de areia no solo pode ser considerada um fator limitante no crescimento desta espécie. Quando a porcentagem de areia se aproximou de 60% nenhuma árvore atingiu ou ultrapassou o incremento médio detectado para a espécie no estado (Figura 45).

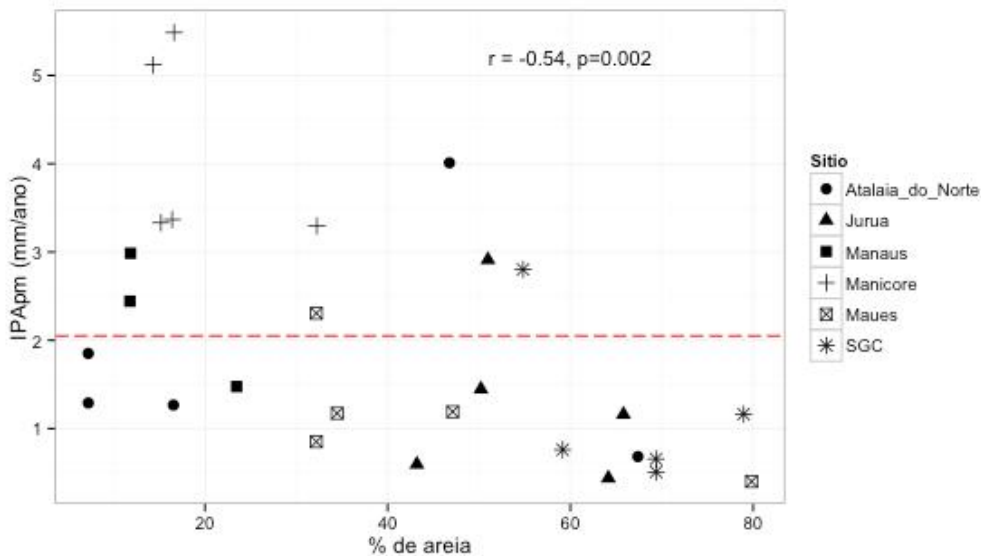


Figura 45: Gráfico que expressa a relação entre o IPApM e a % de areia para cada indivíduo de matamatá amarelo estudado no Amazonas.

No entanto, pode-se considerar que a influência da % de areia no incremento está intimamente relacionada com o sítio. A média do IPApM e a média da % de areia para cada sítio apresentaram uma estreita e negativa relação ( $r = -0,74$  e  $p = 0,05$ ) (Figura 46). A relação entre essas variáveis obteve um maior coeficiente de correlação com a média dos sítios.

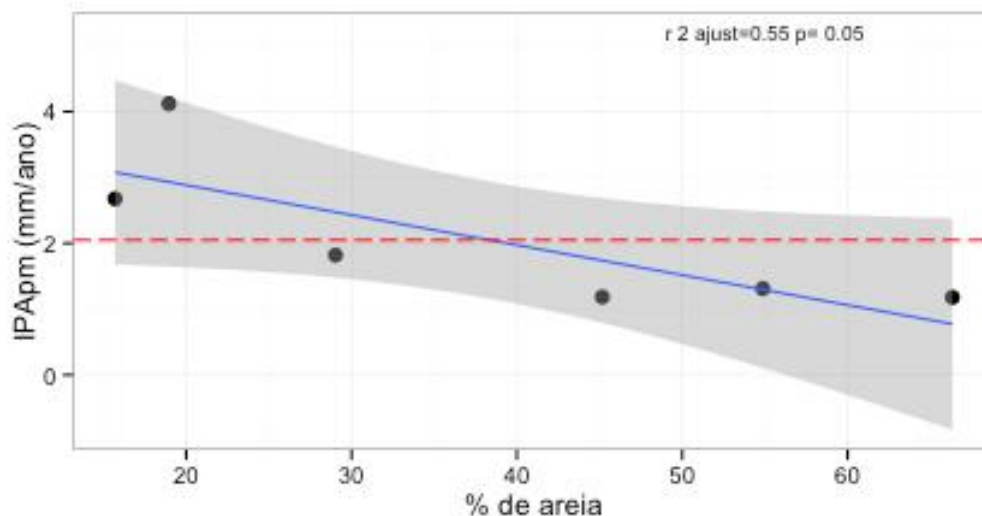


Figura 46: Relação entre a média do IPApM e a média da % de areia para cada sítio estudado.

Outra característica que apresentou relação com o IPApM foi a [ ] de Mg no solo. A relação entre a concentração de Mg no solo e o IPApM é moderadamente forte ( $p = 0,04$ ) (Figura 47). Os sítios com as menores taxas

de crescimento foram São Gabriel da Cachoeira e Maués. Esses municípios apresentaram baixa concentração de Mg ( $< 0.1 \text{ mmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ ) no solo (Figura 48). A baixa concentração de nutrientes nesses dois sítios, aqui representada pela [ ] de Mg, pode estar relacionada com o material de origem do solo (Quesada *et al.* 2011). Os solos antigos oriundos dos escudos brasileiro (Maués) e guianense (São Gabriel da Cachoeira) podem explicar esse comportamento na taxa de crescimento já que diferença de precipitação média anual entre os sítios é mais de 1.200mm. Em Maués chove em média 2.475 mm/ano e São Gabriel da Cachoeira 3.621 mm/ano (Alvares *et al.* 2013) e não há diferença significativa no incremento das árvores entre esses sítios.

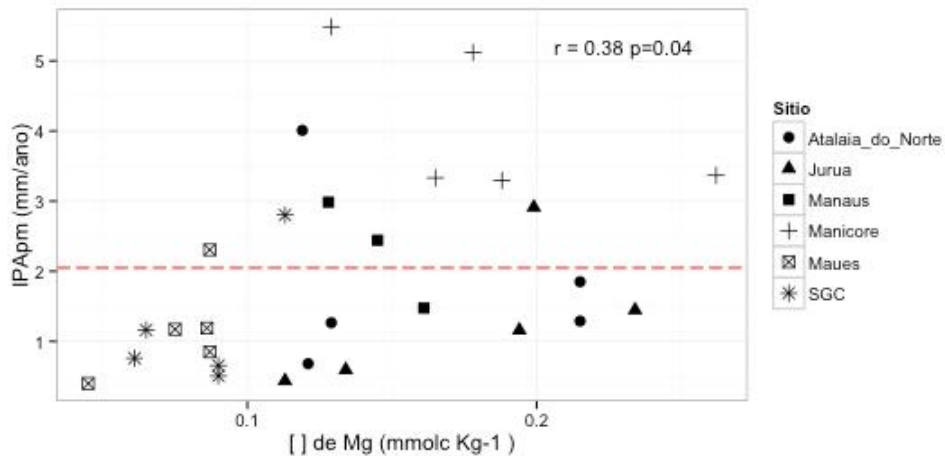


Figura 47: Relação entre IPAprm (mm/ano) e concentração de Mg no solo (mmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>).

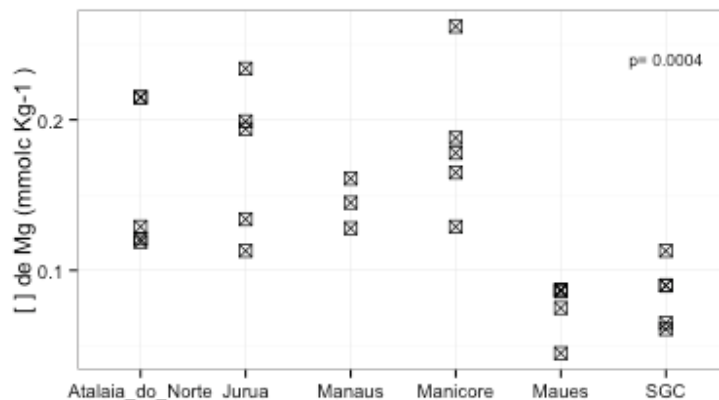


Figura 48: Comportamento da concentração de Mg no solo entre os 6 sítios.



A % de silte no solo também apresentou relação positiva e significativa com o incremento ( $r=0,53$  e  $p=0,008$ ). Árvores que cresceram sobre solos com maior % de silte apresentaram maior incremento (Figura 49). A elevada porcentagem de silte no solo indica um solo pouco intemperizado e recente, possivelmente com mais nutrientes. No entanto, a elevada correlação entre o IPAp<sub>m</sub> e a % de silte pode ser influência do sítio de Manicoré que possui os maiores valores nas duas variáveis (IPAp<sub>m</sub> e silte). Ao correlacionar o IPAp<sub>m</sub> e % de silte, o coeficiente de correlação e o R<sup>2</sup> ajustado da regressão linear mostraram apenas um sinal fraco ( $p = 0,11$ ) da existência da relação positiva entre o incremento e a % de silte (Figura 50). Nos sítios Juruá e Atalaia do Norte que também possuem elevadas concentração de silte, comparados com os demais sítios, apresentaram um IPAp<sub>m</sub> abaixo da média do estado. A correlação observada individualmente de silte e incremento por sítio pode apontar uma autocorrelação espacial.

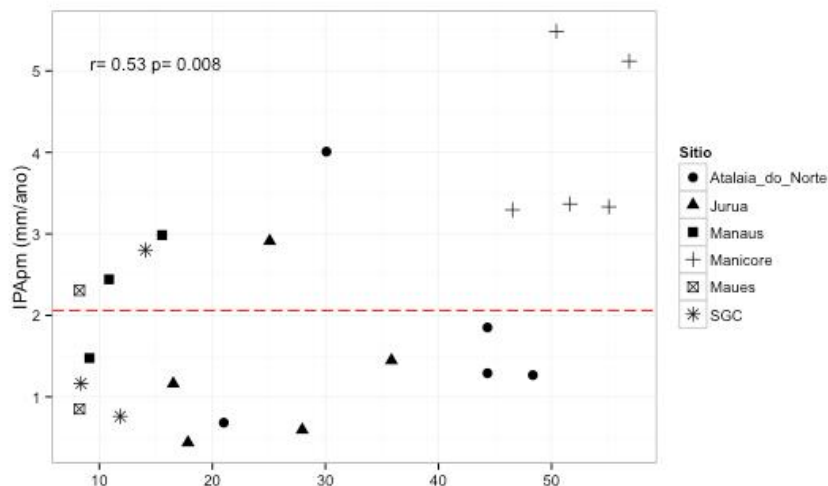


Figura 49: Correlação entre Incremento Periódico Anual ponderado Médio com a % de Silte no solo por árvore. A linha pontilhada em vermelho representa o IPAp<sub>m</sub> do Amazonas para a morfoespécie matamatá amarelo.

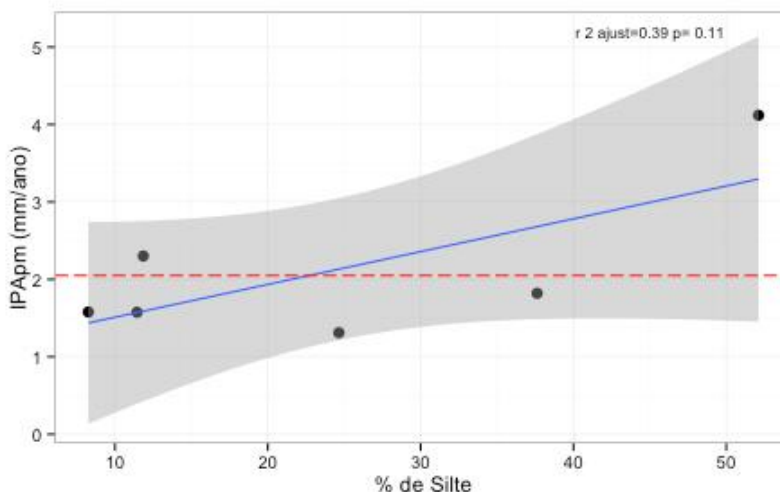


Figura 50: Correlação entre a média do Incremento Periódico Anual ponderado médio e a média da % de Silte por sítio. Os valores apresentados são o R2 ajustado e a probabilidade da regressão linear.

A baixa intemperização nos solos siltosos pode estar relacionada com uma influência da flutuação das águas em solos mal drenados. A % de silte acima de 25% foi encontrada nos sítios de Manicoré, próximo ao rio Madeira, em Atalaia do Norte próximo ao Solimões e em Juruá, próximo ao rio Juruá. Esses solos são sedimentares de origem andina com idade geológica mais recente do que os solos de origem dos escudos guianense e brasileiro (Quesada *et al.* 2011). A idade máxima geológica descrita por Schobbenhaus e Bellizzia (2001) apud Quesada *et al.* (2011) para a região central da bacia varia de menos de 1,8 milhões de anos para as áreas que beiram os grandes rios, 1.5 à 50 milhões nas áreas de interflúvio e de 2.000 a 2.500 milhões de anos para áreas próximas dos escudos guianenses e brasileiro.

### 5.3.2 Relação do IPA e as variáveis morfométricas

Não houve correlação significativa do IPApM com as variáveis morfométricas como altura comercial, altura total e dap das árvores amostradas (Tabela 7). Também não houve correlação com as variáveis que buscaram avaliar índice de competição no sítio como área basal da parcela, diâmetro de copa, altura da copa, fator de forma comercial e razão altura:diâmetro (Tabela 7).

Tabela 7: Resultado da Correlação de Pearson e a probabilidade entre: IPApm (incemento Periódico Anual ponderado médio), quantidade de C armazenado em média por área basal por ano (gC/cm2\*ano) e densidade da madeira na base da árvore (Db) e as variáveis morfométricas e propriedades dos solos analisadas.

	IPApm		gC/cm2*ano		Db	
	r	p	r	p	r	p
Dens_basica	<b>-0.65</b>	<b>0.00016</b>	<b>-0.58</b>	<b>0.0009</b>	1	1
pH	<b>-0.38</b>	<b>0.04</b>	<b>-0.4</b>	<b>0.03</b>	0.13	0.48
areia	<b>-0.54</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.59</b>	<b>0.0009</b>	0.09	0.64
argila	0.02	0.89	0.1	0.6	<b>0.54</b>	<b>0.002</b>
Silte	0.62	0.0003	0.59	0.0007	-0.63	0.0002
Ca	-0.17	0.38	-0.16	0.4	0.1	0.59
Mg	<b>0.38</b>	<b>0.04</b>	<b>0.37</b>	<b>0.05</b>	<b>-0.46</b>	<b>0.01</b>
K	0.11	0.58	0.11	0.56	-0.2	0.3
Na	-0.22	0.25	-0.18	0.34	<b>0.4</b>	<b>0.03</b>
SB	0.04	0.82	0.059	0.76	-0.09	0.64
Ab	-0.03	0.87	-0.04	0.84	-0.07	0.72
Hc	-0.06	0.76	-0.04	0.81	0.18	0.37
Ht	-0.06	0.76	-0.03	0.86	0.15	0.44
dap	0.13	0.48	-0.05	0.77	-0.27	0.16
vol_rig	0.04	0.82	0.06	0.76	-0.044	0.8
fator_forma	0.27	0.81	-0.05	0.79	-0.11	0.59
diam_copa	0.28	0.2	0.28	0.19	-0.28	0.2
H/dap	-0.12	0.54	-0.07	0.71	<b>0.58</b>	<b>0.001</b>

A densidade básica do matamatá amarelo no Amazonas foi de  $0,80 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  variando de  $0,77$  a  $0,82 \text{ g/cm}^3$  em um intervalo de confiança de 95%. A densidade básica variou fortemente entre sítios ( $p=0,000018$ ) conforme expresso na Figura 51. A densidade da madeira apresentou correlação negativa e muito significativa ( $r= -0,65$   $p= 0,00016$ ) em relação ao IPApm (Figura 52).

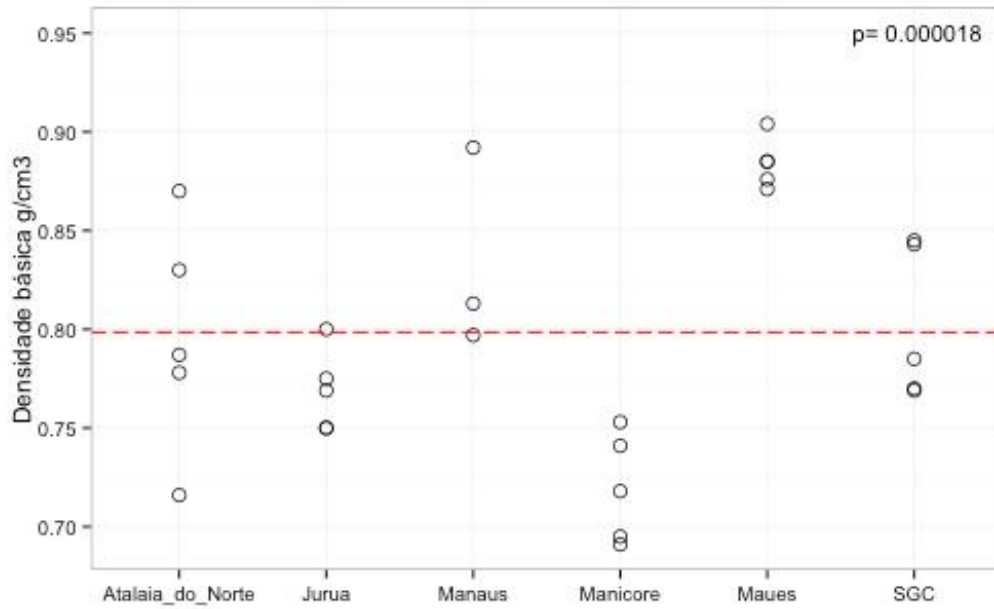


Figura 51: Densidade básica da madeira em g/cm<sup>3</sup> de 28 indivíduos de Matamatá amarelo em 6 sítios do Amazonas. A linha pontilhada em vermelho indica a densidade básica média para o estado.

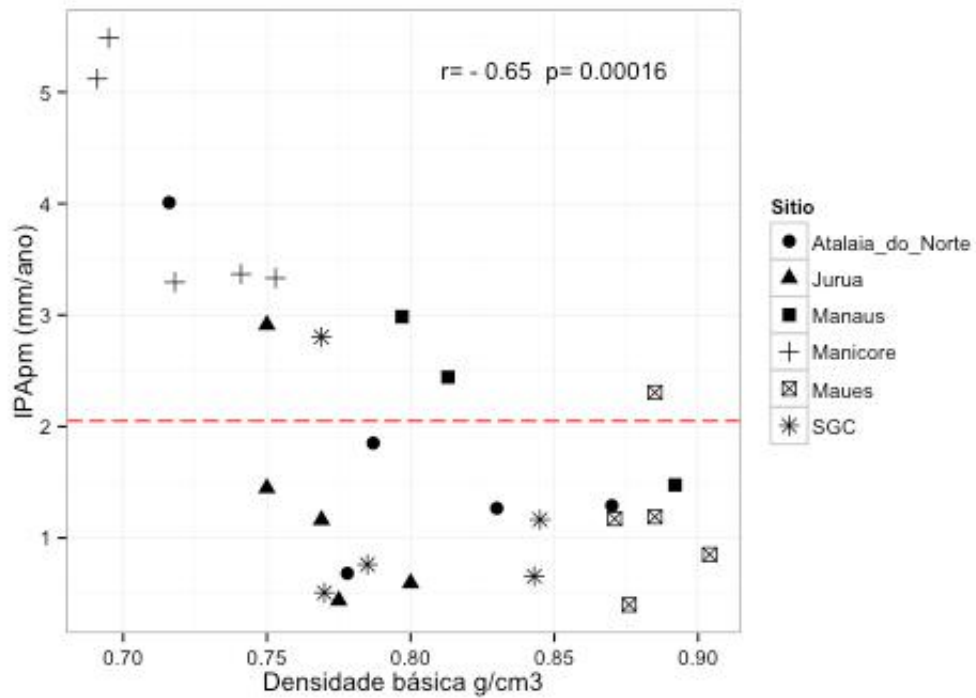


Figura 52: Relação entre IPApM e densidade básica da madeira. O valor apresentado é da Correlação de Pearson com a probabilidade. A linha vermelha pontilhada indica o IPApM do matamatá amarelo no Amazonas.

A densidade da madeira apresentou correlação positiva e altamente significativa ( $r=0,58$  e  $p= 0,001$ ) com a razão altura:diâmetro (Figura 53). Esta correlação fortalece a hipótese de que árvores sob sombreamento (van Gelder *et al.* 2006) ou com elevada competição possuem maior densidade da madeira do que árvores que recebem maior intensidade luminosa. Quanto maior a razão altura:diâmetro maior o índice de competição por luz do povoamento (Cremer *et al.* 1982). A razão altura:diâmetro se distinguiu significativamente entre os sítios ( $p=0,03$ ). No Amazonas, os indivíduos de matamatá amarelo oriundos de Maués se distinguiram significativamente por meio da razão altura:diametro dos indivíduos do Juruá ( $p=0,01$ ), onde em Maués as árvores foram mais altas e menos grossas e, no Juruá, as árvores foram mais grossas do que altas. No entanto a falta de correlação entre a razão altura:diâmetro com o IPApm indica que a relação entre essas variáveis não é linear. No entanto, há uma faixa de razão altura:diâmetro que proporcionou um maior crescimento diamétrico. Ou seja, a árvore com taxa de crescimento acima da média do estado possuem valores da razão h:d próximo a 0,8 (Figura 54).

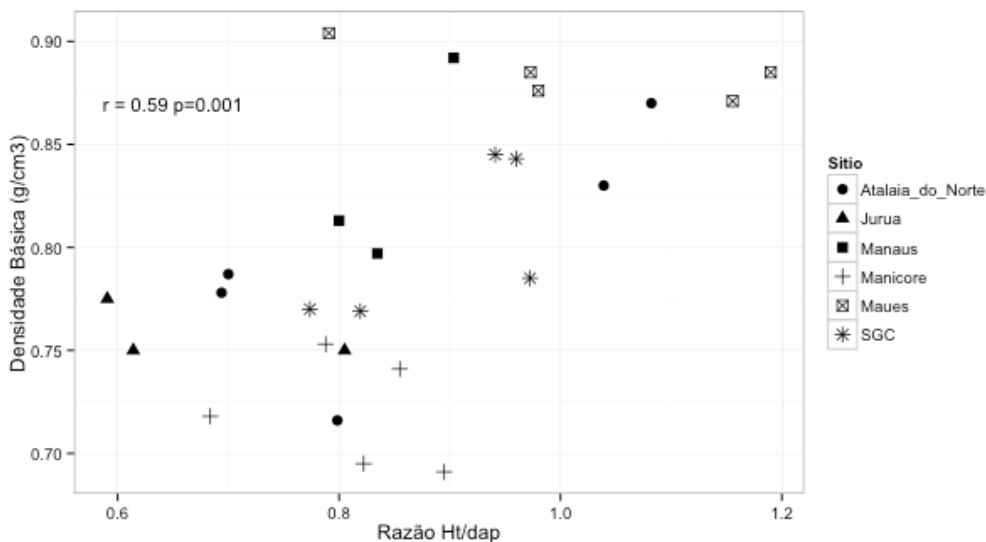


Figura 53: Correlação entre a Densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>) e a razão Altura: diâmetro (Ht/DAP). Os valores indicam a correlação e a probabilidade do teste de Pearson.

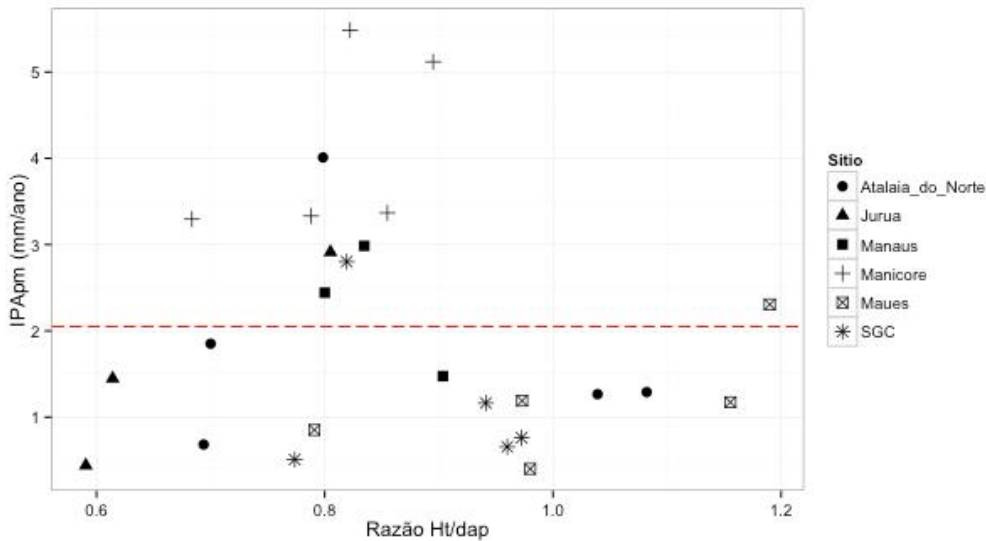


Figura 54: Relação entre o Incremento Periódico Anual ponderado médio (IPAPM mm/ano) e a razão altura:diâmetro (Ht/dap)

A correlação negativa entre a taxa de crescimento com a densidade da madeira e a variação das duas variáveis entre os sítios levanta a questão se a quantidade de carbono armazenado nas árvores de matamatá amarelo variou entre os sítios. Deste modo foi determinada a quantidade de carbono armazenado na área basal por ano em cada árvore ( $\text{gC}/\text{cm}^2 \cdot \text{área basal} \cdot \text{ano}$ ). Uma árvore de matamatá amarelo no Amazonas armazena em média  $0,07 \pm 0,019 \text{ gC}/\text{cm}^2 \cdot \text{área basal} \cdot \text{ano}$  com mínima de 0,056 e máxima de 0,094  $\text{gC}/\text{cm}^2 \cdot \text{área basal} \cdot \text{ano}$ . Foi possível observar diferença significativa na quantidade de carbono armazenado na área basal entre os sítios ( $p=0,004$ ). Porém o comportamento entre os sítios é similar ao observado na taxa de crescimento (IPAPm), onde apenas Manicoré se distinguiu das demais localidades. No entanto, a diferença na densidade da madeira entre os indivíduos não foi suficiente para compensar a diferença no incremento. Mesmo com a diferença na densidade básica da madeira, os lugares que estão crescendo mais rápido ainda armazenam mais carbono em área basal.

### 5.3.3 Variação do IPA e densidade da madeira entre as espécies de matamatá amarelo

Foi encontrado dificuldade em coletar indivíduos de matamatá amarelo com o mesmo nome científico. Dos 30 indivíduos coletados 16 indivíduos foram de *Eschweilera coriacea*, 8 indivíduos de *E. truncata*, um indivíduo de

*E. grandiflora* e 5 do gênero *Eschweilera* sem reconhecer a espécie. Para reconhecer se a espécie científica influenciou nas informações encontradas fizemos uma análise de variância entre os indivíduos de *E. truncata* e *E. coriacea*. Não houve diferença significativa entre as espécies ao avaliar o IPAp<sub>m</sub> ( $p = 0,21$ ) e a quantidade de carbono armazenada em gC/cm<sup>2</sup> ( $p = 0,35$ ). No entanto, foi observado diferença significativa ( $p = 0,005$ ) da densidade da madeira entre as espécies. A maior parte dos indivíduos de *E. truncata* apresentou densidade maior do que 0,8. Desses indivíduos, 4 são oriundos de Maués. Porém um indivíduo de *E. truncata* oriundo de Manaus apresentou elevada densidade e os indivíduos de *E. truncata* oriundos de São Gabriel da Cachoeira e Manicoré apresentaram baixa densidade. Não é possível afirmar que a elevada densidade de Maués está relacionada com o elevado número de indivíduos de *E. truncata* coletados no local ou com o elevado índice de competição do local por luz e nutrientes.

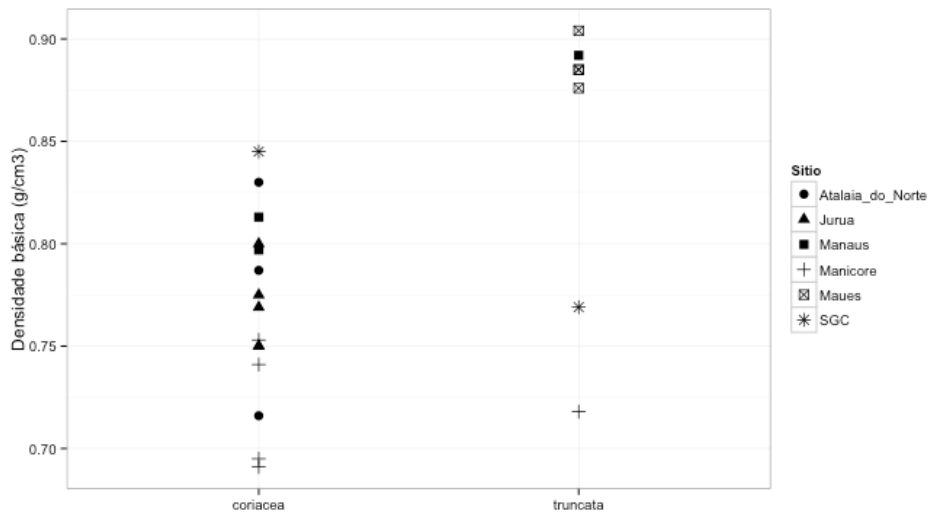


Figure 55: Comportamento da densidade da madeira entre as espécies de matamatá amarelo (*Eschweilera spp.*).

## 6 Discussão

### 6.1 Variação temporal do crescimento diamétrico

As árvores retilíneas que ocorrem na floresta densa de grandes copas (Brasil 1978) com dossel fechado (Chambers *et al.* 2013) que estão sob um clima de elevada pluviosidade sem estação seca (Af) (Alvares *et al.* 2013) apresentaram um comportamento do crescimento diamétrico irregular. A fraca sazonalidade intraanual geram incertezas na anualidade de anéis de crescimento em florestas tropicais (Whitman 1989, Ohashi *et al.* 2015). Worbes (1995) aponta que é necessário 3 meses de chuva abaixo de 60mm para que ocorra a dormência cambial capaz de marcar um anel de crescimento. Em Manaus a média histórica nos meses mais secos não baixa de 100 mm (Alvares *et al.* 2013). A sazonalidade da razão isotópica da água da chuva na região de Manaus e o comportamento intraanual do crescimento diamétrico das árvores (Silva *et al.* 2002) fizeram com que Ohashi *et al.* (2015) acreditassem que anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  permitiriam reconhecer a variação temporal na madeira. No entanto, ao datar os anéis isotópicos com  $^{14}\text{C}$  foi possível reconhecer uma lacunas entre os métodos. A mesma lacuna foi encontrada ao comparar o incremento calculado com  $\delta^{18}\text{O}$  com as parcelas permanentes. As lacunas entre os métodos sugeriram irregularidades no crescimento, pois os anéis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  partem do pressuposto que as árvores crescem continuamente. A taxa de crescimento pode variar de um ano para o outro, mas o crescimento precisa ser contínuo ao longo do tempo.

Do presente trabalho é possível sugerir que a discrepância entre os métodos ocorreu devido ao comportamento irregular no incremento corrente anual (ICA) das árvores na região. Ao reconhecer por meio da análise de variância que o incremento periódico anual (IPA) determinado por datação de  $^{14}\text{C}$  não se distingue do IPA observado com parcelas permanentes confirma-se a eficiência da datação de  $^{14}\text{C}$  para comprovar anualidade dos anéis e determinar taxa de crescimento. A diferença significativa entre o IPA determinado com os anéis isotópicos e o IPA das parcelas permanentes



corroborar que os anéis isotópicos não captaram toda a variação temporal ao superestimar o incremento das árvores. A elevada ocorrência de ICA nulo (crescimento zero) nessas espécies na região de Manaus explica parcialmente a razão da baixa efetividade dos anéis isotópicos para estimar a passagem do tempo no tronco.

O ICA nulo é um fato observado em parcelas permanentes que muitas vezes é ignorado nas análises de dinâmica florestal. No entanto, observamos elevada ocorrência de incremento nulo nas árvores na região de Manaus. As parcelas permanentes com resolução de medição de 0,1cm apresentou um maior número de árvores com ICA nulo que pode estar relacionado a anos de baixo incremento imperceptível neste nível de precisão. Porém, com bandas dendrométricas (resolução de 0,01 mm), 60% dos indivíduos apresentaram em algum ano incremento nulo, como também apresentaram dois e quatro anos de incremento nulo consecutivos. O comportamento do ICA nulo observado nas árvores monitoradas com bandas dendrométricas explica as discrepâncias entre os anéis isotópicos e o  $^{14}\text{C}$  observados por Ohashi *et al.* (2015). Foi observado nas bandas dendrométricas dois tipos de comportamento de incremento nulo: i. um ano de ICA nulo entre incrementos positivos; ii. anos consecutivos de incremento nulo. Estes dois comportamentos podem justificar a discrepância entre os anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  e a datação por  $^{14}\text{C}$  nas árvores de Ohashi *et al.* (2015).

A ausência de produção de xilema é encontrada em estudos de árvores suprimidas que reportam elevados anos de anéis ausentes em determinadas partes do tronco. Bormann (1965) descreve longos anos sem produção do xilema em partes do tronco de árvores suprimidas com perfeito funcionamento do floema. As árvores suprimidas possuem um aumento de anéis ausentes quanto mais próximo da base do tronco. Isso indica que devido uma limitação de recursos como a luz, a árvore distribui os recursos para sobrevivência e estabilidade de algumas partes, não ocorrendo incremento ao longo do tronco. Bormann 1965 em árvores suprimidas no Canadá reportaram 11 a 12 anos de anéis ausentes e Tuberville e Hough (1939) e Parent *et al.* (2002) chegaram a registrar 28 anos de anéis ausentes. Bormann 1965 destaca que em situação de supressão, o crescimento diamétrico é mais afetado que o crescimento em altura. Na floresta densa da

Amazônia esperávamos um comportamento similar ao de árvores suprimidas em árvores de jovens que permanecem muitos anos esperando a oportunidade de chegar ao dossel e não em árvores adultas. Porém não temos informações sobre o nível de competição no dossel, nem de quantos recursos são necessários para sobrevivência e quantos são necessários para incrementar em DAP. Swaine *et al.* (1987) relacionaram os incrementos zeros ou negativos com períodos de senescência ou árvores suprimidas na floresta em Gana, na África. No entanto, os anos de ICA nulo intercalados com o ICA positivo demonstra que este comportamento é temporário e a árvore volta a crescer na maior parte dos casos.

Como o índice de competição não foi avaliado ao longo do tempo, nem danos mecânicos na copa, os anos de ICA nulo consecutivos não foram explicados na presente tese. Porém foi possível reconhecer um maior número de árvores com ICA nulo em anos com maior número de dias sem chuva. A distribuição das chuvas ao longo do ano foi mais importante que a quantidade de chuva do ano para explicar os incrementos nulos. Feldspautch *et al.* (2016) encontrou produção primária líquida negativa em anos de extrema seca na floresta amazônica. Nesse caso, o estresse hídrico pode causar a necessidade de uma realocação dos recursos para a sobrevivência. Em anos com muitos dias sem chuva, a árvore possivelmente investe mais em evapotranspiração da folha, produção de folhas novas e possivelmente maior dinâmica de raízes finas e defesa, não necessitando investir em incremento de área basal.

O objetivo de vida da árvore é crescer em diâmetro incessantemente? Possivelmente não. O objetivo de vida da árvore assim como de todos os seres vivos é viver saudável, se reproduzir e então morrer. Para cumprir esse ciclo, a árvore precisa focar primeiramente nos recursos básicos, fotossíntese e água, então produção de folhas e raízes finas (meristema primário). Assim que os recursos permitirem, a árvore investe em crescimento em altura (ainda meristema primário). Após, é necessário fortalecer os tecidos para garantir resistência com a produção de xilema (crescimento secundário) e fortalecimento desses tecidos (investimento em lignina, resinas e demais compostos químicos de defesa). Ainda tem períodos que irá investir na reprodução. As espécies que investem em estabilidade (lignina na madeira)

têm maior taxa de sobrevivência em ambientes de baixo recurso (van Gelder *et al.* 2006). Precisamos observar que o incremento em diâmetro à altura do peito (DAP) nos fala do excedente de recursos captado pela árvore. Mais uma vez é possível compreender porque nas florestas amazônicas não há forte correlação entre tamanho da árvore (DAP) e idade (Vieira 2003 e Selhort 2005). O incremento diamétrico está relacionado com a estabilidade basal da árvore para então investir mais em altura e diâmetro de copa. Malhi *et al.* (2015) aponta que o padrão espacial da biomassa está mais relacionado com o tempo de residência da árvore do que com a taxa de crescimento diamétrico. Precisamos ficar atentos para o que o incremento diamétrico realmente informa.

## 6.2 Incremento Periódico Anual do matamatá amarelo no Amazonas

Diversos fatores ambientais foram responsáveis pelo comportamento do incremento do matamatá amarelo no Amazonas. Dentre eles destaca-se tipo climático e material de origem do solo. O IPAp do matamatá amarelo (2,04 mm/ano) no Amazonas apresentou um incremento acima da média do incremento populacional da floresta na região de Manaus (1,64mm/ano Silva *et al.* 2002). Manicoré, no sul do Amazonas possui árvores de matamatá com incremento o dobro da média do estado (2,04mm/ano). Manicoré é o único sítio com forte sazonalidade na estação seca e uma diferente classificação climática (clima Am – Tropical monsonico) segundo Alvares *et al.* 2013. Novamente, na região norte do estado, locais com sazonalidade mais marcada apresentaram maiores taxas de incremento. O mesmo ocorreu com Vieira *et al.* 2005 ao comparar o incremento de Manaus (sem estação seca marcada) com Santarém e Rio Branco (forte sazonalidade). Fatores como aumento da luminosidade no interior da floresta devido uma maior queda de folhas no período seco podem ser responsáveis por esse incremento elevado das espécies. Outros fatores que a sazonalidade pode influenciar é no intemperismo do solo e na velocidade da ciclagem de nutrientes. Em locais sem estação seca ao longo do ano a lixiviação dos nutrientes do solo possivelmente é maior e a ciclagem de nutrientes da matéria orgânica é menor pois elevada umidade retarda o processo de decomposição.

As propriedades dos solos apresentaram relação com o IPApm do matamatá amarelo. Manicoré se destacou pela elevada presença de silte no solo, que indica um solo jovem (Quesada *et al.* 2011). Porém essa elevada concentração de silte em Manicoré pode nos indicar que este solo passa por períodos de alagamento. No entanto, as amostras de Manicoré podem ter influência de áreas de várzea do rio Madeira. Atalaia do Norte e Juruá também apresentaram elevada concentração de silte, característica de solos sedimentares de origem andina. A baixa concentração de magnésio no solo dos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Maués indicam a baixa fertilidade do solo destes locais, que causou o menor incremento do matamatá amarelo no estado. Esses dois sítios localizam-se próximos dos escudos guianense e brasileiro, o que sugere um material de origem do solo muito mais antigo que os demais sítios estudados. A concentração de areia variou muito no estado, onde visivelmente, os indivíduos do matamatá amarelo sob solos com mais de 60% de areia apresentaram limitação no crescimento diamétrico.

O gradiente de maior produção de biomassa no sentido leste para oeste observado por Malhi *et al.* 2004 e Quesada *et al.* 2012 não foi observado dentro do Amazonas nas árvores de matamatá amarelo. Esperava-se ao menos um resquício desse comportamento nas árvores das calhas do Alto Solimões (Atalaia do Norte) e decaindo no médio Solimões (Juruá) até o baixo Solimões (Manicoré). A variação descrita por Quesada *et al.* 2011 e Malhi *et al.* 2004 ocorre em regiões do Peru muito mais próximas dos Andes e essa variação não ocorre como um gradiente dentro da Amazônia brasileira para a morfoespécie matamatá amarelo.

A densidade da madeira obteve uma grande variação entre os sítios e uma correlação negativa com o IPApm. Já era esperado que árvores que crescem mais devagar apresentassem maior densidade básica da madeira (van Gelder *et al.* 2006). A árvore ao invés de produzir novos tecidos está fortalecendo a estrutura do tronco. A correlação positiva entre densidade básica e razão altura:diâmetro foi o único fator que mostrou influência da competição entre as árvores. As árvores de maior incremento possuíram uma razão altura:diâmetro próximo de 0,8. As únicas árvores que obtiveram esse

grau de esbeltez e apresentaram baixo incremento estão sob solos com baixos nutrientes de São Gabriel da Cachoeira e Maués.

Mesmo com a elevada variação da densidade da madeira e a relação entre o IPApm e a densidade, a quantidade de carbono armazenada pelas árvores manteve um comportamento similar ao IPApm. A elevada densidade da madeira está relacionada com a resiliência da árvore no local e está diretamente relacionada com a biomassa da árvore. Malhi *et al.* 2015 descreve a importância da resiliência da árvore para a quantificação da biomassa, possivelmente é maior que a taxa de incremento. No entanto, para os indivíduos testados na presente tese, o IPApm de Manicoré foi tão superior aos demais que a diferença na densidade da madeira não foi suficiente para igualar a quantidade de carbono armazenada no estado.

Destaca-se como avanço tecnológico da presente tese a comprovação do uso da datação de  $^{14}\text{C}$  para determinar taxa de crescimento com elevada confiabilidade. Vieira *et al.* 2004 e 2005 demonstraram a eficiência do método para apenas 2 anos de parcelas permanentes, agora o método se mostra eficiente para parcelas com mais de 23 anos de monitoramento. Outro ponto a acrescentar neste método com a tese foi o Incremento Periódico Anual Ponderado, que permite reconhecer a variação ao longo do tempo da taxa de crescimento em um passado recente. O carbono  $^{14}\text{C}$  armazenado na celulose da madeira mantém-se intacto sem trocas com o ambiente, permitindo elevada precisão na datação em amostras muito pequenas quando utilizado o método AMS (acelerador de partículas). A idade da amostra que utiliza os anos recentes, desde 1964 até os dias atuais, apresenta uma precisão elevada, com incerteza de um ou dois anos. A dificuldade da datação de  $^{14}\text{C}$  ainda se encontra na lacuna entre 1650 e 1950, onde a incerteza é maior (Trumbore *et al.* 2016b). No entanto, para determinar taxa de crescimento e estimar ciclo de corte no manejo florestal, a datação desde 1964 até o presente (aproximadamente 52 anos) é suficiente. Os tomadores de decisão do manejo florestal podem ser beneficiados com essa técnica de elevada precisão em locais sem informação do incremento.

## 7 Síntese dos resultados

- A datação com  $^{14}\text{C}$  é uma excelente ferramenta para estimar incremento similar ao de parcelas permanentes. Esta ferramenta pode ser aplicada para estudos de viabilidade econômica no manejo florestal para estimar crescimento diamétrico em locais sem monitoramento.
- Os anéis isotópicos de  $^{18}\text{O}$  por mais que expressem a resposta da água da chuva superestimam o incremento das espécies. Na presente tese sugere-se que a frequência de anéis ausentes ao longo do tempo pode ser a causa da não anualidade dos anéis isotópicos.
- Anéis ausentes possivelmente ocorrem nos anos de incremento nulo nas árvores próximo a Manaus. Aproximadamente 10% das árvores estudadas apresentam incremento nulo por ano. O incremento nulo pode ser uma resposta à fatores ambientais (Dias sem chuva em um ano ( $r=0,85$  e  $p=0,0004$ )), mas também ocorrem 2 anos ou mais consecutivos de incremento nulo na mesma árvore. Outros fatores além da variação temporal podem estar relacionados com esse comportamento diamétrico, como competição por luz.
- O matamatá amarelo cresce em média no Amazonas 2,04mm/ano IC. Em 30 anos o matamatá incrementa 6 cm, permitindo um manejo com diâmetro mínimo de corte de 45cm e as árvores que serão exploradas no segundo ciclo estariam no primeiro com 39cm de DAP.
- Foi possível observar que o matamatá amarelo é uma espécie elástica, que responde a variáveis ambientais como as características do solo. Locais com 60% de areia influenciam de forma negativa no incremento dessa espécie.
- Percebe-se grande variação entre o IPA do matamatá amarelo em Manicoré comparada com as demais localidades do Amazonas. O incremento médio em Manicoré é acima da média do estado, sugerindo que o ciclo de corte deve ser realizado de acordo com o

incremento das árvores em localidade e não como uma regra comum para todo estado.

## 8 Conclusão

Novas ferramentas isotópicas e parcelas permanentes permitem reconhecer o crescimento e incremento de árvores amazônicas. A datação de  $^{14}\text{C}$  é uma ferramenta promissora para estimar incremento de árvores em locais sem monitoramento de parcelas. A frequência de anos de incremento nulo prejudicam a interpretação de informações oriundas de ferramentas que necessitam de um crescimento diamétrico constante ao longo do tempo, como os anéis de isótopos estáveis. O matamatá amarelo é uma espécie com potencial para ser manejada. Ao ser a espécie hiperdominante na bacia amazônica o matamatá amarelo pode contribuir com a sustentabilidade do manejo florestal ao diminuir a pressão de exploração das espécies comerciais que hoje abastecem o mercado de madeira tropical.



## 9 Referências

- Alvares C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrifts*, 22: 711-728.
- Amaral, M.R.M. 2013. Dinâmica de crescimento de espécies comerciais remanescentes em áreas exploradas experimentalmente em diferentes intensidades de corte na Amazônia Central. *Dissertação de Mestrado*, Ciências de Florestas Tropicais, Manaus, 97f.
- Andreu-Hayles, L.; Santos, G.M.; Herrera-Ramírez, D.A.; Martin-Fernández, J.; Ruiz-Carrascal, D.; Boza-Espinoza, T.E.; Fuentes, A.F.; Jorgensen, P.M. 2015. Matching dendrochronological dates with the Southern hemisphere <sup>14</sup>C bomb curve to confirm annual tree rings in *Pseudolmedia rigida* from Bolivia. *Radiocarbon*. 57, 1: 1-13.
- Angelsen, A.; Brockhaus, M.; Kanninen, M.; Sills, E.; Sunderlin, W. D.; Wertz-Kanounnikoff, S. 2009. Realising REDD+: National strategy and policy options. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Antonio, I.C. 2011. Boletim agrometeorológico 2010: Estação agroclimatológica da Embrapa Amazônia Ocidental, no Km 29 da rodovia AM 010. *Documento 93, Embrapa Amazônia Ambiental*, Manaus. 28 p.
- Araujo, A.C.; Nobre, A.D.; Kruijt, B.; Elbers, J.A.; Dallarosa, R.; Stefani, P.; Von Randow, C.; Manzi, A.O.; Culf, A.D.; Gash, J.H.C.; Valentini, R.; Kabat, R. 2002. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. *Journal of Geophysical research*, 107 (58): 1-20.
- Ashton, P.S. 1981. The need for information regarding tree age and growth in tropical forests. Em: Bormann, F.H. e Berlyn, G. (Eds). *Age and growth rate of tropical trees: new directions for research*. Bulletin N.94, School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, New Haven. 137 p.
- Auchmoody, L.R. 1976. Accuracy of band dendrometers. *USDA Forest Service Research Note NE-221*. Northeastern Forest Experiment Station, Warren, Pa. USA. 4p.
- Avila, A.L.de; Ruschel, A.R.; Carvalho, J.O.P.de; Mazzei, L.; Silva, J.N. M.; Lopes, J.doC.; Araujo, M.M.; Dormann, C.; Bauhus, J. 2015. Medium-term dynamics of tree species composition in response to silvicultural intervention intensities in a tropical rain forest. *Biological Conservation*, 191: 577-586.
- Baker, T.R.; Phillips, O.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A. ;Erwin, T.; Killeen, T. J.; Laurence, S. G.; Laurence, W. F.; Lewis, S. L.; Lloyd, J.; Monteagudos, A.; Neill, A. A.; Patino, S.; Pitman, N.C.A.; Silva, J.N.M.;

Martinez, R.V. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545-562.

Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Laurence, W.F.; Pitman, N.C.A.; Almeida, S.; Arroyo, L.; DiFiore, A.; Erwin, T.; Higuchi, N.; Killen, T.J.; Laurence, S.G.; Nascimento, H.; Monteagudo, H.; Neill, D.A.; Silva, J.N.M.; Malhi, Y.; López Gonzalez, G.; Peacock, J.; Quesada, C.A.; Lewis, S.L.; Lloyd, J. 2009. Do species traits determine patterns of wood production in Amazonian forests? *Biogeosciences*, 6: 297-307.

Bergo, M.C.J.; Pastore, T.C.M.; Coradin, V.T.R.; Wiedenhoef, A.C.; Braga, J.W.B. 2016. NIRS identification of *Swietenia macrophylla* is robust across specimens from 27 countries. *IAWA Journal*, 37(2): 420-430.

Boninsegna, J.A.; Argollo J.; Aravena J.C.; Barichivich J.; Christie D.; Ferrero M.E.; Lara A.; Le Quesne C.; Luckman B.H.; Masiokas M.; Morales M.; Oliveira J.M.; Roig F.; Srur A.; Villalba R. 2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 281: 210-228.

Barbour, M. M. 2007. Stable oxygen isotope composition of plant tissue: a review. *Functional Plant Biology*, 34(2): 83-94.

Bormann F.H.; Berlyn G. 1981. Age and growth rate of tropical trees: new directions for research. Yale University: School of Forestry and Environmental Studies. Bulletin N.94. New Haven.

Bormann F.H.; Kozlowski, T.T. 1962. Measurements of tree growth with dial gage dendrometers and vernier tree ring bands. *Ecology*, 43: 289-294.

Bormann, F.H. 1965. Changes in the growth pattern of White pine trees undergoing suppression. *Ecology*, 46(3): 269- 277.

Barros, A.C.; Veríssimo, A. 2002. A expansão madeireira na Amazônia: Impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. IMAZON, Belém, 166p

Bower, D.R.; Blocker, W.W. 1966. Notes and Observations: Accuracy of bands and tape for measuring diameters increments. *Journal of Forestry*, 64(1): 21-22.

Brasil. 1965. Lei N° 4.771 de 15 de setembro de 1965. Código Florestal

Brasil. 1978. Departamento Nacional de Produção Mineral. RADAMBRASIL. Folha SA.20 Manaus; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Levantamento de Recursos Naturais, 628p.

Brasil. 2009a. Plano de Manejo da Reserva Extrativista do Baixo Juruá. Ministério do Meio Ambiente, ICMBio, 203p.

Brasil. 2009b. Inventário Florestal da Floresta Nacional do Pau Rosa. Ministério do Meio Ambiente, ICMBio, 97p.

Brasil. 2013. Plano de manejo participativo da Reserva Extrativista do lago do Capanã Grande. Ministério do Meio Ambiente, ICMBio, 293p.

Brasil, 2016. pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. República Federativa do Brasil, 10p. [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf)

Brienen, R.J.W.; Hietz, P.; Wanek, W.; Gloor, M. 2013. Oxygen isotopes in trees rings record variation in precipitation  $\delta^{18}\text{O}$  and amount effects in the South of Mexico. *Biogeosciences*, 118: 1-12.

Brienen R.T.W.; Lebrija\_trejos, E.; van Breugel, M.; Perez-Garcia, E.A.; Bongers, F.; Meave, J.A.; Martinez-Ramos, M. 2009. The potential of tree rings for the study of forest sucession in Southern Mexico. *Biotropica*, 41:186-195.

Brienen, R.J.W.; Phillips, O.L.; Feldpausch, T.R.; Gloor, E.; Baker, T.R.; Lloyd, J.; Lopez-Gonzalez, G.; MonteagudoMendoza, A.; Malhi, Y.; Lewis, S. L.; Vasquez Martinez, R.; Alexiades, M.; Alvarez Davila, E.; Alvarez-Loayza, P.; Andrade, A.; Aragao, L.E.O.C.; Araujo-Murakami, A.; Arets, E.J.M.M.; Arroyo, L.; Aymard, C.G.A.; Banki, O.S.; Baraloto, C.; Barroso, J.; Bonal, D.; Boot, R.G.A.; Camargo, J.L.C.; Castilho, C.V.; Chama, V.; Chao, K.J.; Chave, J.; Comiskey, J.A.; Cornejo Valverde, F.; da Costa, L.; de Oliveira, E.A.; Di Fiore, A.; Erwin, T.L.; Fauset, S.; Forsthofer, M.; Galbraith, D.R.; Grahame, E.S.; Groot, N.; Herault, B.; Higuchi, N.; Honorio Coronado, E.N.; Keeling, H.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Laurance, S.; Licona, J.; Magnussen, W.E.; Marimon, B.S.; Marimon-Junior, B.H.; Mendoza, C.; Neill, D.A.; Nogueira, E.M.; Nunez, P.; Pallqui Camacho, N.C.; Parada, A.; PardoMolina, G.; Peacock, J.; Pena-Claros, M.; Pickavance, G.C.; Pitman, N.C.A.; Poorter, L.; Prieto, A.; Quesada, C.A.; Ramirez, F.; Ramirez-Angulo, H.; Restrepo, Z.; Roopsind, A.; Rudas, A.; Salomao, R.P.; Schwarz, M.; Silva, N.; Silva-Espejo, J.E.; Silveira, M.; Stropp, J.; Talbot, J.; ter Steege, H.; Teran-Aguilar, J.; Terborgh, J.; Thomas-Caesar, R.; Toledo, M.; Torello-Raventos, M.; Umetsu, R.K.; van der Heijden, G.M.F.; van der Hout, P.; Guimaraes Vieira, I.C.; Vieira, S.A.; Vilanova, E.; Vos, V.A.; and Zagt, R. J. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink, *Nature*, 519: 344–348.

Brienen, R.J.W.; Schongart, J.; Zuidema, P.A. 2016. Em: Goldstein, G.; Santiago, L.S. (Ed.) *Tropical Tree Physiology*. *Tree Physiology*, 6: 439-461.

Brienen, R.J.W.; Zuidema, P.A. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146: 1-12.

Camargo, P.B.; Salomão, R.; Trumbore, S.E.; Martinelli, L.A. 1994. How old are large Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in the Amazon? *Scientia Agricola*, 51: 389-391.

- Cardoso, M.A.; Provan, J.; Powell, W.; Ferreira, P.C.G.; Oliveira, D.E.de. 1998. High genetic differentiation among remnant populations of the endangered *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae). *Molecular Ecology*, 7(5): 601-608.
- Chambers, J.Q.; Higuchi, N., Schimel, J.P. 1998. Ancient trees in Amazonia. *Nature*. 391(8): 135 - 136.
- Chambers, J.Q.; Negrón-Juarez, R.I.; Marra, D.M.; Di Vittorio, A.; Tews, J.; Roberts, D.; Ribeiro, G.H.P.M.; Trumbore, S.E.; Higuchi, N. 2013. The steady-state mosaic of disturbance and succession across and old-growth Central Amazon Forest landscape. *PNAS*, 110(10): 3949-3954.
- Chauvel, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazônica*, 12(3): 47-60. 1982.
- Chauvel, A.; Lucas, Y.; Boulet, R. 1987. On the Genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. *Experientia*, 43: 234-241.
- Chave, J.; Muller-Landau, H.C.; Baker, T.R.; Easdale, T.A.; ter Sterge, H.; Weeb, O. 2006. Regional and Phylogenetic variation of wood density. *Ecological Applications*, 16(6): 2356-2367.
- Chave, J.; Réjou-Méchain, M.; Búrquez, A.; Chidumayo, E.; Colgan, M.S.; Delitti, W.B.C.; Duque, A.; Eid, T.; Fearnside, P.M.; Goodman, R.C.; Henry, M.; Martínez-Yrizar, A.; Mugasha, W.A.; Muller-Landau, H.C.; Mencuccini, M.; Nelson, B.W.; Ngomanda, A.; Nogueira, E.M.; Ortiz-Malavassi, E.; Péliissier, R.; Ploton, P.; Ryan, C.M.; Saldarriaga, J.G.; Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177-3190.
- Clark, D. A.; Clark, D. B. 1992. Life history of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, 62: 315-344.
- Clark, N.A., Wynne, R.H., Schmoltdt, D.L. 2000. A review of past research on dendrometers. *Forest Science*, 46(4): 570-576.
- Coletta, L.D.; Nardoto, G.B.; Latansio-Aidar, S.R.; Rocha, H.R.da; Aidar, M.P.M.; Ometto, J.P.H.B. 2009. Isotopic view of vegetation and carbon and nitrogen cycles in a cerrado ecosystem, southeastern Brazil. *Scientia Agricola*, 66(4): 467-475.
- Cook, E.R.; Kairiukstis L. 1990. *Methods of dendrochronology in applications in the environmental Science*. Dordrecht: Kluwer. 394p.
- Corbera E.; Schroeder, H. 2010. Governing and Implementing REDD+. *Environmental Science and Policy*. s/n. 11p.
- Cremer, K.W.; Borough C.J.; McKinnell F.H.; Carter P.R. 1982. Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 12 (2): 244-268.

- Daryadi, L. 1994. Indonesia's Experience in Sustainable Forest Management. Em: Readings in Sustainable Forest Management. FAO Forestry Paper 122:201-213.
- Dawson, T.E.; Ehleringer, J.R. 1991. Streamside trees that do not use stream water. *Nature*, 350: 335-337.
- Dawson, T.E.; Mambelli, S.; Plamboeck, A.H.; Templer, P.H.; Tu, K.P. 2002. Stable isotopes in plant ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 507-59.
- Doughty, C; E. 2011. An in situ leaf and branch warming experiment in the Amazon, *Biotropica*, 43: 658–665.
- Drew, D.M.; Downes, G.M. 2009. The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: A review. *Dendrochronologia*, 27: 159-172.
- Dunisch, O.; Bauch, J.; Gasparotto, L. 2002. Formation of incremente zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *IAWA Journal* 23:101-119.
- Durgante, F.M.; Higuchi, N.; Almeida, A.; Vicentini, A. 2013. Species Spectral Signature: discriminating closely related plant species in Amazon with Near Infrared Leaf Spectroscopy. *Forest Ecology and Management*. 291: 240-248.
- Durlo, M.A. 2001. Relações morfométricas para *Cabraela canjerana* (Well.) Mart. *Ciência Floresta*, 11(1): 141- 149.
- Dykstra, D.P. e Heinirch. 1992. Sustaining Tropical Forests through enviromentally sound harvesting pratices. *Unasylva*, 169(43):9-15.
- Edwards, D.P.; Tobias J.A.; Sheil, D.; Meijaard, E.; Laurence, W.F. 2014. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forest. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(9): 511-520.
- Ehleringer, J.R.; Casal J.F.; Lott M.J.; Ford V.L. 2000. Tracing the geographical origino f cocaine. *Nature* 408: 311-312.
- Ehleringer, J.R.; Rundel P.W.; Nagy K.A. 1986. Stable Isotopes in physiological Ecology and Food Web research. *Trees*. 1: 42-45.
- Fankhauser, S. 2011. Carbon trading: A good idea is going through a bad patch. *The European Financial Review*, pp. 32–35
- FAO, 2006. Global Forest Resources Assessemente 2005. Progress towards sustainable forest management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 350p.

Farquhar, G.D.; Ehleringer, J.R.; Hubick, K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 503-537.

Feldpausch, T.R.; Phillips, O.L.; Brienen, R.J.W.; Gloor, E.; Lloyd, J.; Lopez-Gonzalez, G.; Monteagudo-Mendoza, A.; Malhi, Y.; Alarcón, A.; Alvarez Dávila, E.; Alvarez-Loyza, P.; Andrade, A.; Aragão, L.E.O.C.; Arroyo, L.; Aymard, G.A.; Baker, T.R.; Baraloto, C.; Barroso, J.; Bonal, D.; Castro, W.; Chama, V.; Chave, J.; Domingues, T.F.; Fauset, S.; Groot, N.; Honório Coronado, E.; Laurence, S.; Laurence, W.F.; Lewis, S.L.; Licona, J.C.; Marimon, B.S.; Marimon-Junior, B.H.; Mendoza Bautista, C.; Neill, D.A.; Oliveira, E.A.; Oliveira dos Santos, C.; Pallqui Camacho, N.C.; Pardo-Molina, G.; Prieto, A.; Quesada, C.A.; Ramirez, F.; Ramirez-Angulo, H.; Réjou-Méchain, M.; Rudas, A.; Saiz, G.; Salomão, R.P.; Silva-Espejo, J.E.; Silveira, M.; ter Steege, H.; Stropp, J.; Terborgh, J.; Thomas-Caesar, R.; van der Heijden, G.M.F.; Vásquez Martínez, R.; Vilanova, E.; Vos, V.A. 2016. Amazon Forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles*, 30: 964-982.

Ferraz, J.; Ohta, S.; Salles, P.C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). Em: Higuchi, N.; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. (Eds.). *Pesquisas florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. p110-143.

Filizola, H.F.; Gomes, M.A.F.; Souza, M.D. de. 2006. *Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 169p.

Fine, P.V.A.; Mesones, I.; Coley, P.D. 2004. Herbivores promote habitat specialization by trees. *Science*, 305: 663-665.

Gauí, T.D. 2013. *Mudança na composição de espécies arbóreas em uma floresta de terra firme explorada experimentalmente há 25 anos na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Ciências de Florestas Tropicais, Manaus, 70p.

Gomes, A.C.S.; Andrade, A.; Barreto-Silva, J.S.; Brenes-Arguedas, T.; López, D.C.; Freitas, C.C.de; Lang, C.; Oliveira, A.A.de; Pérez, A.J.; Perez, R.; Silva, J.B.da; Silveira, A.M.F.; Vaz, M.C.; Vendrami, J.; Vicentini, A. 2012. Local plant species delimitation in a highly diverse Amazonian forest: do we all see the same species? *Journal of Vegetation Science*, 24(1): 1654–1703.

Gourlay, I.D. 1995. Growth ring characteristics of some African *Acácia* species. *Journal of Tropical Ecology*, 11: 121-140.

Graham, E.A.; Mulkey, S.S.; Kitajima, K.; Phillips, N.G.; Wright, S.J. 2003. Cloud cover limits net CO<sub>2</sub> uptake and growth of a rainforest tree during tropical rainy seasons, *PNAS*, 100: 572–576.

- Halle, F.; Oldeman, R.A.A.; Tomlinson, P.B. 1978. *Tropical trees and forests: an architectural analysis*. Springer, Berlim, Alemanha, 386p.
- Higuchi N.; Santos, J.dos; Silva, R.P.da; Lima, A.N.; Teixeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Felseburgh, C.A.; Tribuzy, E.S.; Durgante, F. 2012. *Noções Básicas de Manejo Florestal*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 274p.
- Higuchi, N. 1987. *Short-Term Growth of na undisturbed tropical moist forest in the brazilian Amazon*. Tese de doutorado. Michigan State University. Department of Forestry. 129p.
- Higuchi, N.; Santos, J.dos; Ribero, J.R.; Freitas, J.V.de; Vieira, G.; Coic, A.; Minette, L. 1997. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. Em: MCT-INPA. *Biomassa e nutrientes florestais – Relatório Final do Projeto Bionte*, Manaus. p. 89-131.
- Higuchi, N.; Chambers, J.; Santos, J.dos; Ribeiro, R.J.; Pinto, A.C.M.; Dilva, R.P.da; Rocha, R.deM.; Tribuzy, E.S. 2004. Dinâmica e balanço de carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, 34(3): 295-304.
- Higuchi, F. 2015. *Dinâmica de volume e biomassa da floresta de terra firme do Amazonas*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. 201p.
- Honorio E.N.; Baker, T.R. 2010. *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/ Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- Hua, Q.; Barbetti, M.; Rakowski, A.Z. 2013. Atmospheric Radiocarbon for the Period 1950-2010. *Radiocarbon*, 55(4): 2059-2072.
- ITTO. 2014. *Bienal Review and Assessment of the world timber situation 2013-2014*. International Tropical Timber Organization, Yokowama, Japão. 226p.
- Jacoby, G.C. 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *IAWA*, 10:99.
- Kagawa, A.; Sano, M.; Nakatsuka, T.; Ikeda, T.; Kubo, S. 2015. An optimized method for stable isotope analysis of tree rings by extracting cellulose directly from cross-sectional lanths. *Chemical Geology*. 393-394: 16-25.
- Keeland, B.D.; Sharitz, R.R. 1993. Accuracy of tree growth measurements using dendrometers bands. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 2454-2457.
- Kemp, R.H. e Palmberg-Lerche, C. 1994. Conserving genetic resources in forest ecosystems. Em: *Readings in sustainable forest management*. FAO Forestry paper 122: 101-117.
- Kosoy, A.; Guigon, P. 2012. *State and trends of the carbon market 2012*. Washington, DC: The World Bank. pp. 94– 100.

Koubaa, A.; Zhang, S.Y.; Isabel, N.; Beaulieu, J.; Bousquet, J. 2000. Phenotypic correlations between juvenile mature wood density and growth in black spruce. *Wood Fiber Science* 32:61–71.

Lang, C.; Costa F.; Camargo, J.L.; Durgante, F.M.; Vicentini A. 2010. Near infrared spectroscopy facilitates rapid identification of both young and mature amazonian trees species. *Plos One*, 10(8): 1-15.

Lanly, J.P. 1995. Sustainable Forest Management: Lessons of History and recent developments. *Unasylva*, 182(46): 38-45.

Leslie, A.J. 1994. Sustainable Management of Tropical Moist Forest for Wood. In: Readings in Sustainable Forest Management. FAO Forestry Paper, 122: 17-32.

Levin, I.; Naegler T.; Kromer B.; Diehl M.; Francey R.J.; Gomez-Pelaez A.J.; Steele L.P.; Wagenbach D.; Weller R.; Worthy, D.E. 2010. Observations and modelling of the global distribution and long-term trend of atmospheric  $^{14}\text{CO}_2$ . *Tellus B*, 62: 26-46.

Levis, C.; Souza, P.F.de; Schiatti, J.; Emilio, T.; Pinto, J.L.P.deV.; Clement, C.R.; Costa, F.R.C. 2012. Historical human footprint on modern tree species composition in the Purus-Madeira interfluve, Central Amazonia. *PlosOne* 7(11): e48559.

Lewis, S.L.; Tanner, E.V.J. 2000. Effects of above and belowground competition on growth and survival of rain Forest tree seedlings. *Ecology*, 81(9): 2525-2538.

Lieberman, D.; Lieberman M.; Hartshorn, G.; Peralta R. 1985. Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*. 1: 97-109.

Lieberman, M.; Lieberman D. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology*, 66: 632–635.

Lima, A.J.N. 2010. *Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do estado do Amazonas*. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas da Amazônia. Manaus. 181p.

Lima, A.J.N.; Suwa R.; Ribeiro G.H.P.; Kajimoto T.; Santos J.dos.; Silva, R.P.da; Souza C.A.S.de; Barros P.; Noguchi H.; Ishizuka M.; Higuchi N. 2012. *Forest Ecology and Management*, 227: 163-172.

Lima, A.J.N.; Durgante, F.M.; Campos, M.A.A.; Santos, J.dos; Ishizuka, M.; Higuchi, N. (Eds). 2014. Dinâmica do Carbono das florestas da Amazônia: resultados do projeto CADAF. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, 87p.

Littell, R.C.; Henry, P.R.; Ammerman, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76:1216-1231.



Lloyd, J.; Farquhar, G.D. 2008. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 1811–1817.

Lo, A.Y. 2016. Challenges to the development of carbon markets in China. *Climate Policy*, 16(1): 1-16.

Lui, G.H. 2008. Ocupação humana e transformação da paisagem na Amazônia brasileira. Dissertação de Mestrado, ESALQ, 181p.

Malhi, Y.; Baker, T.R.; Phillips, O.; Almeida, S.; Alvarez, E.; Arroyo, L.; Chave, J.; Czimzik, C.I.; Di Fiore, A.; Higuchi N.; Killeen, T.J.; Laurence, S.G.; Laurence, W.F.; Lewis, S.L.; Montoya, L.M.M.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, O.N.; Patiño, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salomão, R.; Silva, J.N.M.; Lezama, A.T.; Martínez, R.V.; Terborgh, J.; Vinceti, B.; Lloyd, J. 2004. The above-ground coarse Wood productivity of 104 Neotropical Forest plots. *Global Change Biology*, 10: 563-591.

Malhi, Y.; Doughty, C.E.; Goldsmith, G.R.; Metcalfe, D.B.; Girardin, C.A.J.; Marthews, T.R.; Aguila-Pasquel, J.D.; Aragão, L.E.O.C.; Araujo-Murakami, A.; Brando, P.; Costa, A.C.L.da.; Silva-Espejo, J.E.; Amezquita, F.F.; Galbraith, D.R.; Quesada, C.A.; Rocha, W.; Salinas-Revilla, N.; Silvério, D.; Meir, P.; Phillips, O. 2015. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. *Global Change Biology*, gcb. 12859.

Mardegan, S.F.; Nardoto, G.B.; Higuchi, N.; Moreira, M.Z.; Martinelli, L.A. 2009. Nitrogen availability patterns in white-sand vegetation of Central Brazilian Amazon. *Trees*, 23: 479-488.

Marra, D.M.; Higuchi, N.; Trumbore, S.E.; Ribeiro, G.H.P.M.; Santos, J.dos; Carneiro, V.M.C.; Lima, A.J.N.; Chambers, J.Q.; Negrón-Juaréz, R.I.; Holzwarth, F.; Réu, B.; Wirth, C. 2016. Predicting biomass of hyperdiverse and structurally complex central Amazonia forests- a virtual approach using extensive Field data. *Biogeosciences*, 13: 1553-1570.

Martinelli, L.A.; Ometto, J.P.H.B.; Ferraz, E.S.; Victoria, R.L.; Camargo, P.B.de; Moreira, M.Z. 2009. *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. São Paulo: Oficina de Textos, 139p.

Martinelli, L.A.; Piccolo, M.C.; Townsend, A.R.; Vitousek, P.M.; Cuevas, E.; McDowell, W.; Robertson, G.P.; Santos, O.C; Treseder, K. 1999. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. *Biogeochemistry*, 46: 45-65.

McCarroll, D.; Loader, N.J. 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23: 771-801.

Milne, S.; Milne M.; Nurfatriani F.; Tacconi L. 2016. How is global climate policy interpreted on the ground? Insights from the analysis of local

discourses about forest management and REDD+ in Indonesia. *Ecology and Society*, 21(2):1-6.

Nath, C.D.; Munoz F.; Pélissier R.; Burslem D.F.R.P.; Muthusanka G. 2016. Growth rings in tropical trees: role of functional traits, environmentt and phylogeny. *Trees*, 1-23.

Nepstad, D.C.; Verissimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendonza, E.; Cochrane, M.; Brooks, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 398: 505-508.

Ohashi, S.; Durgante F.M.; Kagawa A.; kajimoto T.; Trumbore S.E.; Xu X.; Ishizuka M.; Higuchi N. 2015. Seasonal variation in the stable oxygen ratio of wood cellulose reveal anual rings of trees in a Central Amazon terra firme forest. *Oecologia*, 1-11.

Ohashi, S.; Okada N.; Nobuchi T.; Siripatanadilok S.; Veenin T. 2009. Detecting invisible growth rings of trees in seasonally dry forest in Thailand: isotopic and wood anatômica approaches. *Trees*, 23: 813-822.

Oliveira, M.M.de. 2010. Tamanho e forma de parcelas para inventários florestais de volume de madeira e estoque de carbono de espécies arbóreas da Amazônia Central. *Dissertação de Mestrado*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 70p.

Oliver, W.W. 1997. Twenty-five-years growth and mortality of planted ponderosa pine repeatedly thinned to different stand densities in northern Califórnia. *Wester Journal of Applied Forestry*, 12(4): 122-130.

Ometto, J.P.H.B.; Ehleringer, J.R.; Domingues, T.F.; Berry, J.A.; Ishida, F.Y.; Mazz, E.; Higuchi, N.; Flanagan, L.B.; Nardoto, G.B.; Martinelli, L.A. 2006. Then stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. *Biogeochemistry*, 79: 251-274.

Parent, S.; Morin, H.; Messier, C. 2002. Missing growth rings at the trunk base in suppressed balsam fir saplings. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 1776-1783.

Patrut, A.; Von Reden K.F.; Lowy D.A.; Alberts A.H.; Pohlman J.W.; Wittmann R.; Gerlach D.; Xu L.; Mitchell C.S. 2007. Radiocarbon dating of a very large African baobab. *Tree Physiology*. 27:1569-1574.

Peres, C.A.; Baider, C.; Zuidema, P.A.; Wadt, L.H.O.; Kainer, K.A.; Gomes-Silva, D.A.P.; Salomão, R.P.; Simões, L.L.; Franciosi, E.R.N.; Valverde, F.C.; Gribel, R.; Shepard Jr., G.H.; Kanashiro, M.; Coventry, P.; Yu, D.W.; Watkinson, A.R.; Freckleton, R.P. 2003. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. *Science*, 302(5653): 2112-2114.

Peters-Stanley, M.; Gonzales G.; Yin D. 2013. *Covering New Ground: State of forest carbono markets 2013*. Washington, D.C. 101p.

Phillips, O.L.; Baker, T.R.; Arroyo, L.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Lloyd, J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Silva, J.N.M.; Terborgh, J.; Martinez, R.V.; Alexiades, M.; Almeida, S.; Brown, S.; Chave, J.; Comiskey, J.A.; Czimczik, C.I.; Di Fiore, A.; Erwin, T.; Kuebler, C.; Laurance, S.G.; Nascimento, H.E.M.; Olivier, J.; Palacios, W.; Patino, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salidas, M.; Lezama, A.T.; Vinceti, B. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 359: 381-407.

Pitman, N.C.A.; Terborgh, J.W.; Silman, M.R.; Nunez, P.V.; Neill, D.A.; Cerón, C.E.; Palacios, W.A.; Aulestia, M. 2001. Dominance and distribution of tree species in upper amazonian terra firme forests. *Ecology*, 82(8): 2101–2117.

Pons T.L., Helle, G. 2011. Identification of anatomically non-distinct annual rings in tropical trees using stable isotopes. *Trees*, 25: 83-93.

Procópio, L.C.; Secco, R.deS. 2008. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do “tauari”(Couratari spp. E Cariniana spp.-Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. *Acta Amazônica*, 38(1): 31-44.

Quesada, C.A.; Lloyd J.; Schwarz M.; Patiño S.; Baker T.R.; Czimczik C.; Fyllas N.M.; Martinelli L.; Nardoto G.B.; Schmerler J.; Santos A.J.B.; Hodnett M.G.; Herrera R; Luizão F.J.; Arneeth A.; Lloyd G.; Dezzio N.; Hilke I.; Kuhlmann I.; Raessler M.; Brand W.A.; Geilmann H.; Moraes Filho J.O.; Carvalho F.P.; Araujo Filho R.N.; Chaves J.E.; Cruz Juniors O.F.; Pimentel T.P.; Paiva R. 2010. Variation in chemical and physical properties of Amazon Forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7: 1515 – 1541.

Quesada, C.A.; Lloyd J.; Anderson L.O.; Fyllas N.M.; Czimczik, C.I. 2011. Soils of the Amazonia with particular reference to the RAIFOR sites. *Biogeosciences*, 8: 1415-1440.

Quesada, C.A.; Phillips O.L.; Schwarz M; Czimczik C.I.; Baker T.R.; Patiño S.; Fyllas N.M.; Hodnett M.G.; Herrera R; Almeida S; Alvarez Dávila E.; Jimenez E.M.; Killen T.; Lezama A.T.; Lloyd G.; López-González G.; Luizão F.J.; Malhi Y.; Monteagudo A.; Neill D.A.; Nuñez Vargas P.; Paiva R.; Peacock J.; Peñuela M.C.; Peña Cruz A.; Pitman N.; Priante Filho N.; Prieto N.; Ramirez H.; Rudas A.; Salomão R.; Santos A.J.B.; Schmeller J.; Silva N.; Silveira M.; Vázquez R.; Vieira I.; Terborgh J.; Lloyd J. 2012. Basin-wide variations in Amazon Forest structure and function are mediated by soil and climate. *Biogeosciences*, 9: 2203-2246.

Ramsey, C.B.; Dee, M.; Lee, S.; Nakagawa, T.; Staff, R. 2010. Developments in the calibration and modelling of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 52(3): 953-961.

Ranzani, G. 1980. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazônica*, 10: 7-41.

- Richardson, V.A.; Peres, C.A. 2016. Temporal decay in timber species composition and value in amazonian logging concessions. *PLoS ONE*, 11(7): 1-22.
- Rinn, F. 2015. Understanding size-related principles of tree growth for better tree-risk evaluation. 2015. *Western Arborism*.16-19p.
- Robertson, I.; Loader N.; Froyd C.; Zambatis N.; Whyte I.; Woodborne S. 2006. The potential of the baobab (*Adansonia digitata* L.) as a proxy climate archive. *Applied Geochemistry*, 21: 1674-1680.
- Roosevelt, A.C.; Costa, M.L.da.; Machado, C.L.; Michab, M.; Mercier, N.; Valladas, H.; Feathers, J.; Barnett, W.; Silveira, M. I.da.; Henderson, A.; Silva, J.; Chernoff, B.; Reese, D.S.; Holman, J.A.; Toth, N.; Schick, K. 1996. Paleoindian Cave Dwellers in the Amazon: The Peopling of the Américas. *Science*, 272: 373-384
- Rowland, L.; Hill, T.C.; Stahl, C.; Siebicke, L.; Burban, B.; Zaragoza-Castells, J.; Ponton, S.; Bonal, D.; Meir, P.; Williams, M. 2014a. Evidence for strong seasonality in the carbon storage and carbon use efficiency of an Amazonian Forest. *Global Change Biology*, 20: 979–991.
- Rowland, L.; Malhi, Y.; Silva-Espejo, J.E.; Farfan-Amezquita, F.; Halladay, K.; Doughty, C.E.; Meir, P.; Phillips, O.L. 2014b. The sensitivity of wood production to seasonal and interannual variations in climate in a lowland Amazonian rainforest. *Oecologia*, 174: 295–306.
- Rozendaal D.M.A.; Brienen R.J.W.; Soliz-Gamboa C.C.; Zuidema P.A. 2010. Tropical tree rings reveal preferential survival of fast-growing juveniles and increased juvenile growth rates over time. *New Phytologist*, 185: 759–769.
- Rozendaal D.M.A.; Zuidema, P.A. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees*, 25(1): 3-16.
- Santos, J.dos. 1996. Análise de modelos de regressão para estimar fitomassa da floresta tropical úmida da terra-firme da Amazônia brasileira. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 121 p.
- Sasaki, N.; Asner, G.P.; Pan, Y.; Knorr, W.; Durst, P.B.; Ma, H.O.; Abe, I.; Lowe, A.; Koh, L.P.; Putz, F.E. 2016. Sustainable management of tropical forests can reduce carbon emissions and stabilize timber production. *Frontiers in Environmental Science*, 4(50): 1-13.
- Sass, U.; Killmann, W.; Eckstein, D. 1995. Wood formation in two species of dipterocarpaceae in Peninsular Malaysia. *IAWA Journal*, 16(4): 371-384.
- Schongart J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian varzea floodplains. *Forest Ecology Management*, 256:46–58.
- Schongart, J.; Witmann, F.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Krambeck, H.J.; Junk, W.J. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in

Amazonian white-water floodplain Forest defined by tree-ring analysis. *Annual Forest Science*, 64: 657:664.

Schuur, E.A.G.; Trumbore S.E.; Druffel E.R.M., Southon J.R.; Steinhof A.; Taylor E.R.; Turnbull J.C. 2016. Radiocarbon and the Global Carbon Cycle. Em: Schuur, EAG, Druffel, ERM, Trumbore, SE (Ed). *Radiocarbon and Climate Change: Mechanisms, Application and Laboratory Techniques*. Springer. 320p.

Scoles, R. 2011. Do rio Madeira ao rio Trombetas: novas evidências ecológicas e históricas da origem antrópica dos castanhais amazônicos. *Novos Cadernos NAEA*, 14(2): 265-282.

Seidel, KW. 1987. Results after 20 years from western larch levels-of-growing-stock study. *USDA Forest Service*, PNW-387. 18p.

Seidel, KW. 1989. A ponderosa pine-lodgepole pine spacing study in central Oregon: Results after 20 years. *USDA Forest Service*, PNW-410. 14p.

Selhort, D. 2005. *Distribuição etária e incremento diamétrico arbóreo no sudoeste da Amazônia: subsídios para o manejo florestal*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Acre. 65p.

SFB; IMAZON. 2010. A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados. Serviço Florestal Brasileiro e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, Belém, 26p.

SFB; IPAM 2011. Florestas nativas de produção brasileiras: relatório técnico. Serviço Florestal Brasileiro e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasília, 28p.

Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P.de; Lopes, J.doC.A.; Almeida, B.F.de; Costa, D.H.M. 1995. *Forest Ecology and Management*, 71(3): 267-274.

Silva, R.P. 2001. *Padrões de crescimento de árvores que ocorrem em diferentes topossequências na região de Manaus (AM)*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 60p.

Silva, R.P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 152p.

Silva, R.P.; Santos, J.dos; Tribuzi, E.S.; Chambers, J.Q.; Nakamura, S.; Higuchi, N. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166: 295–301.

Skole, D.; Tucker, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260:1905-1910.

Soliz-Gamboa, C.C.; Rozendaal, D.M.; Ceccantini, G.; Angyalossy, V.; van der Borg, K.; Zuidema, P.A. 2011. Evaluating the annual nature of juvenile rings in Bolivian tropical rainforest trees. *Trees*, 25: 17–27.

Sombroek W. 2001. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall: Consequences for the planning of agricultural occupation and the protection of Primary Forest. *Ambio: A Journal of the Human Environmental*, 30(7): 388 – 396.

Stuiver, M; Polach, H.A. 1977. Reporting C-14 data – discussion. *Radiocarbon*, 19: 355-363.

Swaine, M.D.; Hall, J.B.; Alexander, I.J. 1987. Tree population dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). *Journal of Tropical Ecology*, 3: 331-345.

Swaine, M.D.; Whitmore, T.C. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio*, 75: 81-86.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. 3 ed. *Fisiologia vegetal*. Artmed Editora S.A.

Tang, H.T. 1987. Problems and Strategies for Regenerating Dipterocarp Forests in Malaysia. Em: Natural Management of Tropical Moist Forests - Silvicultural and Management Prospects of Sustained Utilization (editado por F. Mergen e J.R. Vincent). Yale University, pp. 24-45.

Turbeville, H.W.; Hough, A.F. 1939. Errors in age counts of suppressed trees. *Journal of Forestry*, 37: 417-418.

Teixeira, W.G.; Arruda W.; Shinzato E.; Macedo R.S.; Martins G.C.; Lima H.N.; Rodrigues T.E. 2010. Solos. Em: Maia, M.A.M.; Marmos, J.L. *Geodiversidade do estado do Amazonas*. CPRM. Manaus.

ter Steege, H.; Vaessen, R.W.; Cárdenas-López, D.; Sabatier, D.; Antonelli, A.; Oliveira, S.M.de; Pitman, N.C.A.; Jorgensen, P.M.; Salomão, R.P. 2016. The Discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. *Nature – Scientific Report*, 6(29549): 1-16.

ter Steege, H.; Pitman, N.C.A.; Sabatier, D.; Baraloto, C.; Salomão, R.P.; Guevara, J.E.; Phillips, O.L.; Castilho, C.V.; Magnusson, W.E.; Molino, J.F.; Monteagudo, A.; Vargas, P.N.; Montero, J.C.; Feldpausch, T.R.; Coronado, E.N.H.; Killeen, T.J.; Mostacedo, B.; Vasquez, R.; Assis, R.L.; Terborgh, J.; Wittmann, F.; Andrade, A.; Laurance, W.F.; Laurance, S.G.W.; Marimon, B.S.; Marimon, Jr.B.H.; Vieira, I.C.G.; Amaral, I.L.; Brienen, R.; Castellanos, H.; López, D.C.; Duivenvoorden, J.F.; Mogollón, H.F.; Matos, F.D.A.; Dávila, N.; García-Villacorta, R.; Diaz, P.R.S.; Costa, F.; Emilio, T.; Levis, C.; Schiatti, J.; Souza, P.; Alonso, A.; Dallmeier, F.; Montoya, A.J.D.; Piedade, M.T.F.; Araujo-Murakami, A.; Arroyo, L.; Gribel, R.; Fine, P.V.A.; Peres, C.A.; Toledo, M.; Aymard, G.A.C.; Baker, T.R.; Cerón, C.; Engel, J.; Henkel, T.W.; Maas, P.; Petronelli, P.; Stropp, J.; Zartman, C.E.; Daly, D.; Neill, D.; Silveira, M.; Paredes, M.R.; Chave, J.; Lima Filho, D.deA.; Jørgensen, P.M.; Fuentes, A.; Schongart, J.; Valverde, F.C.; Di Fiore, A.; Jimenez, E.M.; Mora, M.C.P.;

Phillips, J.F.; Rivas, G.; van Andel, T.R.; von Hildebrand, P.; Hoffman, B.; Zent, E.L.; Malhi, Y.; Prieto, A.; Rudas, A.; Ruschell, A.R.; Silva, N.; Vos, V.; Zent, S.; Oliveira, A.A.; Schutz, A.C.; Gonzáles, T.; Nascimento, M.T.; Ramirez-Ángulo, H.; Sierra, R.; Tirado, M.; Medina, M.N.U.; van der Heijden, G.; Vela, C.I.A.; Torre, E.V.; Vriesendorp, C.; Wang, O.; Young, K.R.; Baider, C.; Balslev, H.; Ferreira, C.; Mesones, I.; Torres-Lezama, A.; Giraldo, L.E.U.; Zagt, R.; Alexiades, M.N.; Hernandez, L.; Huamantupa-Chuquimaco, I.; Milliken, W.; Cuenca, W.P.; Pauletto, D.; Sandoval, E.V.; Gamarra, L.V.; Dexter, K.G.; Feeley, K.; Lopez-Gonzalez, G.; Silman, M.R. 2013. Hyperdominance in the Amazon tree flora. *Science*, 342(1243092): 1-9.

Trumbore, S.E.; Sierra, C.A.; Hicks Pries, C.E. 2016a. Radiocarbon nomenclature, theory, models and interpretation: Measuring, age, determining cycle rates, and tracing source pools. Em: Schuur, E.A.G.; Druffel, E.R.M.; Trumbore, S.E. (Ed). *Radiocarbon and Climate Change: Mechanisms, Application and Laboratory Techniques*. Springer. 320p.

Trumbore, S.E.; Xu X.; Santos, G.M.; Czimczik, C.I.; Beupré, S.R.; Pack, M.A.; Hopkins, F.M.; Stills, A.; Lupascu, M.; Ziolkowski, L. 2016b. Preparation for Radiocarbon Analysis. Em: Schuur, E.A.G.; Druffel, E.R.M.; Trumbore, S.E. (Ed). *Radiocarbon and Climate Change: Mechanisms, Application and Laboratory Techniques*. Springer. 320p.

van der Sleen, P.; Groenendijk, P.; Vlam, M.; Anten, N.P.R.; Boom, A.; Bongers, F.; Pons, T.L.; Terburg, G.; Zuidema, P.A. 2015. No growth stimulation of tropical trees by 150 years of CO<sub>2</sub> fertilization but water-use efficiency increased, *Nature Geoscience*, 8: 24–28.

van Gelder, H.A.; Poorter, L.; Sterck, F.J. 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain Forest tree community. *New Phytologist*, 171: 367 – 378.

Veríssimo, A. 2005. Influência do Promanejo sobre políticas públicas de manejo florestal sustentável na Amazônia. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 49p.

Vieira, S. 2003. *Mudanças globais e taxas de crescimento arbóreo na Amazônia*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.133p.

Vieira, S.; Camargo, P.B.de; Selhorst, D.; Seilva, R.da; Hutyra, L.; Chambers, J.Q.; Brown, I.F.; Higuchi, N.; Santos, J.dos; Wofsy, S.; Trumbore, S.E.; Martinelli, L.A. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*. 140: 468-479.

Vieira, S.; Trumbore, S.; Camargo, P.B.; Selhorst, D.; Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Martinelli, L.A. 2005. Slow growth rates of Amazonian trees: Consequences for carbon cycling. *PNAS*. 102: 18502-18507.

Vlam M. 2014. *Forensic forest ecology. Unraveling the stand history of tropical forests*. Wageningen University, Wageningen, NL. 208p.

von Ende, C.N. 2001. Repeated-measures Analysis: Growth and Other Time-dependent Measures. Em: Scheiner, S.M.; Gurevitch, J. (Ed). *Desing and Analysis of Ecological Experiments*. 2 ed. Oxford University.

Xu, X.; Trumbore, S.E.; Zheng, S.; Southon, J.R.; McDuffee, K.E.; Luttgen, M.; Liu, J.C. 2007. Modifying a sealed tube zinc reduction method for preparation of AMS graphite targets: Reducing background and attaining high precision. *Nuclear Instruments and methods in physics research section B beam interactions with material and atoms* 259: 320-329.

Wagner, F.; Rossi, V.; Aubry-Kientz, M.; Bonal, D.; Dalitz, H.; Gliniars, R.; Stahl, C.; Trabucco, A.; Hérault, B. 2014. PanTropical Analysis of Climate Effects on Seasonal Tree Growth. *PLOS ONE*, 9: e92337.

Wagner, F.H.; Hérault, B.; Bonal, D.; Stahl, C.; Anderson, L.O.; Baker, T.R.; Backer, G.S.; Beeckman, H.; Souza, D.B.; Botosso, P.C.; Bowman, D.M.J.S.; Brauning, A.; Brede, B.; Nrown, F.I.; Camarero, J.J.; Camargo, P.B.; Cardoso, F.C.G.; Carvalho, F.A.; Castro, W.; Chagas, R.K.; Chave, J.; Chidumayo, E.N.; Clark, D.A.; Costa, F.R.C.; Couralet, C.; Mauricio, P.H.da S.; Dalitz, H.; Castro, V.R.de; Milani, J.E.deF.; Oliveira, E.C.de; Arruda, L.deS.; Devineau, J.L.; Drew, D.M.; Dunisch, O.; Durigan G.; Elifuraha, E.; Fedele, M.; Fedele, L.F.; Figueiredo Filho, A.; Finger, C.A.G.; Franco, A.C.; Freitas Junior, J.L.; Galvão, F.; Gebrekirstos, A.; Gliniars, R.; Graça, P.M.L.deA.; Griffiths, A.D.; Grogan, J.; Guan, K.; Homeier, J.; Kanieski, M.R.; Kho, L.K.; Koenig, J.; Kohler, S.V.; Krepkowski, J.; Lemos-Filho, J.P.; Lieberman, D.; Lieberman, M.E.; Lisi, C.S.; Santos, T.L.; Ayala, J.L.L.; Maeda, E.E.; Malhi, Y.; Maria, V.R.B.; Marques, M.C.M.; Marques, R.; Chamba, H.M.; Mbwambo, L.; Melgaço, K.L.L.; Mendivelso, H.A.; Murphy, B.P.; O'Brien, J.J.; Oberbauer, S.F.; Okada, N.; Péliissier, R.; Prior, L.D.; Roig, F.A.; Ross, M.; Rossatto, D.R.; Rossi, V.; Rowland, L.; Rutishauser, E.; Santana, H.; Schulze, M.; Selhorst, D.; Silva, W.R.; Silveira, M.; Spann, S.; Swaine, M.D.; Toledo, J.J.; Toledo, M.M.; Toledo, M.; Toma, T.; Tomazello Filho, M.; Hernández, J.I.V.; Verbesselt, J.; Vieira, S.A.; Vincent, G.; Castilho, C.V.de.; Volland, F.; Worbes, M.; Zanon, M.L.B.; Aragão, L.E.O.C. 2016. Climate seasonality limits leaf carbon assimilation and wood productivity in tropical forests. *Biogeosciences*, 13: 2537-2562.

Wang, S.; Duan, M. 2013. China: Design of domestic emissions trading scheme. Beijing: *Presentation at the Partnership for Market Readiness's Meeting at Washington, DC*. (<http://www.thepmr.org/country/china-0>) Acessado em: junho de 2016.

Whitmore, T.C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology*, 70(3) : 536-538.

Whitmore, T.C. 1990. *An introduction to tropical rain forests*. Oxford University, Oxford.

Wonn, H.; O'Hara, K.L. 2001. Height:Diameter Rations and Stability Relationships for Four Northern Rocky Montain tree species. *Wester Journal of Applied Forestry*. 16(2): 87-94.



Woodcock, D.W.; Shier, A.D. 2003. Does canopy position affect wood specific gravity in temperate forest trees? *Annals of Botany*, 91:529-537.

Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees. A review. *IAWA Journal*, 16:337-351.

Worbes, M. 2002. One hundred year of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20: 217-231.

Worbes, M.; Junk, W. 1989. Dating tropical trees by means of  $^{14}\text{C}$  from bomb tests. *Ecology*. 70: 503-507.

Worbes, M.; Staschel, R.; Roloff, A.; Junk, W.J. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production in a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management*, 173: 105-123.

Wu, J.; Albert, L.P.; Lopes, A.P.; Restrepo-Coupe, N.; Hayek, M.; Wiedemann, K.T.; Guan, K.; Stark, S.C.; Christoffersen, B.; Prohaska, N.; Tavares, J.V.; Marostica, S.; Kobayashi, H.; Ferreira, M.L.; Campos, K.S.; da Silva, R.; Brando, P.M.; Dye, D.G.; Huxman, T.E.; Huete, A.R.; Nelson, B.W.; and Saleska, S.R. 2016. Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, 351: 972–976.

Zuidema P.A.; Brien R.J.W.; Schongart J. 2012. Tropical forest warming: looking backwards for more insights. *Trends Ecology e Evolution*, 27:193–194.

## ANEXO

Apresento abaixo um material complementar para auxiliar no entendimento da tese. Este material está apresentado em tópicos com comentários, gráficos e tabelas.

### 1- Precipitação anual e número de dias sem chuva

Um parâmetro ambiental muito utilizado para avaliar influência no crescimento das árvores são os valores da precipitação (mm). No entanto, na presente tese encontramos que a % de árvores com incremento nulo está fortemente relacionada com número de dias sem chuva do respectivo ano ( $r=0,85$  e  $p=0,0004$ ). Para melhor avaliar esse parâmetro, podemos observar no gráfico abaixo a relação entre precipitação e o número de dias sem chuva anual. Estes dados pertencem ao projeto LBAe foram coletados na torre K-34.

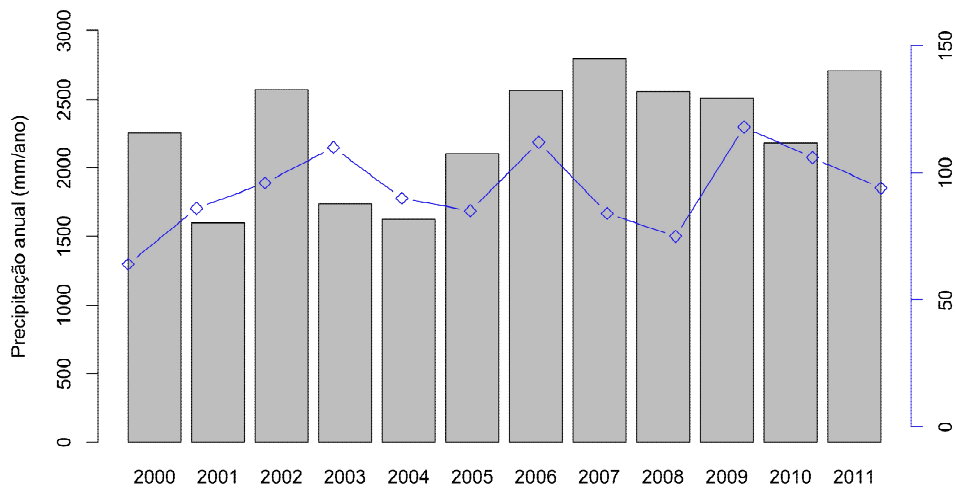


Figura 56: Precipitação (mm/ano) e número de dias sem chuva anuais. Fonte de dados: Torre K34- projeto LBA.

## 2- Curva de crescimento e Incremento corrente anual das árvores dematamatá amarelo (*Eschweilera coriacea* e *E. truncata*) do tratamento testemunha do Bionte:

Com o intuito de exemplificar a elevada variação na taxa de crescimento ao longo do tempo plotamos abaixo gráficos que expressam a curva de crescimento e o ICA de indivíduos das mesmas espécies na mesma classe diamétrica no T0 do Bionte.

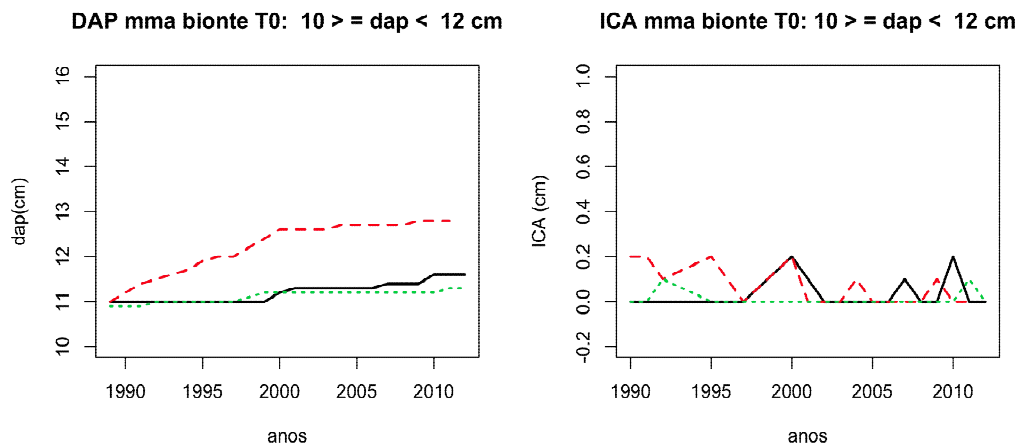


Figura 57: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 10 a 12 cm no T0 do Bionte.

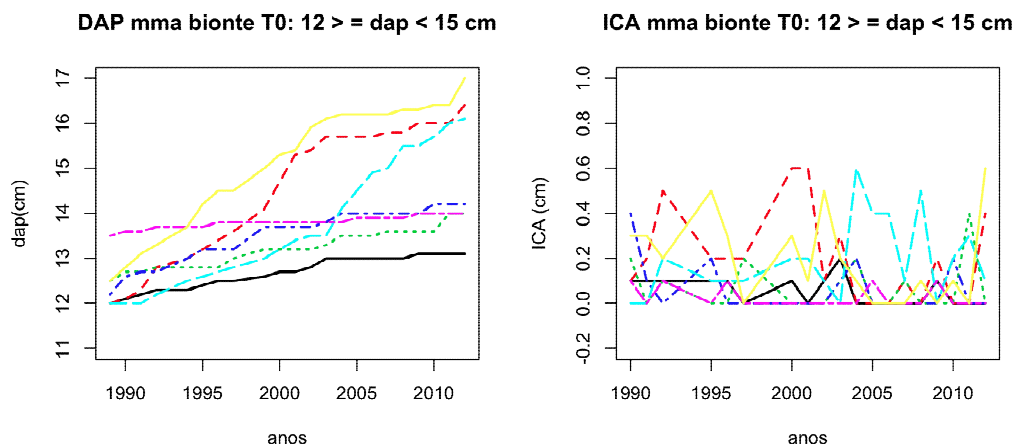
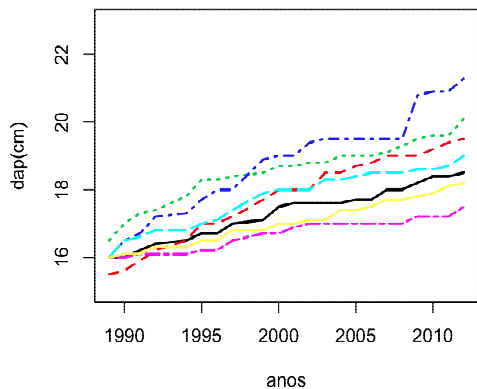


Figura 58: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 12 a 15 cm no T0 do Bionte.

**DAP mma bionte T0: 15 >= dap < 17 cm**



**ICA mma bionte T0: 15 >= dap < 17 cm**

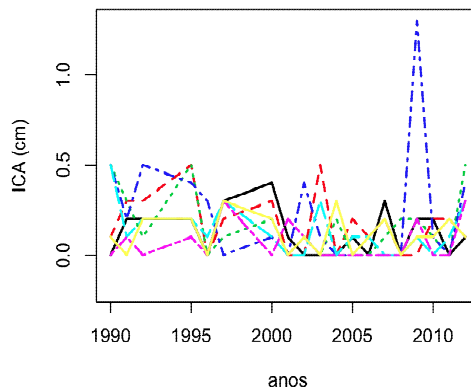
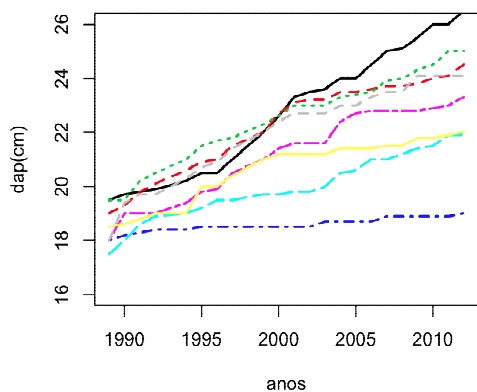


Figura 59: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 15 a 17 cm no T0 do Bionte.

**DAP mma bionte T0: 17 >= dap < 20 cm**



**ICA mma bionte T0: 17 >= dap < 20 cm**

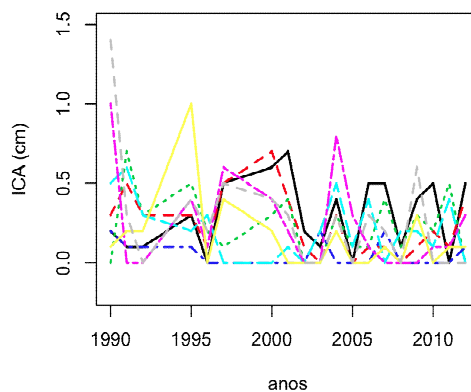
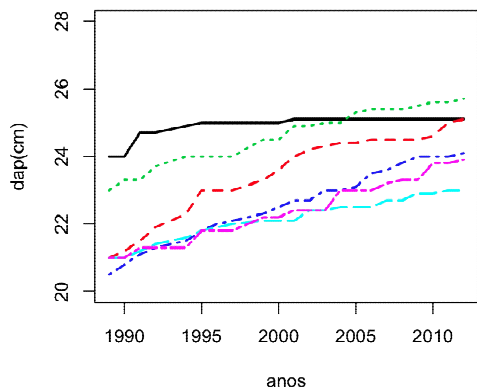


Figura 60: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 17 a 20 cm no T0 do Bionte.

**DAP mma bionte T0: 20 >= dap < 25 cm**



**ICA mma bionte T0: 20 >= dap < 25 cm**

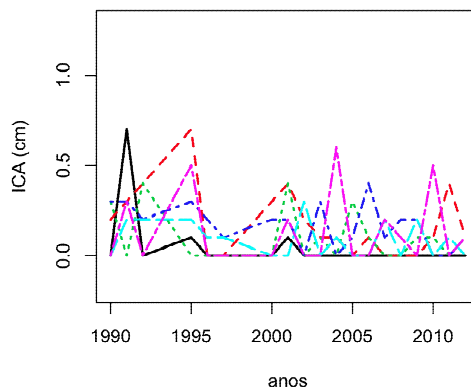


Figura 61: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 20 a 25 cm no T0 do Bionte.

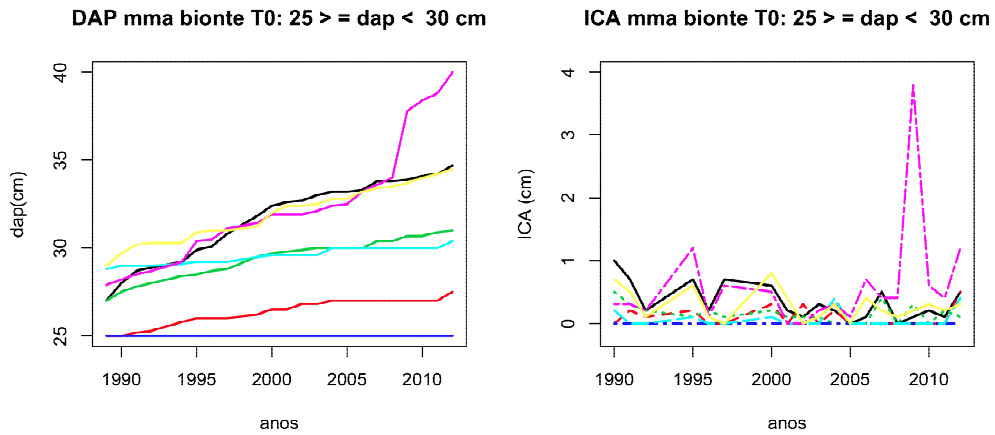


Figura 62: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 25 a 30 cm no T0 do Bionte.

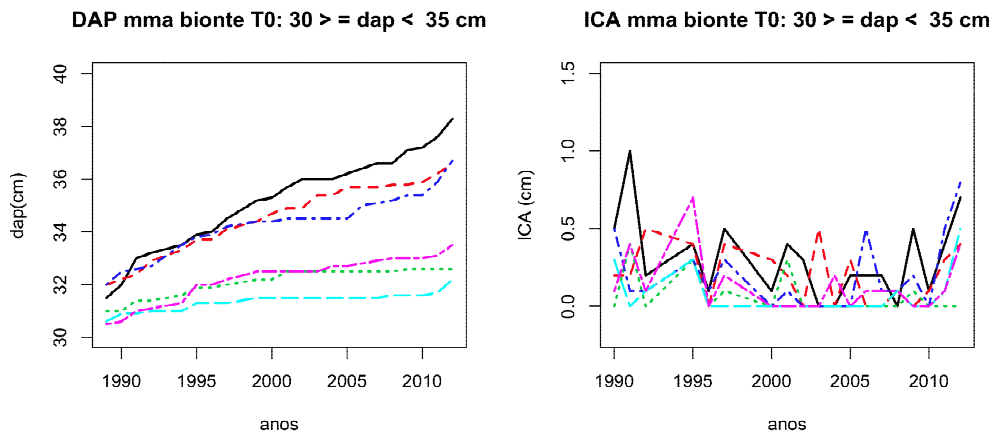


Figura 63: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 30 a 35 cm no T0 do Bionte.

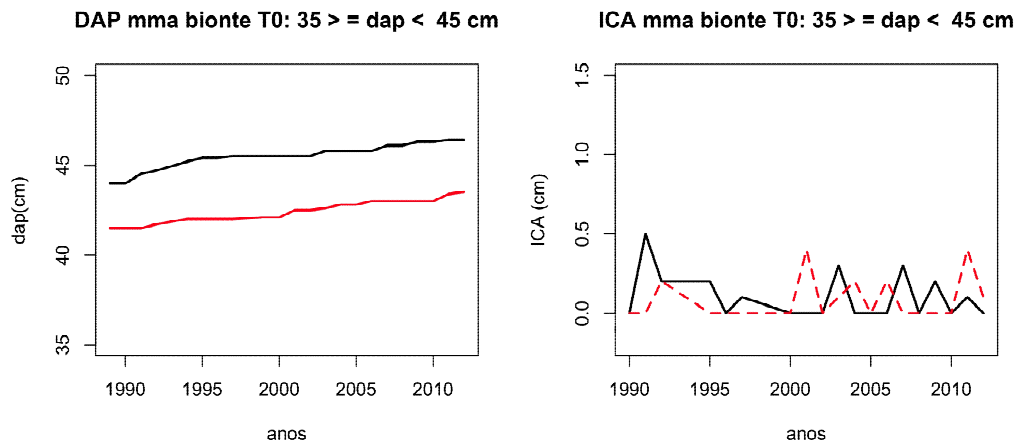


Figura 64: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica de 35 a 45 cm no T0 do Bionte.

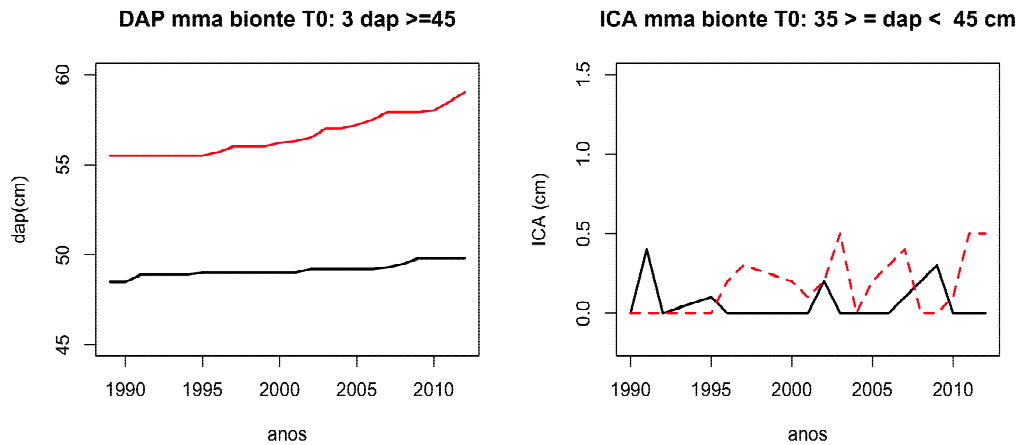


Figura 65: Curva de crescimento e incremento corrente anual de árvores de matamatá amarelo na classe diamétrica acima de 45 cm no T0 do Bionte.

### 3- Comportamento do Incremento Periódico Anual determinado com a datação com $^{14}\text{C}$ .

O modo como foi calculado a taxa de crescimento das árvores datadas com  $^{14}\text{C}$  permitiu reconhecer a variação temporal na taxa de crescimento dessas árvores. Abaixo estão os gráficos da curva do Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados e o Incremento Periódico Anual ponderado calculado para cada árvore. Nos gráficos onde os pontos datados nos raios foram plotados em cima da curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera, podemos observar que sempre ocorreu uma sequência lógica entre a distância da casca com a idade do carbono datado. O gráfico do IPA ponderado permite avaliar a variação na taxa de crescimento entre os dois raios da mesma árvore e ao longo do tempo.

### Matamatá 1 - Juruá

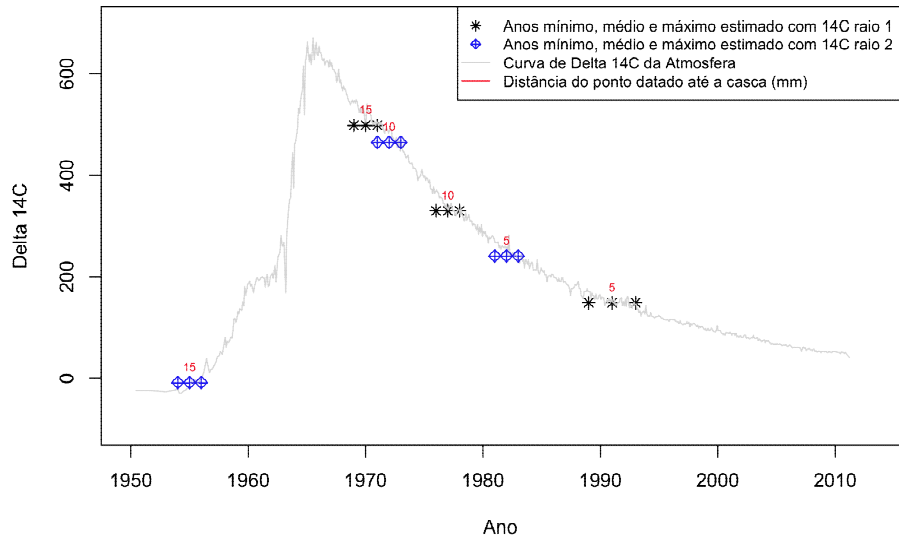


Figura 66: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA1-Juruá. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 1, Juruá (dap= 37.9)

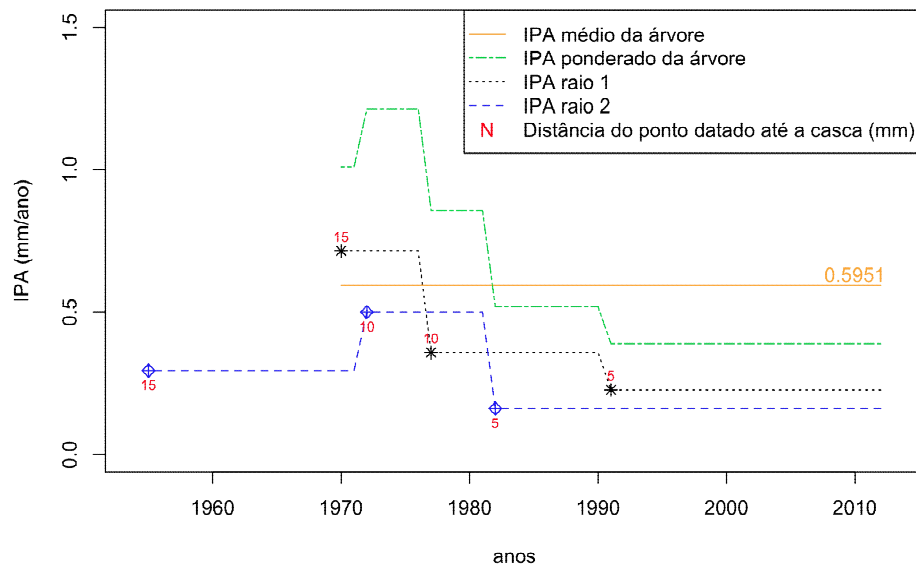


Figura 67: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA1. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 3 - Juruá

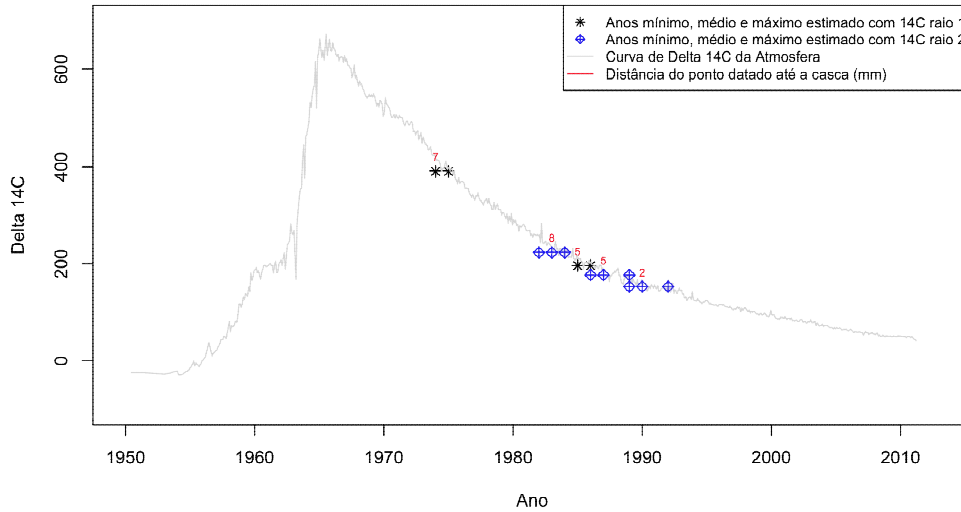


Figura 68: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA3-Juruá. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2. Este indivíduo apresentou um incremento muito lento o que impossibilitou reconhecer a datação em pontos além dos 8mm de distancia da casca.

### Incremento Matamatá 3, Juruá (dap= 32 m)

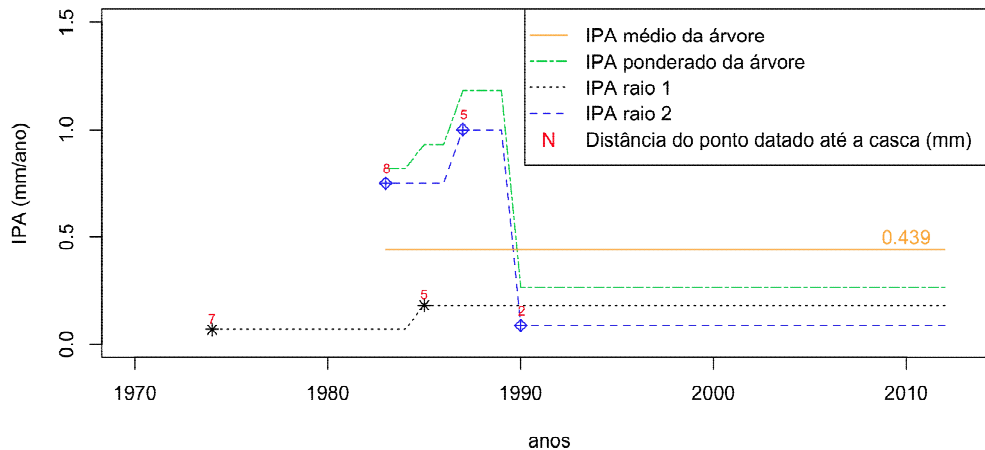


Figura 69: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA3. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.



### Matamatá 9 - Juruá

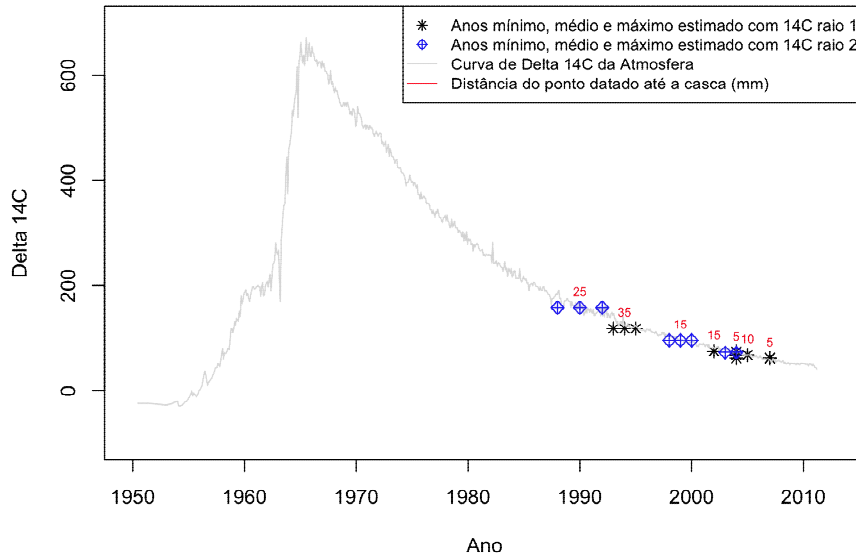


Figura 70: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA9-Juruá. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 9, Juruá (dap= 20 cm)

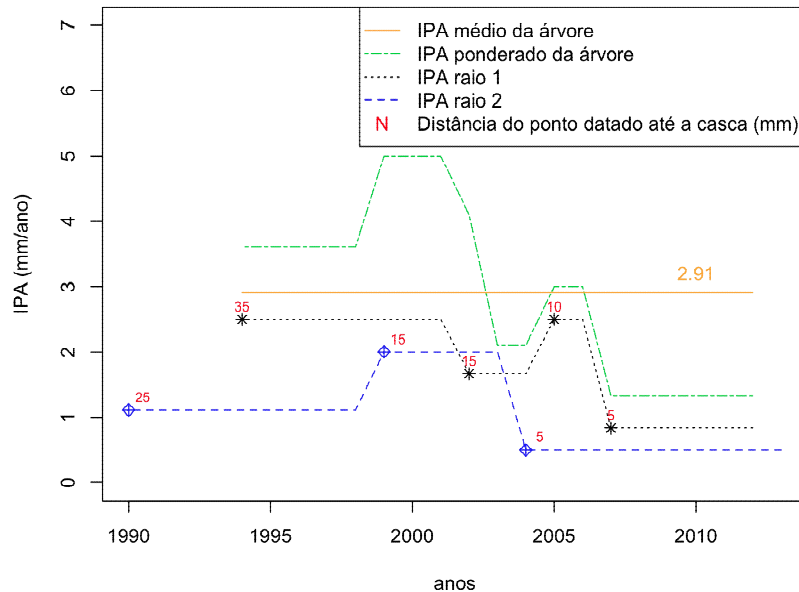


Figura 71: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA9. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◇” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 11 - Juruá

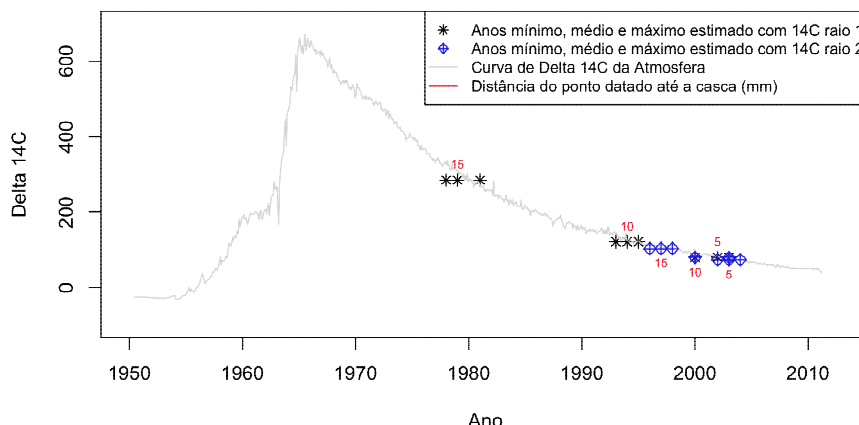


Figura 72: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA11-Juruá. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 11, Juruá (dap= 42.5 cm)

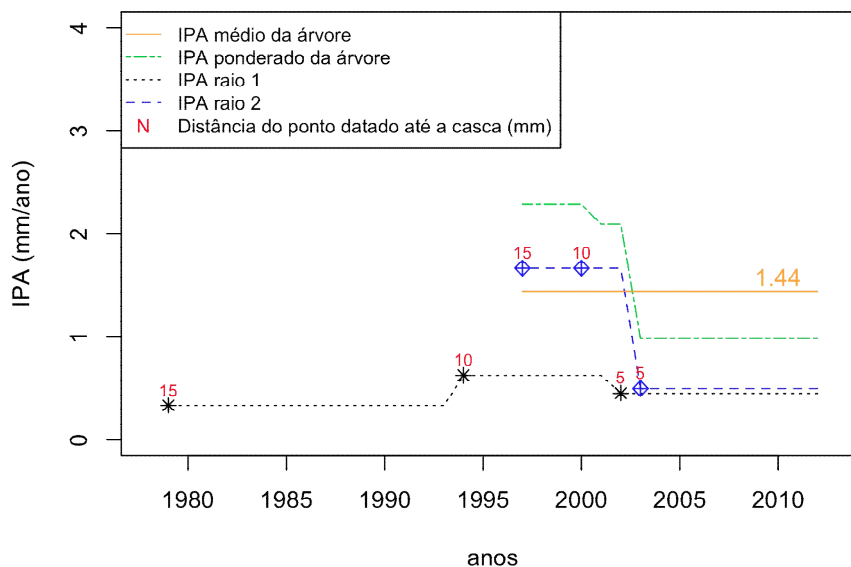


Figura 73: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA11. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 17 - Juruá

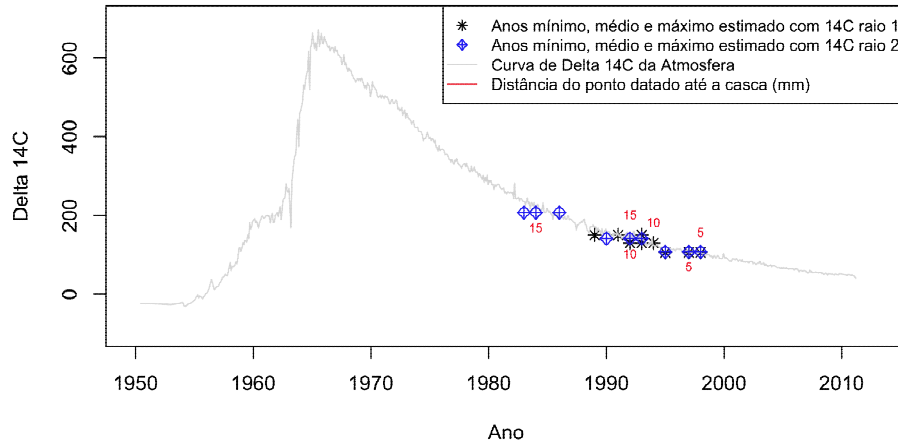


Figura 74: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA17-Juruá. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 17, Juruá (dap= 17.8 cm)

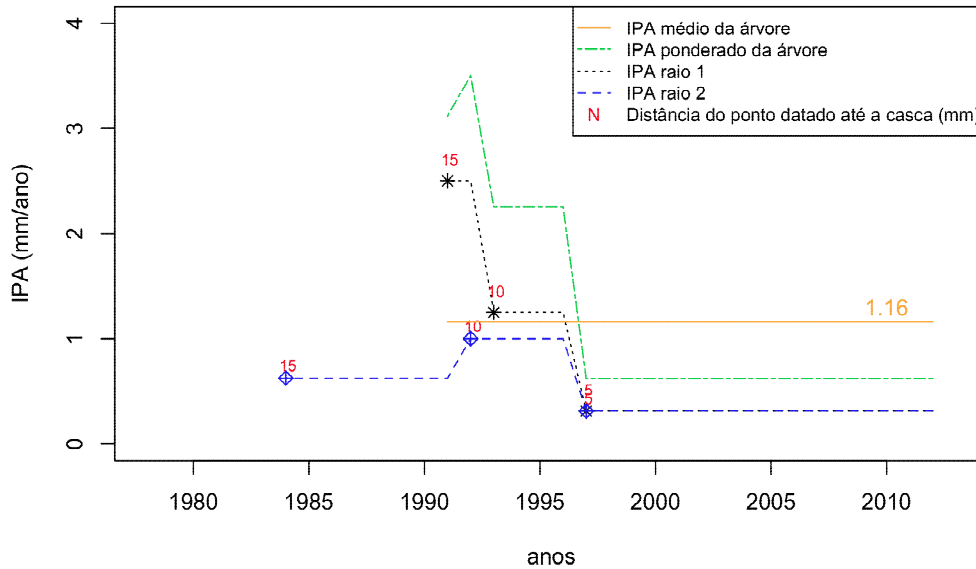


Figura 75: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA17. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 27 Atalaia do Norte

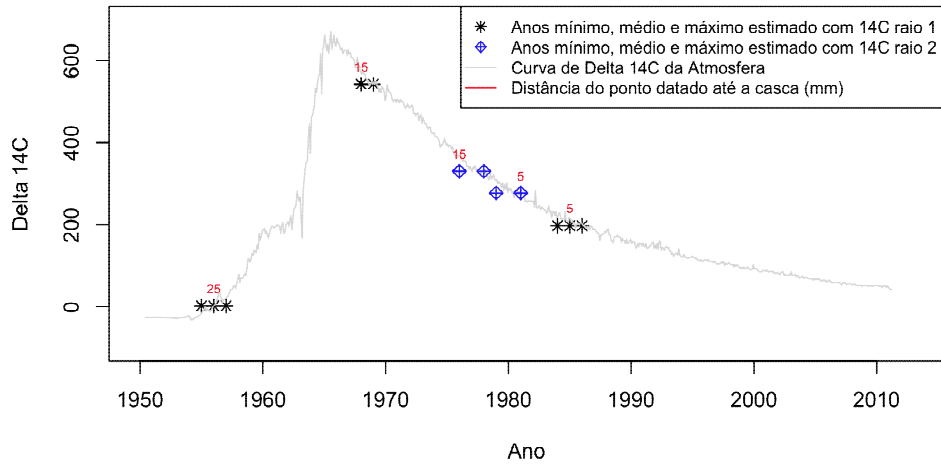


Figura 76: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA27-Atalaia do Norte. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 27, Atalaia (dap= 24.5 cm)

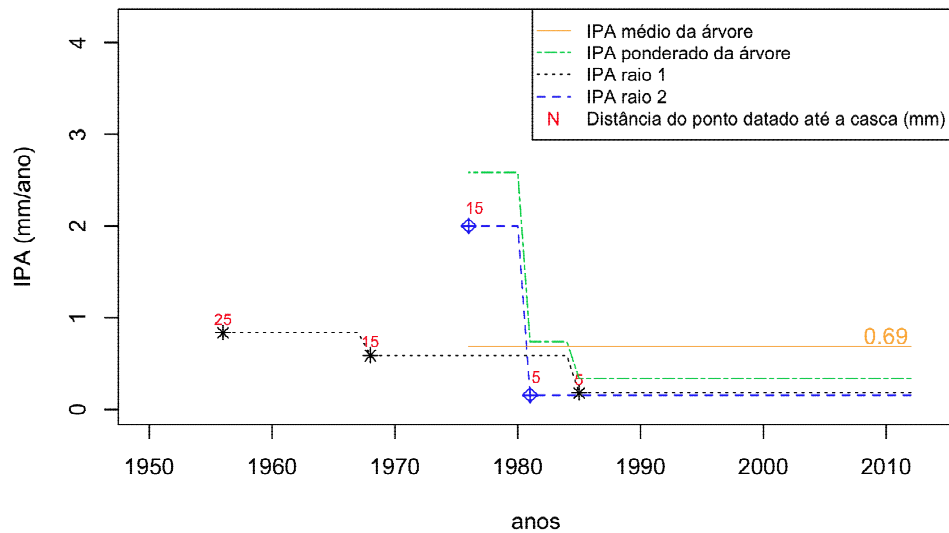


Figura 77: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA27. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◇” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

Figura 78: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA28-Atalaia do Norte. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

Colocar a figura

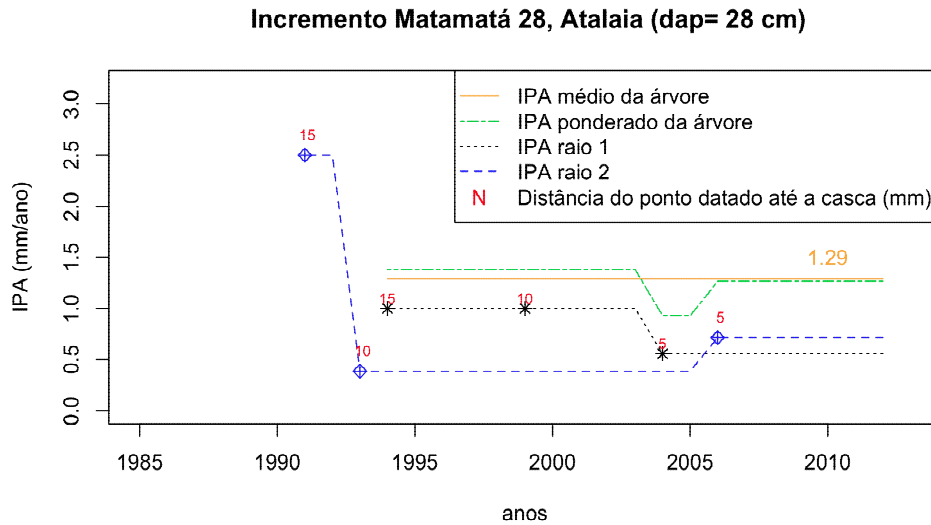


Figura 79: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA28. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

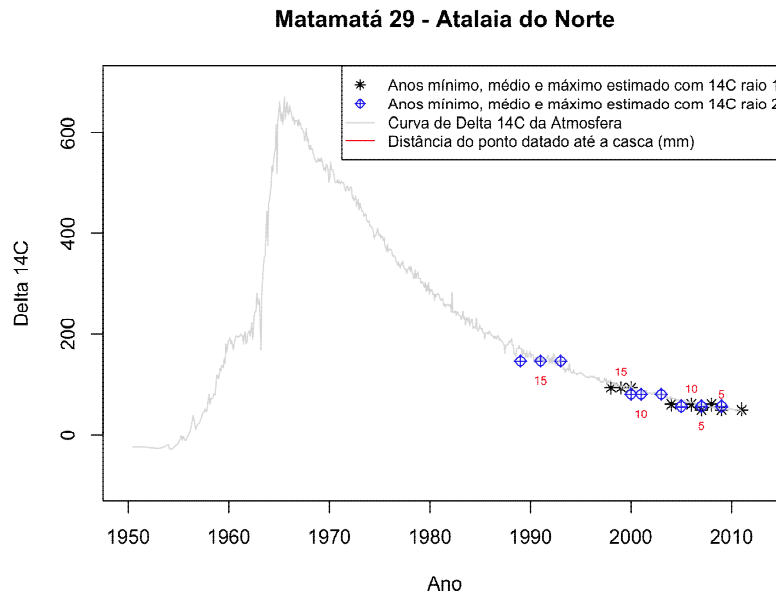


Figura 80: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA29-Atalaia do Norte. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

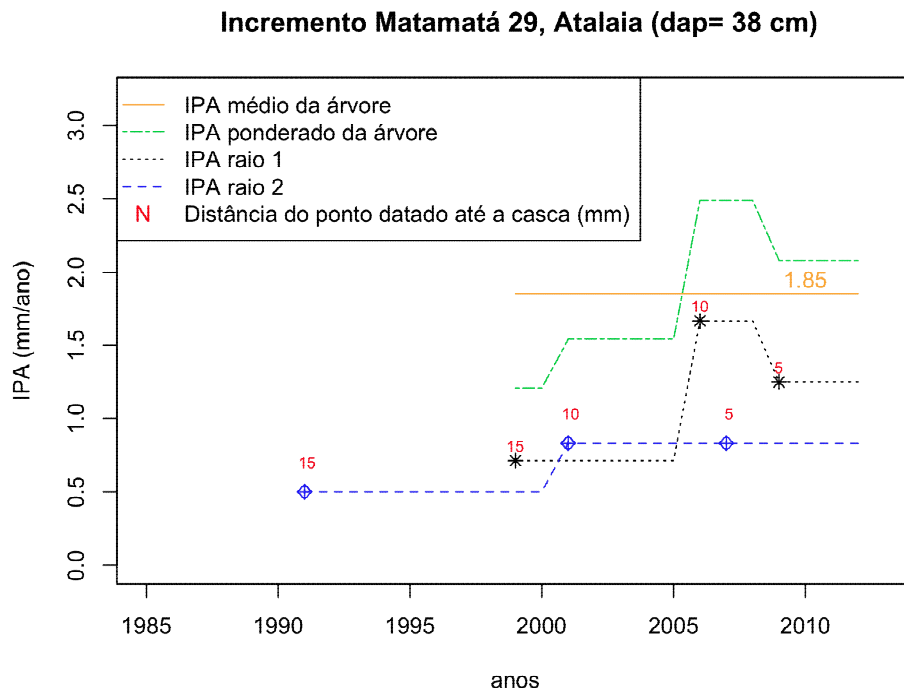


Figura 81: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA29. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 30 - Atalaia do Norte

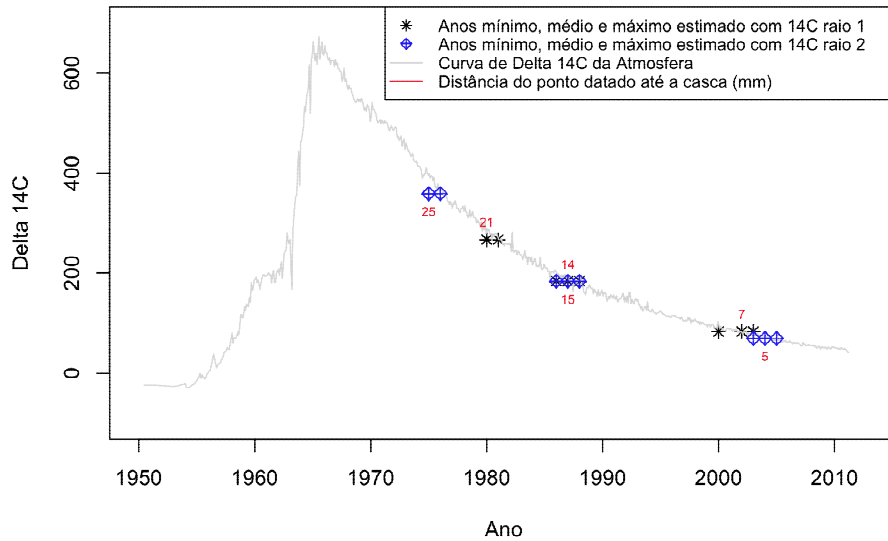


Figura 82: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA30-Atalaia do Norte. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 30, Atalaia (dap= 17.9 cm)

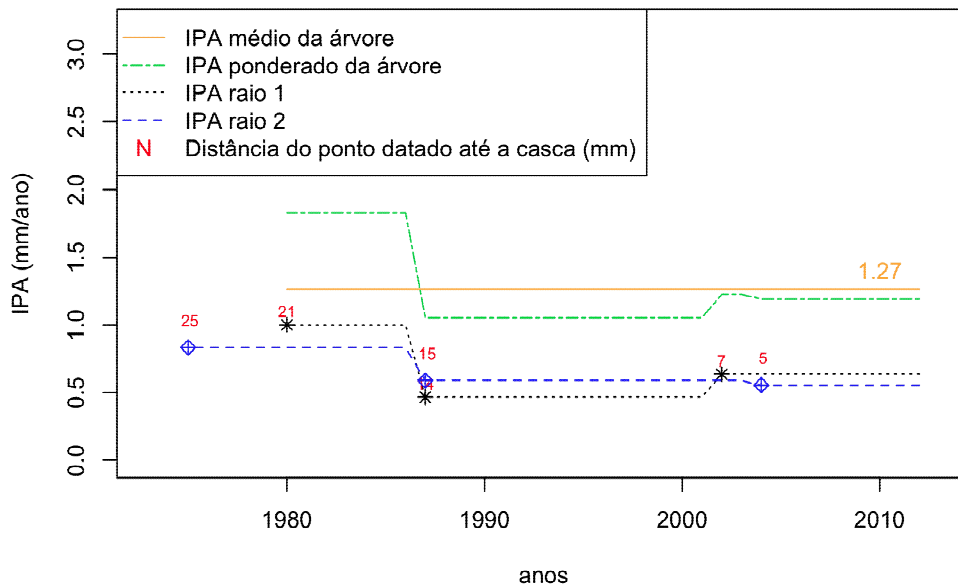


Figura 83: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA30. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 31 - Atalaia do Norte

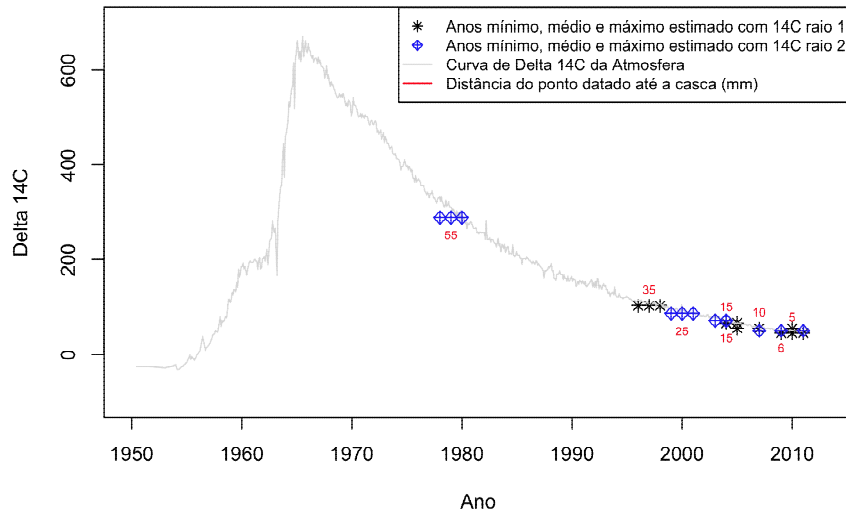


Figura 84: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA31-Atalaia do Norte. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 31, Atalaia (dap= 26.3 cm)

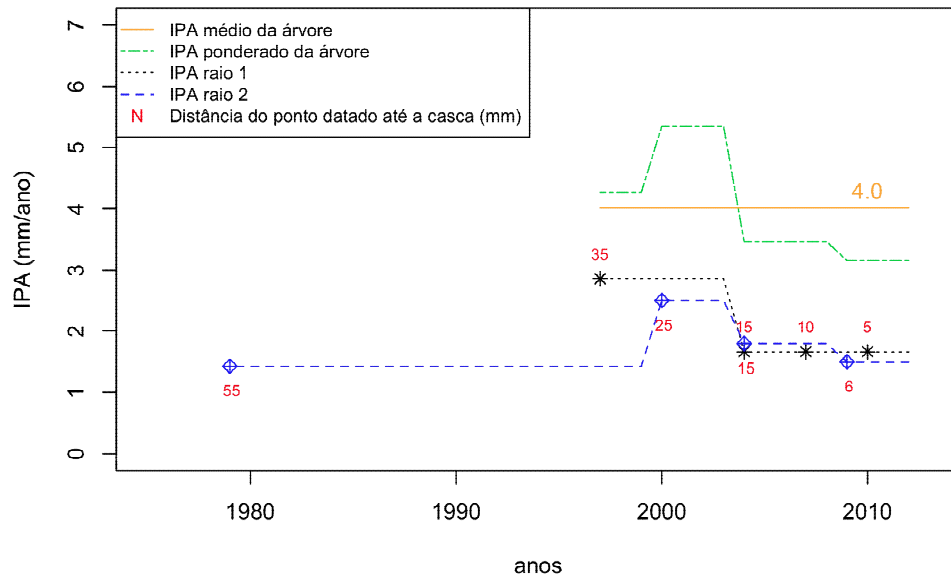


Figura 85: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA31. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.



### Matamatá 36 - São Gabriel da Cachoeira

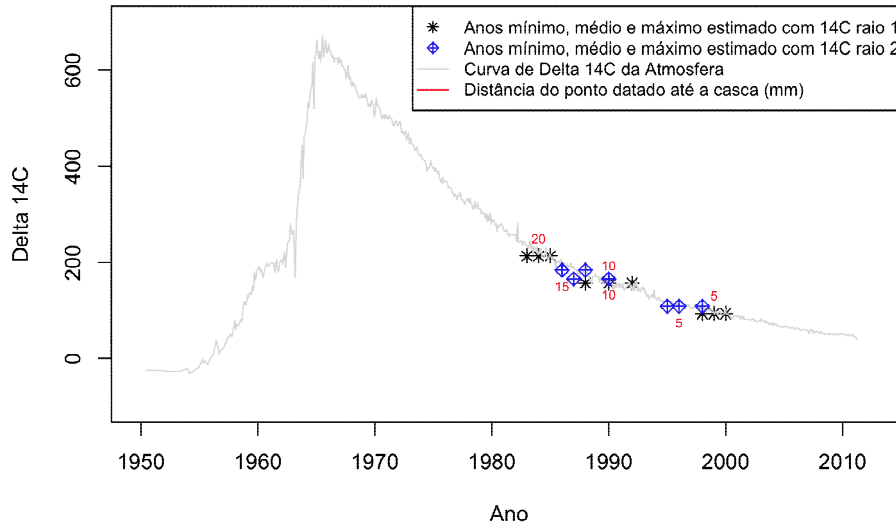


Figura 86: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA36- São Gabriel da Cachoeira. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 36, São Gabriel da Cachoeira (dap= 25.5 cm)

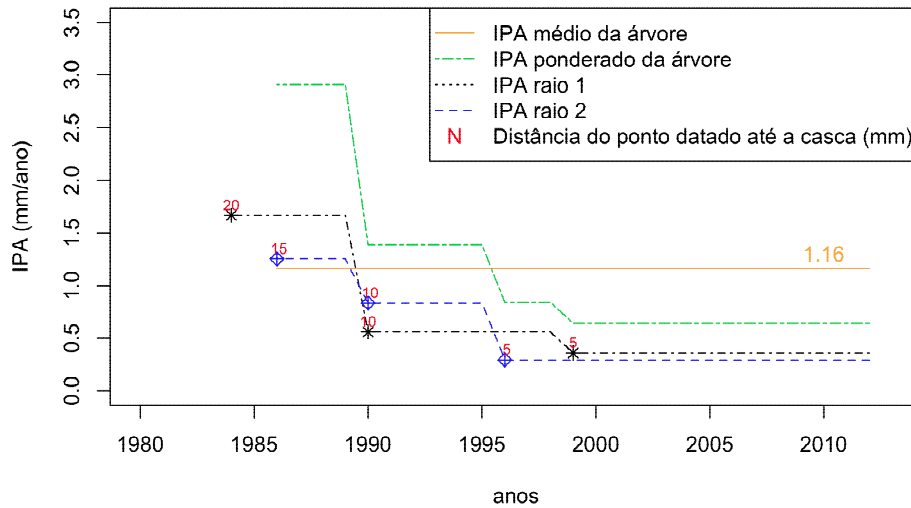


Figura 87: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA36. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 38 - São Gabriel da Cachoeira

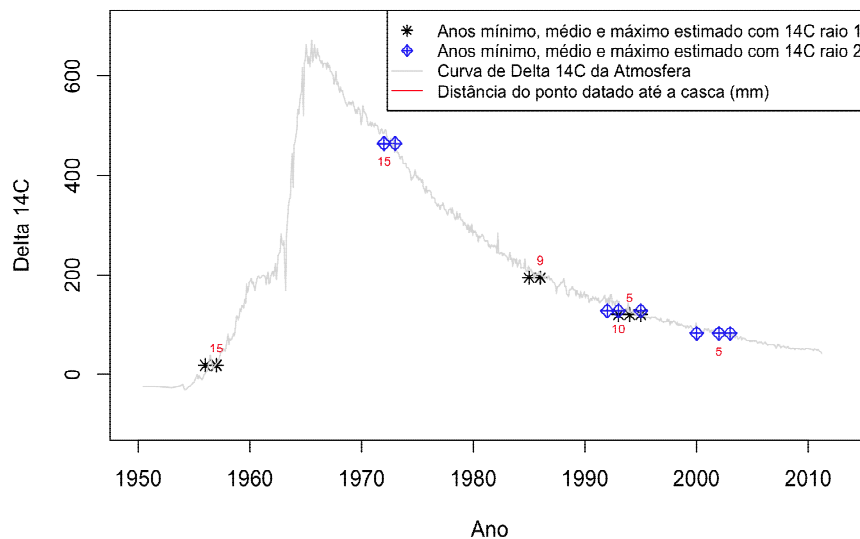


Figura 88: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA38- São Gabriel da Cachoeira. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 38, São Gabriel da Cachoeira (dap= 22.5 cm)

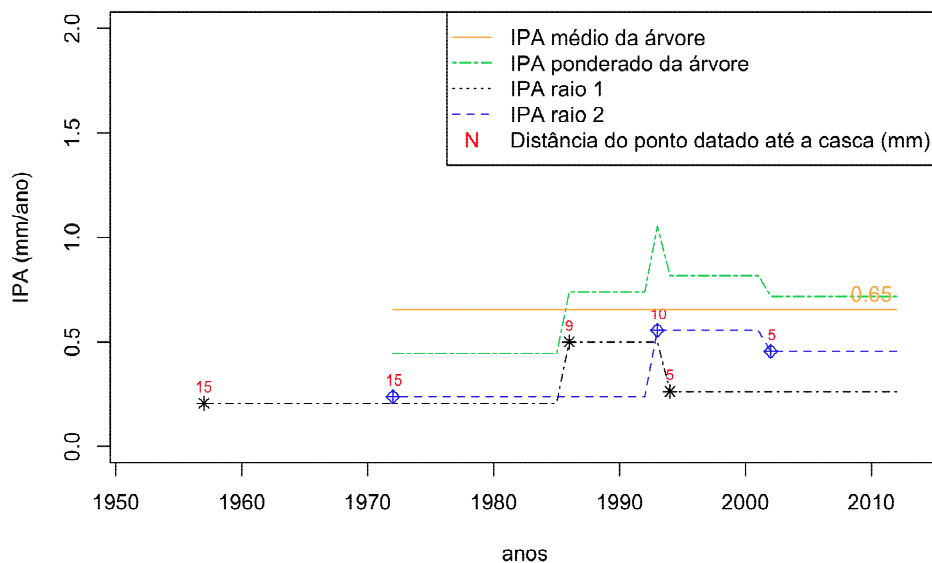


Figura 89: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA38. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 39 - São Gabriel da Cachoeira

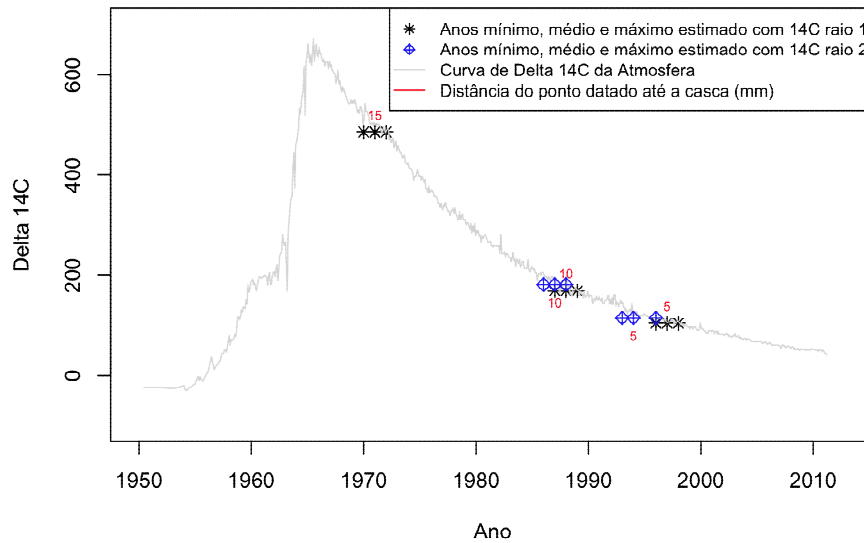


Figura 90: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA39- São Gabriel da Cachoeira. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 39, São Gabriel da Cachoeira (dap= 25.5 cm)

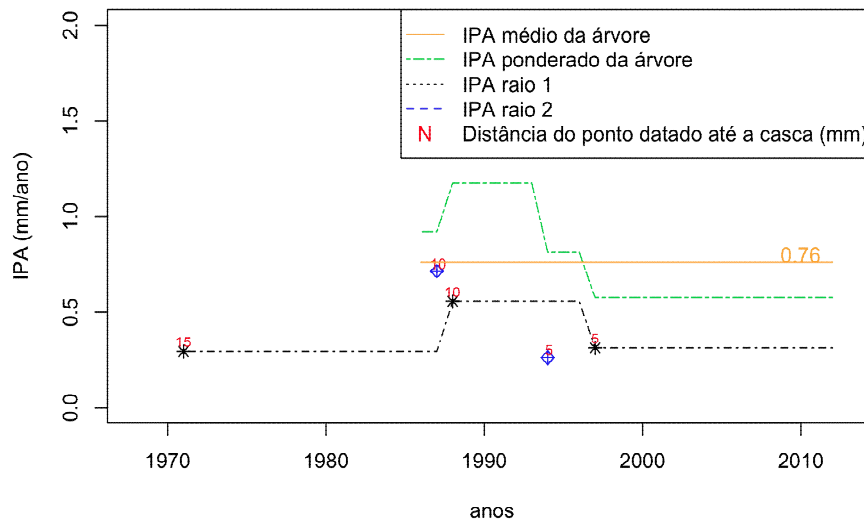


Figura 91: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA39. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 43 - São Gabriel da Cachoeira

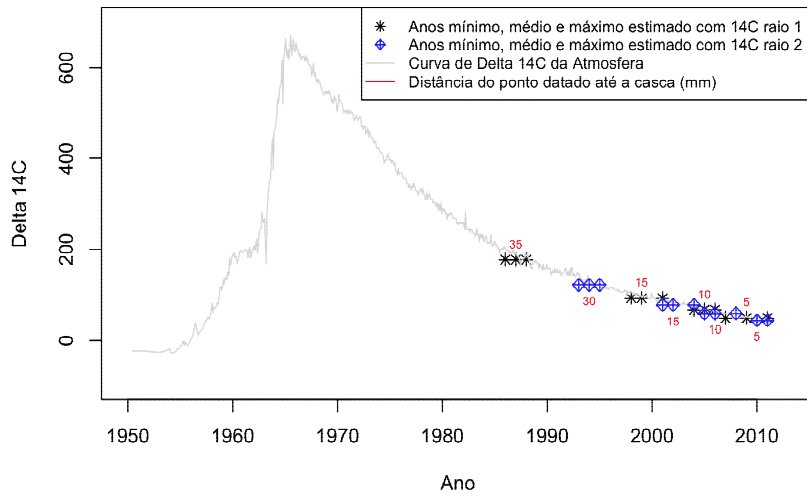


Figura 92: Curva de  $\Delta^{14}C$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA43- São Gabriel da Cachoeira. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 43, São Gabriel da Cachoeira (dap= 26 cm)

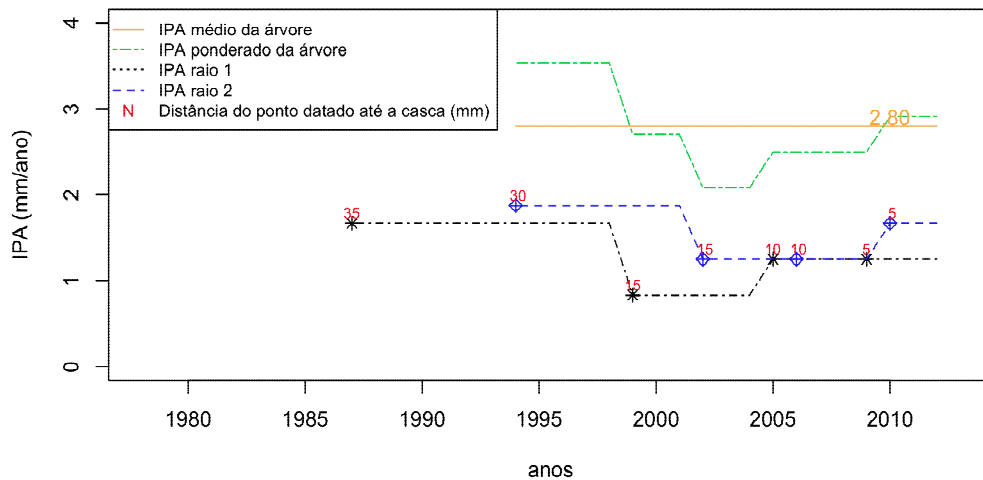


Figura 93: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA43. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◇” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 53 - Manicoré

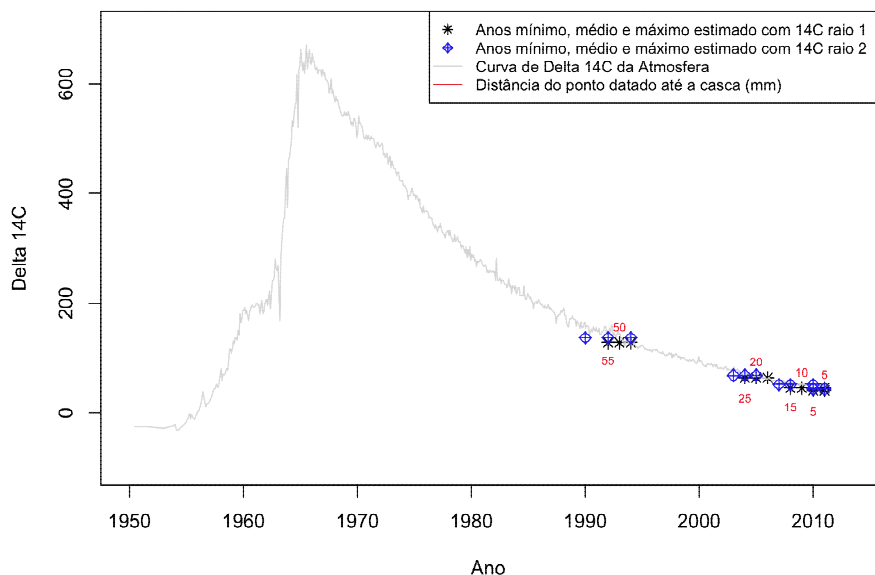


Figure 94: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA53- Manicoré. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 53, Manicoré (dap= 18 cm)

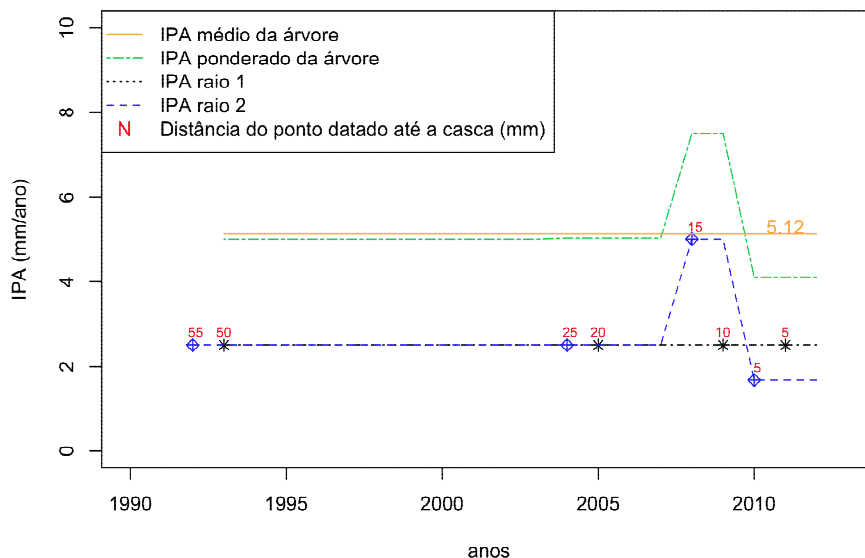


Figure 95: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA53. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 56 - Manicoré

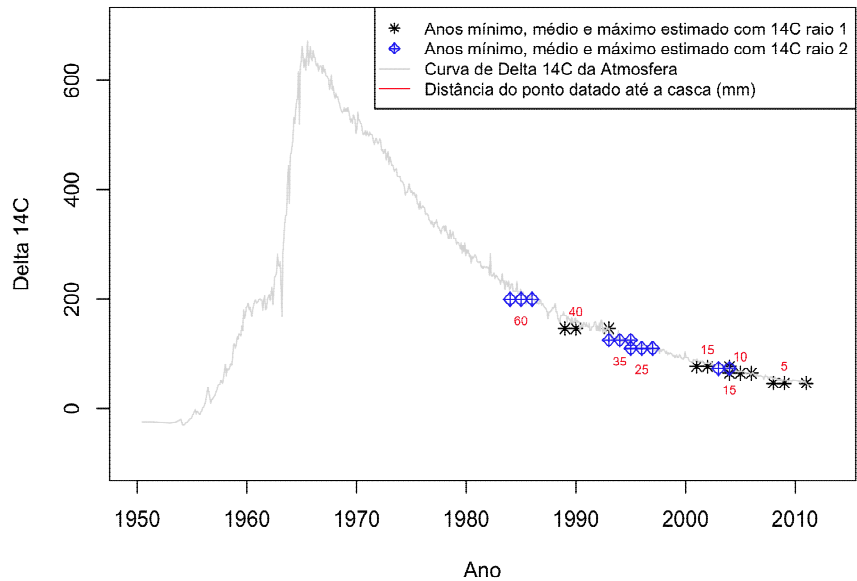


Figure 96: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA56- Manicoré. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 56, Manicoré (dap= 29 cm)

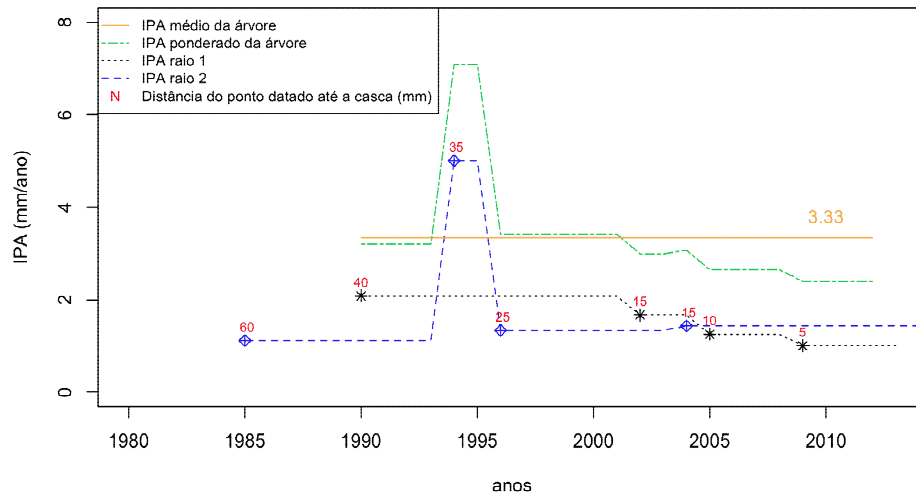


Figure 97: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA56. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 57 - Manicoré

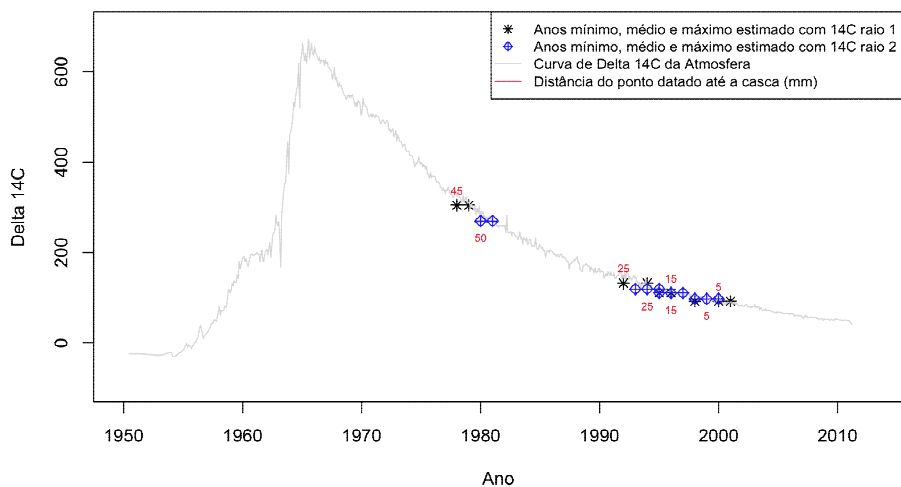


Figure 98: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA57- Manicoré. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 57, Manicoré (dap= 27.5 cm)

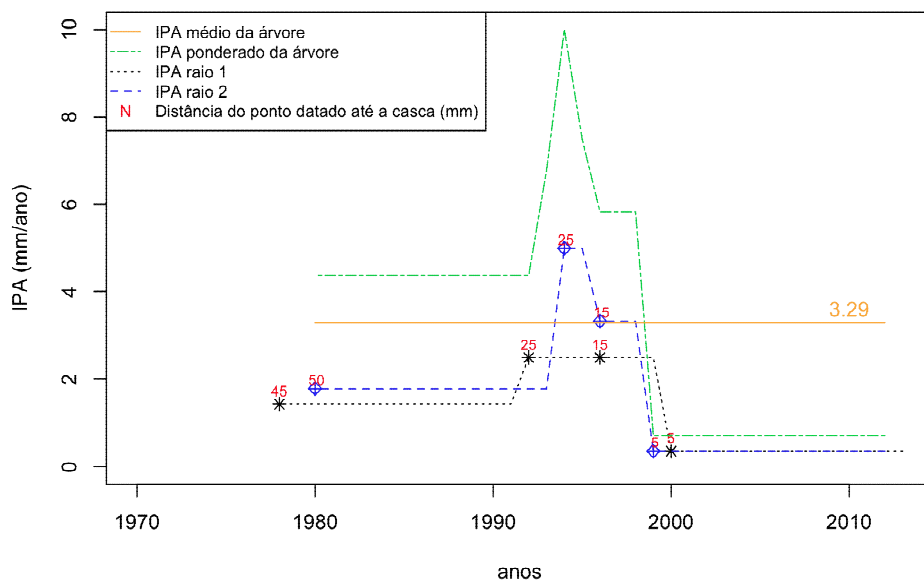


Figure 99: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA57. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 61 - Manicoré

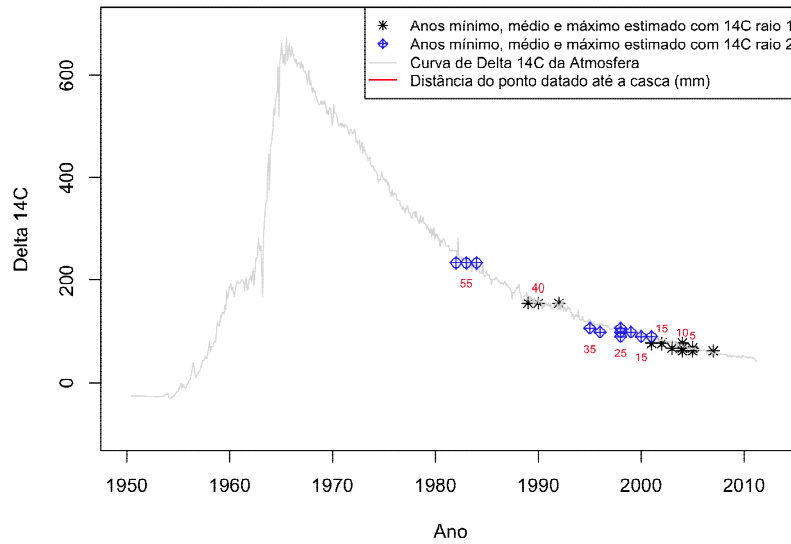


Figure 100: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA61- Manicoré. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 61, Manicoré (dap= 25.7cm)

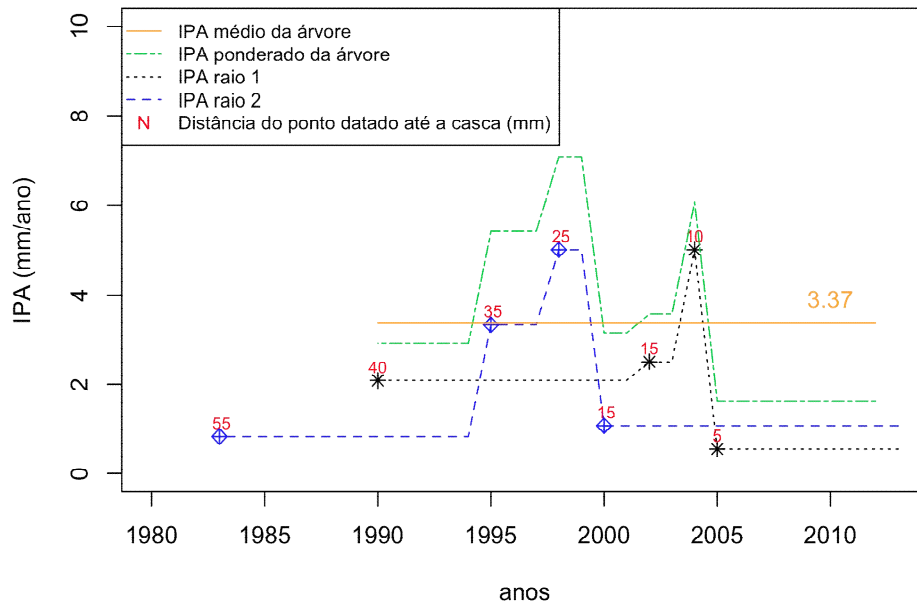


Figure 101: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA57. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.



### Matamatá 62 - Manicoré

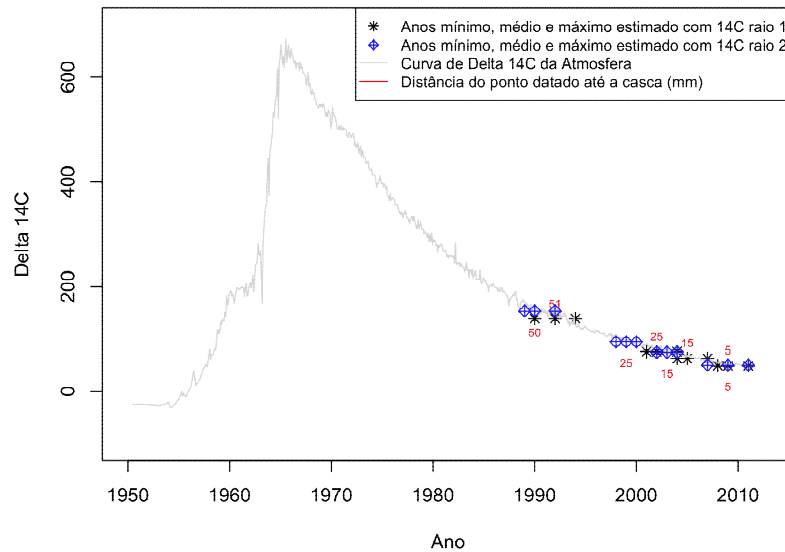


Figure 102: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA62 Manicoré. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 62, Manicoré (dap= 27 cm)

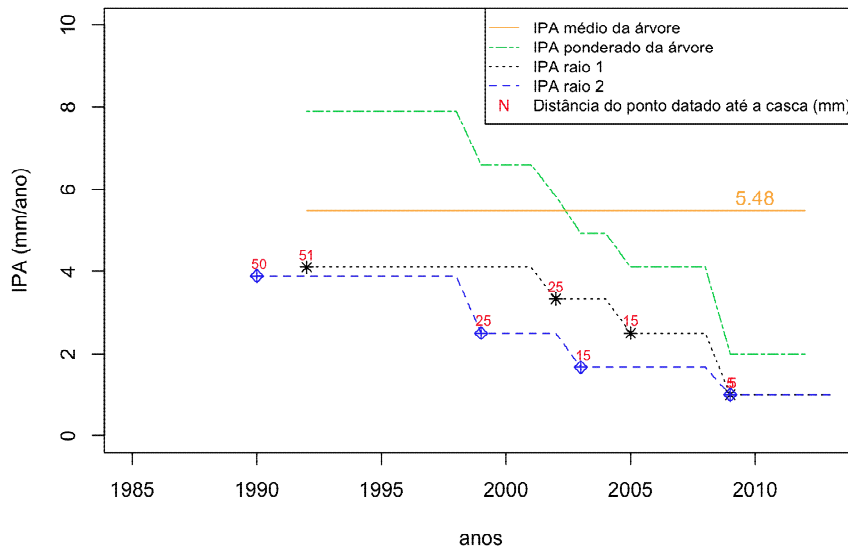


Figure 103: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA62. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 66 - Maués

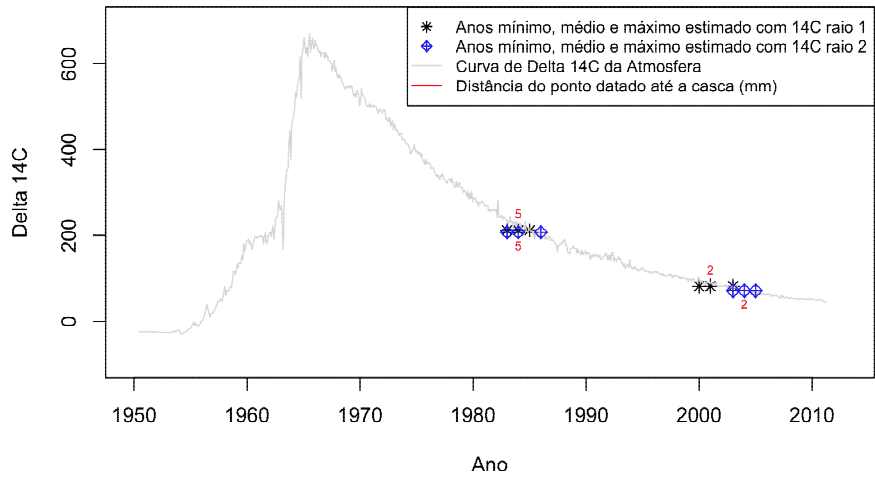


Figure 104: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA66 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 66, Maués (dap= 25 cm)

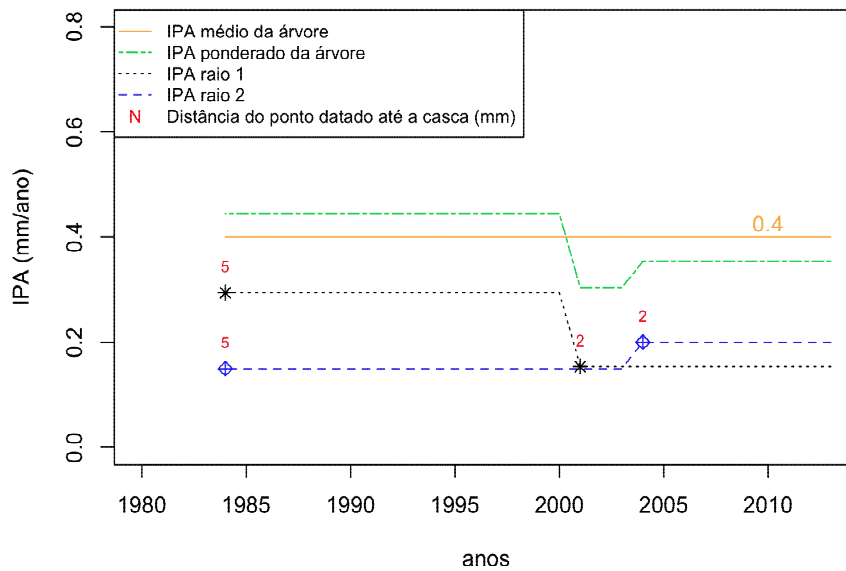


Figure 105: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA66. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 69 - Maués

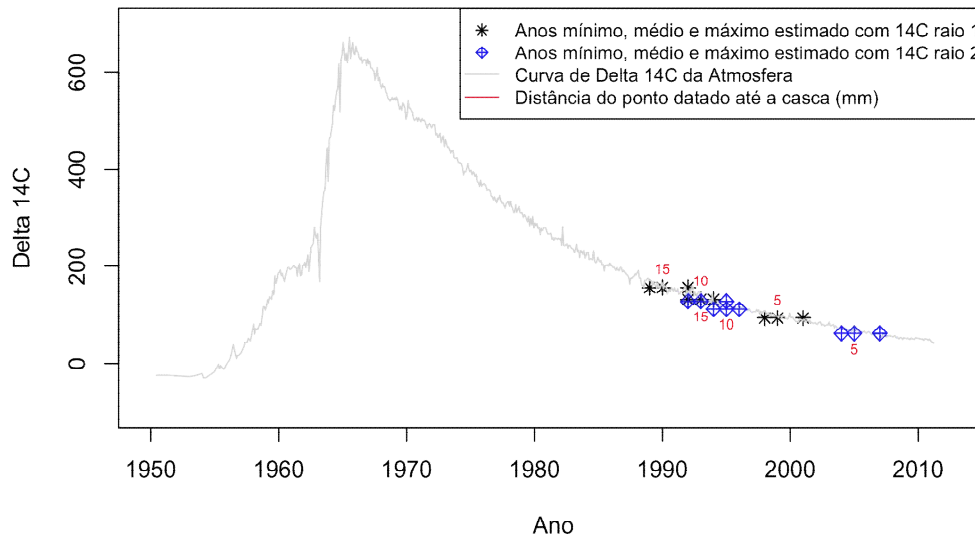


Figure 106: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA69 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 69, Maués (dap= 18.5 cm)

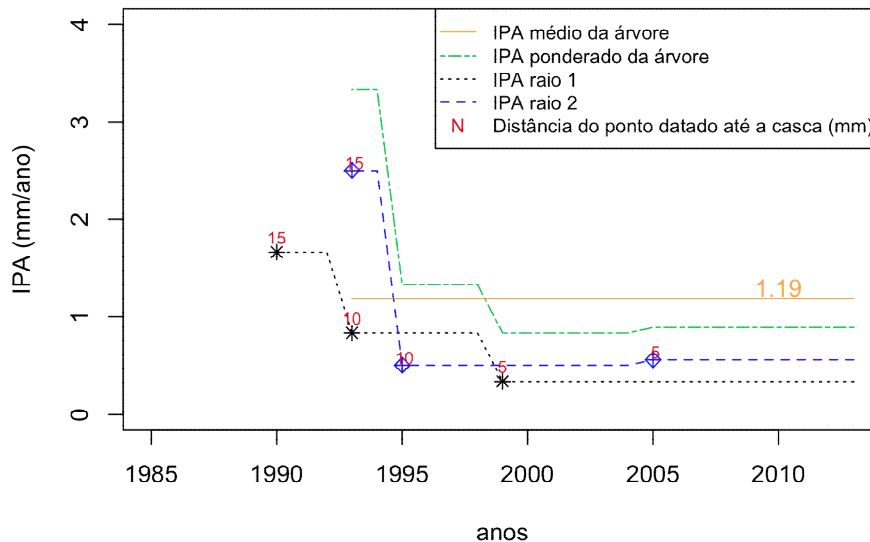


Figure 107: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA69. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual Ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 71 - Maués

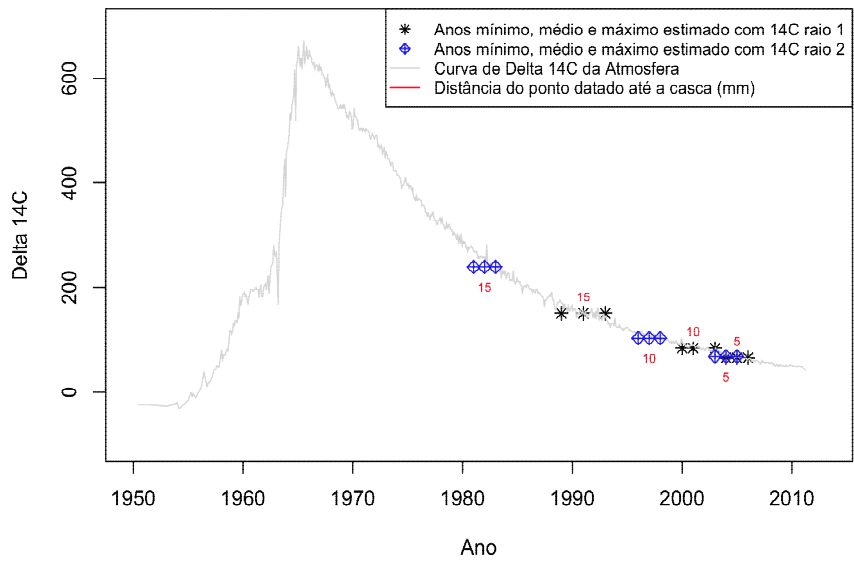


Figure 108: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA71 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 71, Maués (dap= 18 cm)

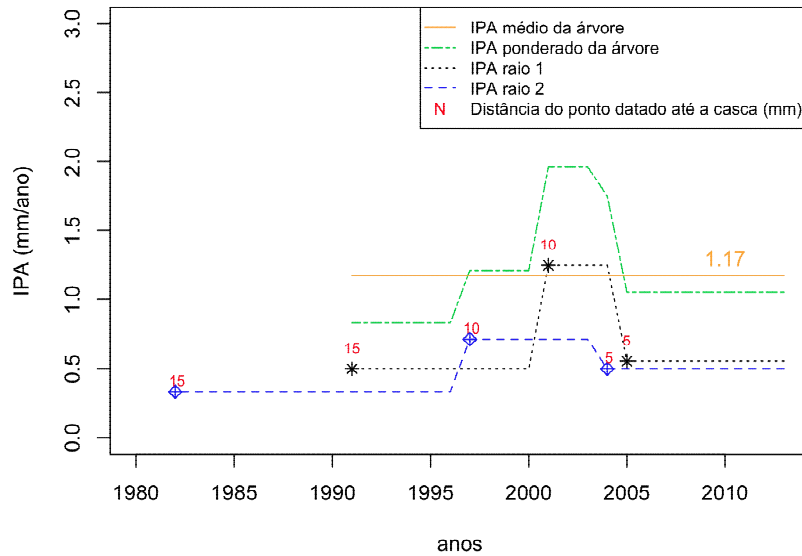


Figure 109: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA71. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 72 - Maués

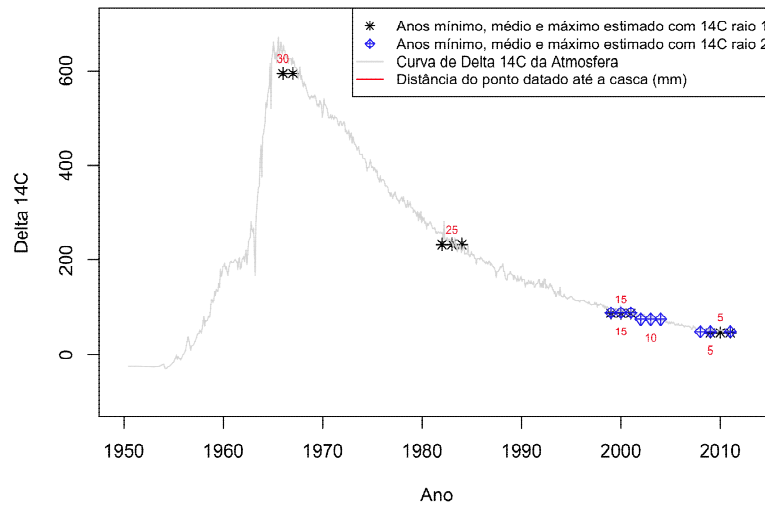


Figure 110: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA72 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 72, Maués (dap= 20 cm)

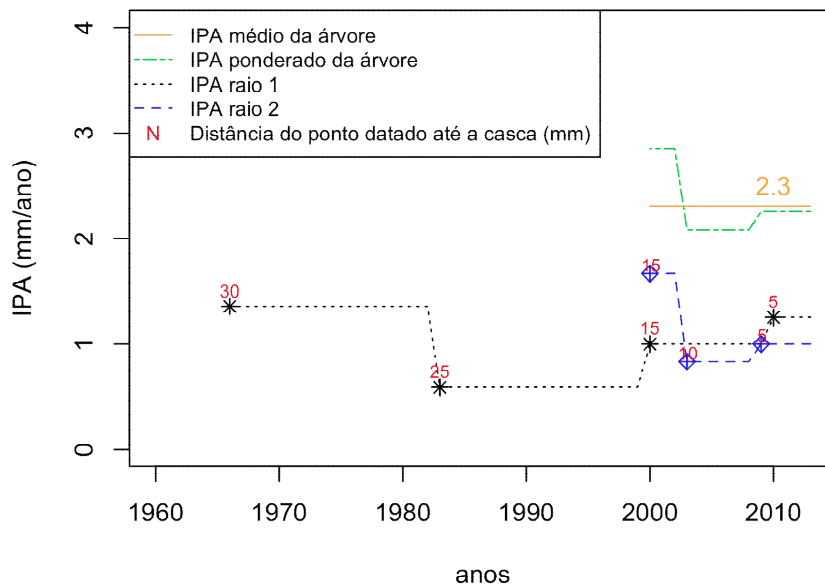


Figure 111: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA72. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diâmetro. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá 73 - Maués

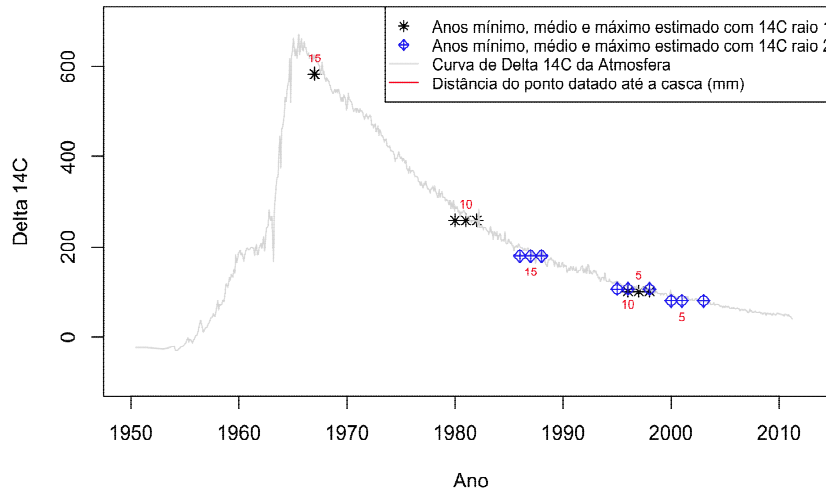


Figure 112: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore MMA73 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá 73, Maués (dap= 22 cm)

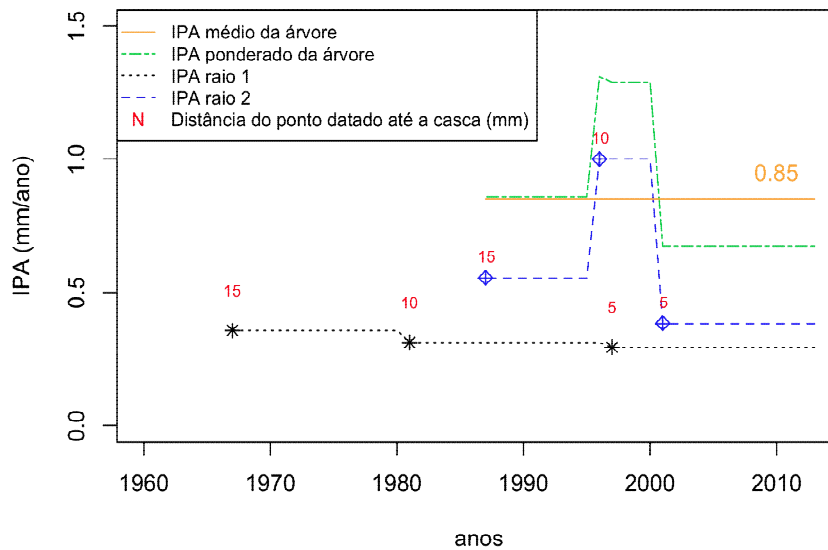


Figure 113: Incremento periódico anual ponderado médio de MMA73. Em preto com o símbolo "\*" são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo "◆" indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá zm1 - Manaus

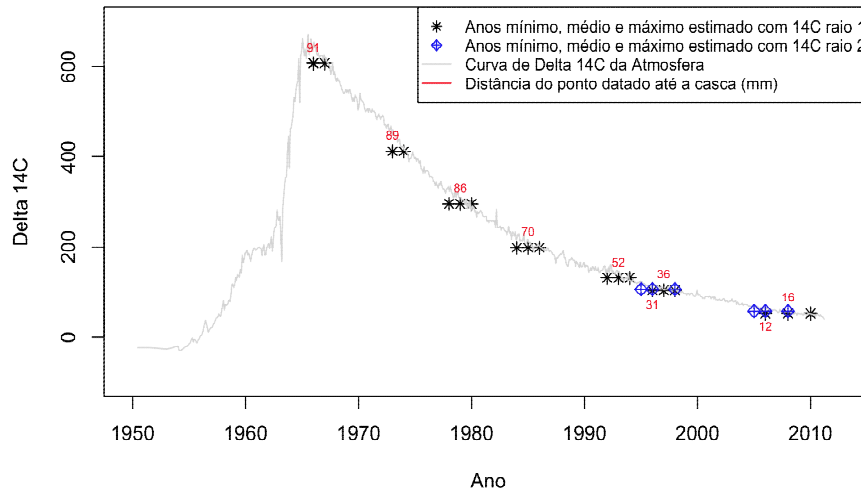


Figure 114: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZM1 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá zm1, Manaus (dap= 47.7 cm)

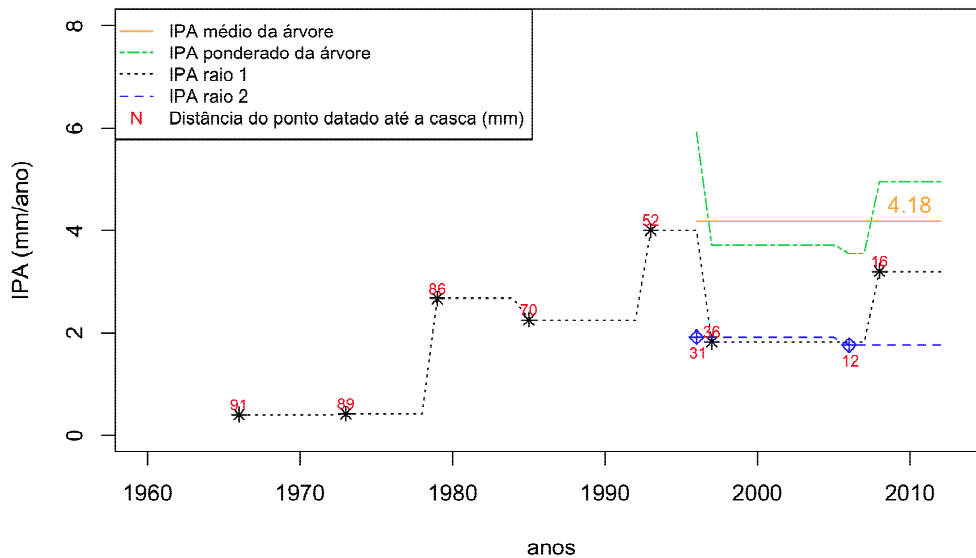


Figure 115: Incremento periódico anual ponderado médio de ZM1. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá zm2 - Manaus

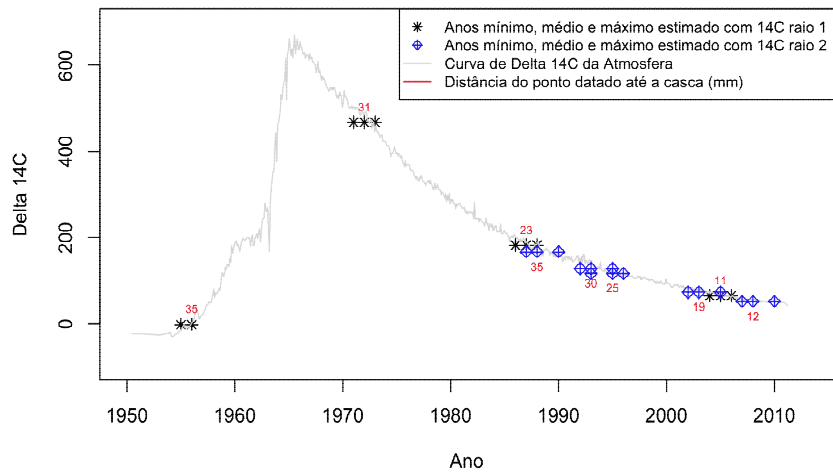


Figure 116: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZM2 Maués. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá zm2, Manaus (dap= 38.2 cm)

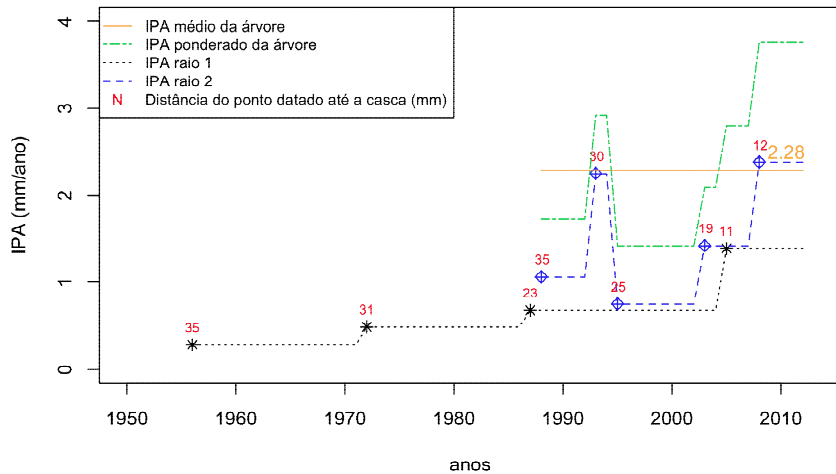


Figure 117: Incremento periódico anual ponderado médio de ZM2. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.



### Matamatá zm3 - Manaus

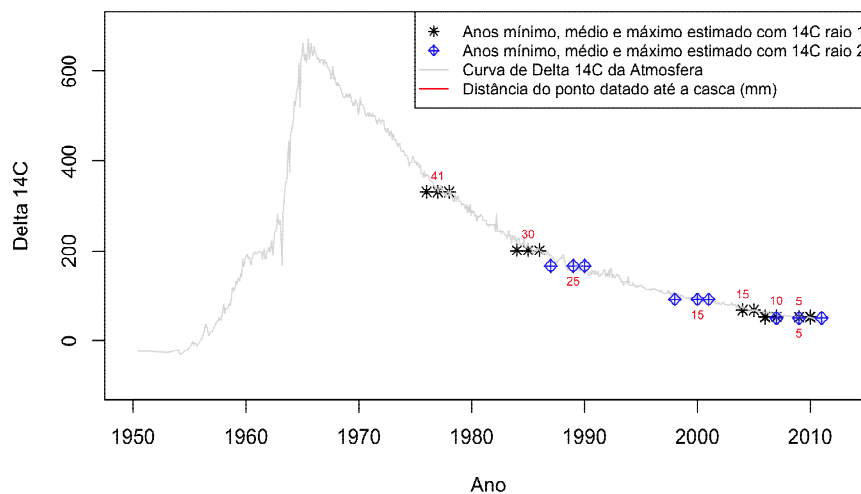


Figure 118: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZM3 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá zm3, Manaus (dap= 28 cm)

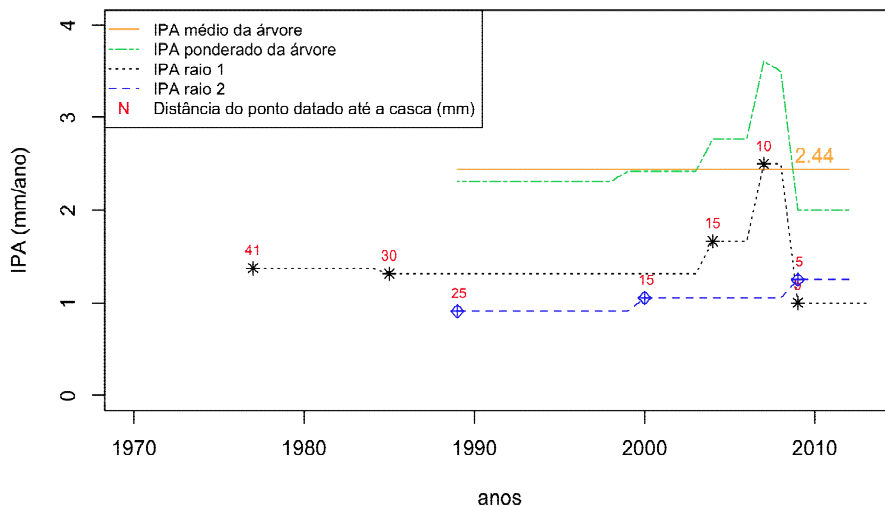


Figure 119: Incremento periódico anual ponderado médio de ZM3. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá zm4 - Manaus

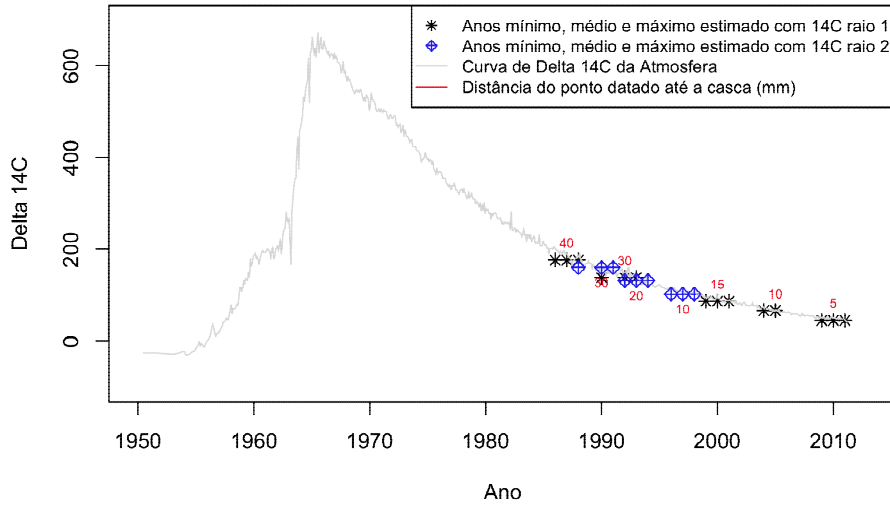


Figure 120: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZM4 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá zm4, Manaus (dap= 26 cm)

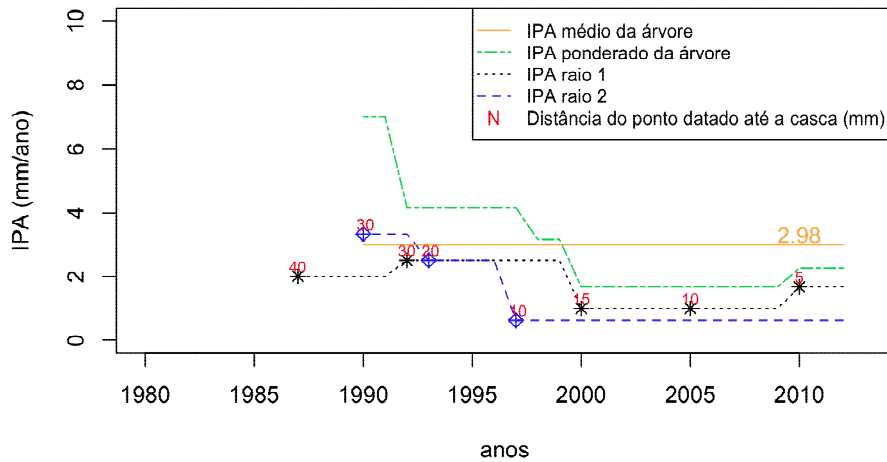


Figure 121: Incremento periódico anual ponderado médio de ZM4. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diâ métrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Matamatá zm5 - Manaus

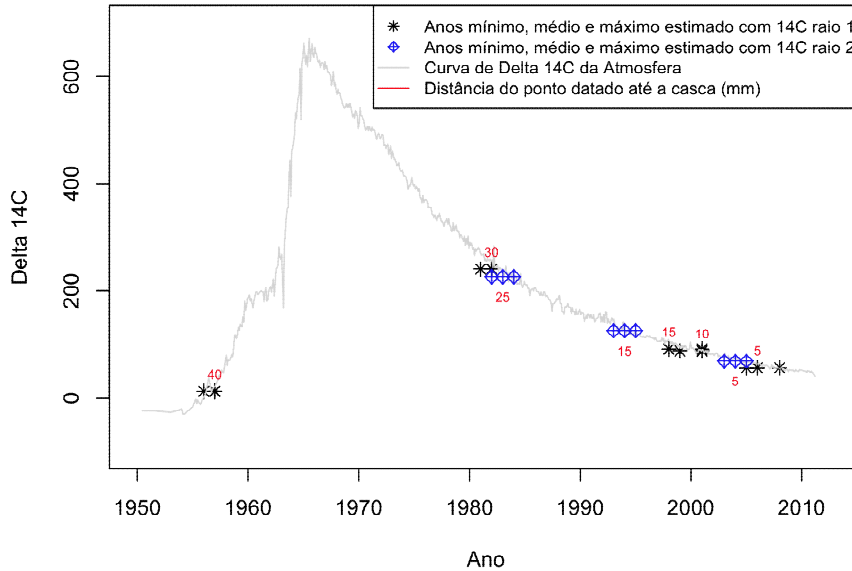


Figure 122: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZM5 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Matamatá zm5, Manaus (dap= 19.7 cm)

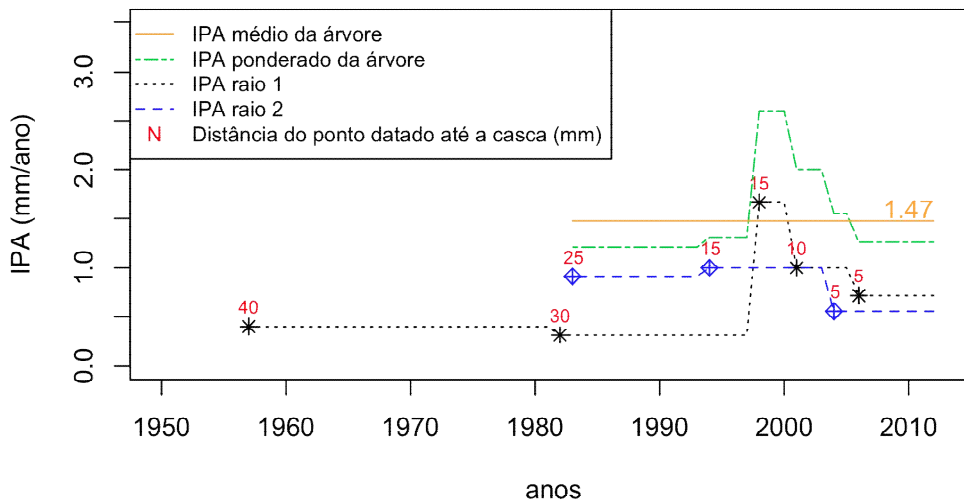


Figure 123: Incremento periódico anual ponderado médio de ZM5. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Ucuuba - Punã zu1 - Manaus

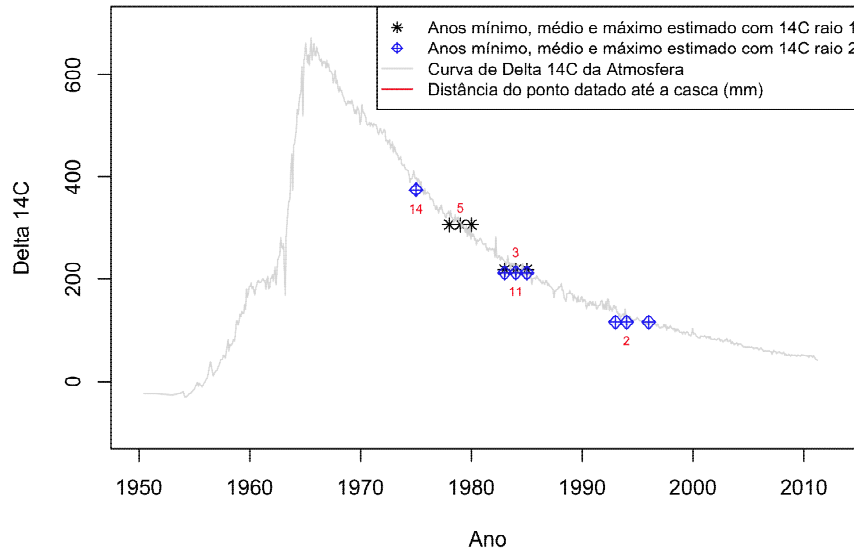


Figure 124: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZU1 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Ucuuba zu1, Manaus (dap= 24.8 cm)

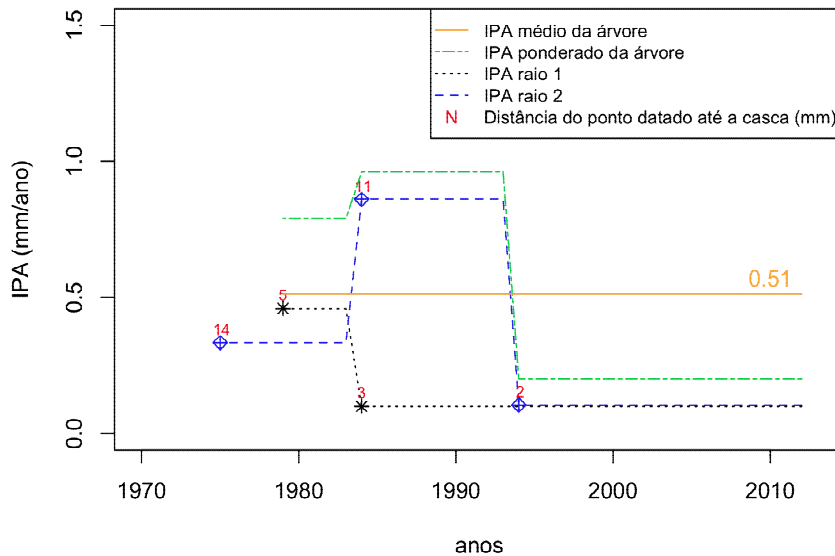


Figure 125: Incremento periódico anual ponderado médio de ZU1. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Ucuuba - punã zu2 - Manaus

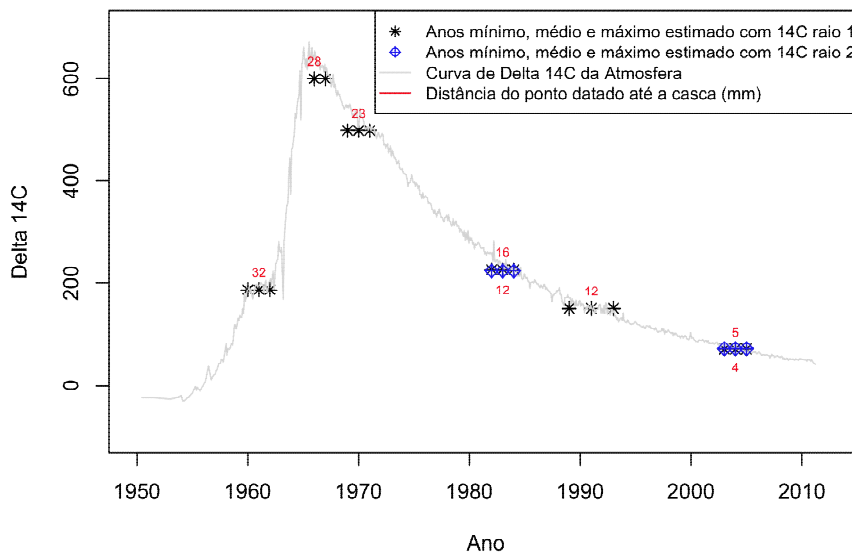


Figure 126: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZU2 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Ucuuba zu2, Manaus (dap= 30.5 cm)

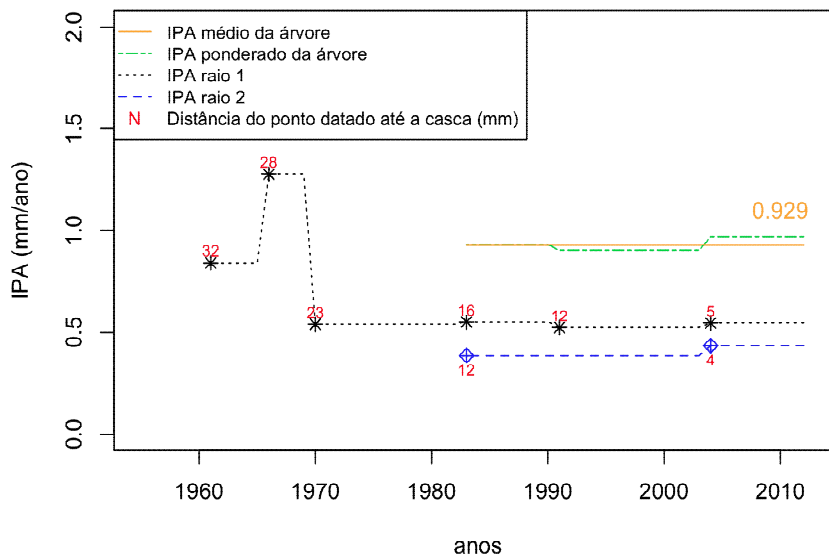


Figure 127: Incremento periódico anual ponderado médio de ZU2. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Ucuuba - Punã zu3 - Manaus

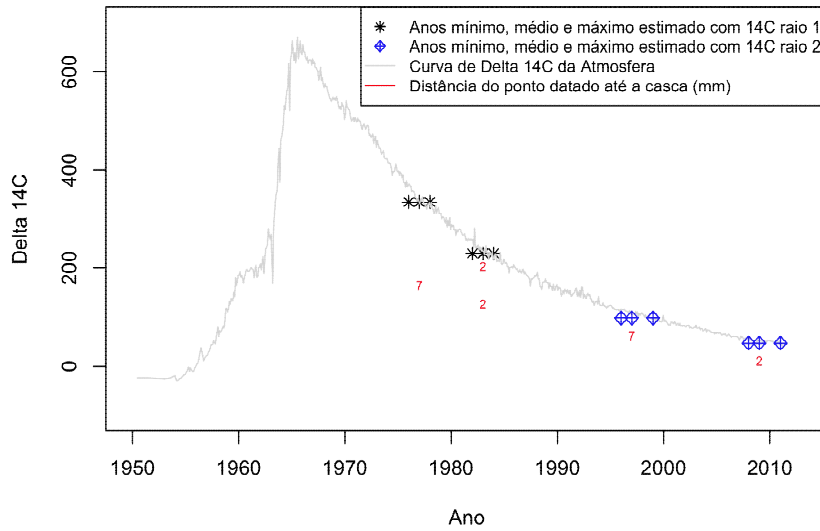


Figure 128: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZU3 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Ucuuba zu3, Manaus (dap= 28 cm)

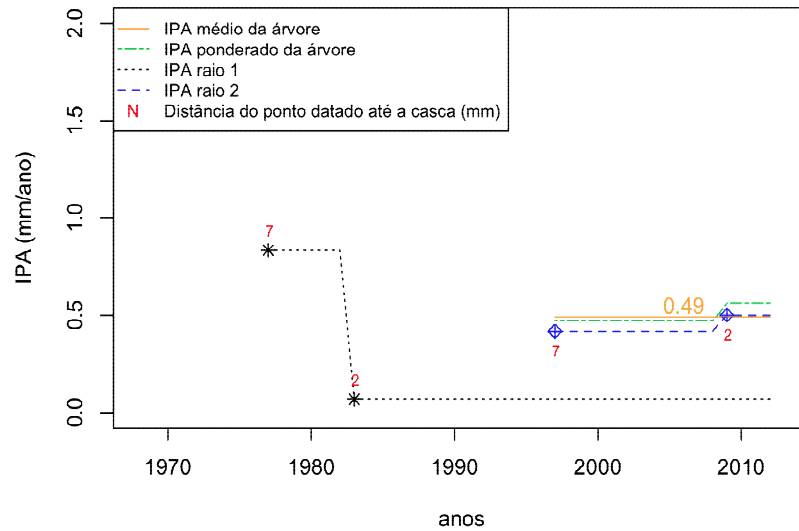


Figure 129: Incremento periódico anual ponderado médio de ZU3. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Ucuuba - punã zu4 - Manaus

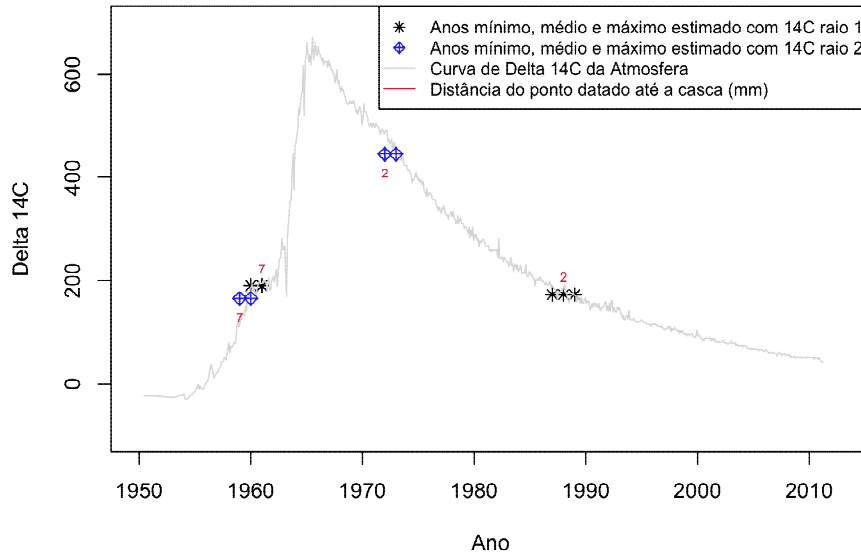


Figure 130: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZU4 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Ucuuba zu4, Manaus (dap= 25.3 cm)

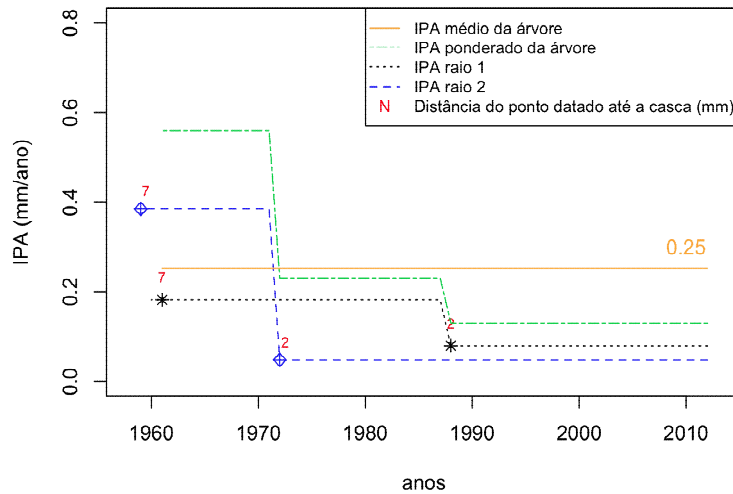


Figure 131: Incremento periódico anual ponderado médio de ZU4. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◇” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Ucuuba - punã zu5 - Manaus

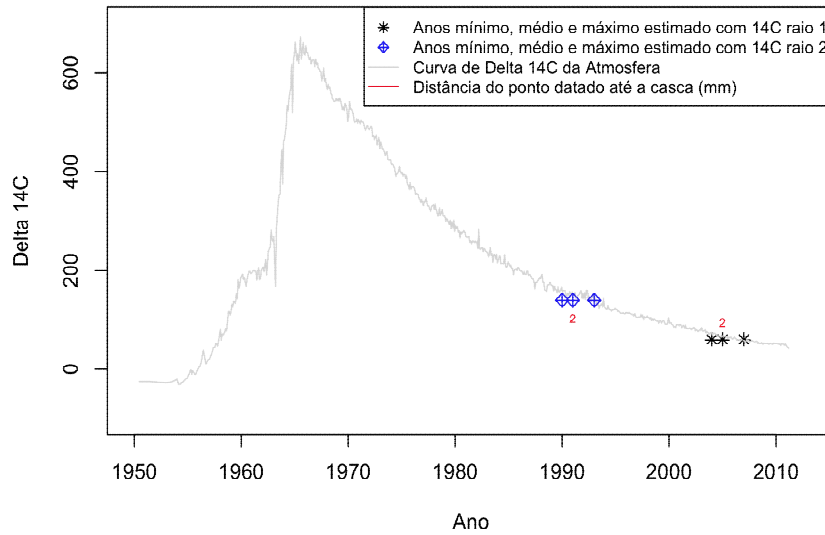


Figure 132: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZU5 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Ucuuba zu5, Manaus (dap= 19.5 cm)

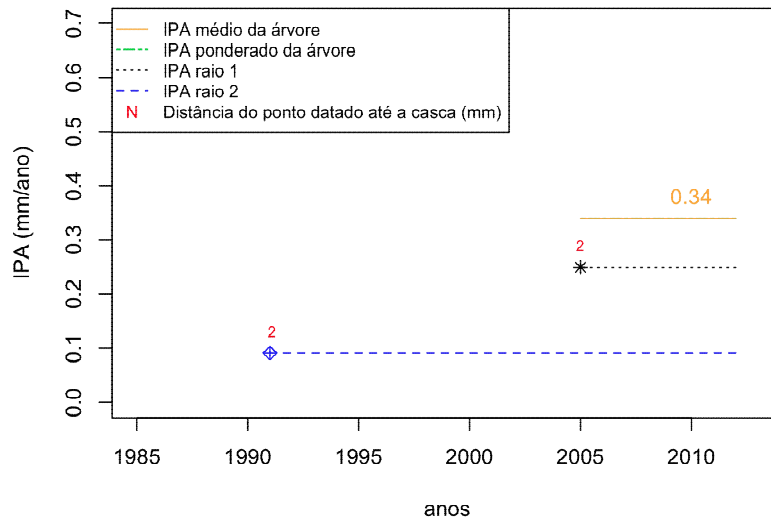


Figure 133: Incremento periódico anual ponderado médio de ZU5. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.



**breu vermelho zb1 - Manaus**

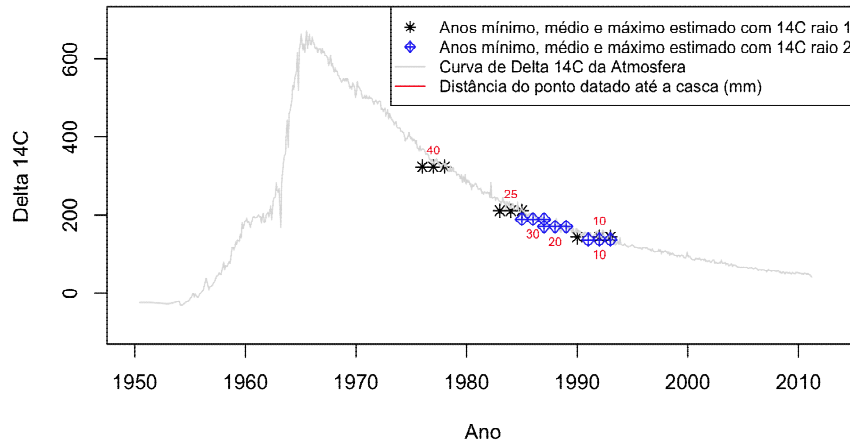


Figure 134: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZB1 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

**Incremento Breu zb1, Manaus (dap= 21 cm)**

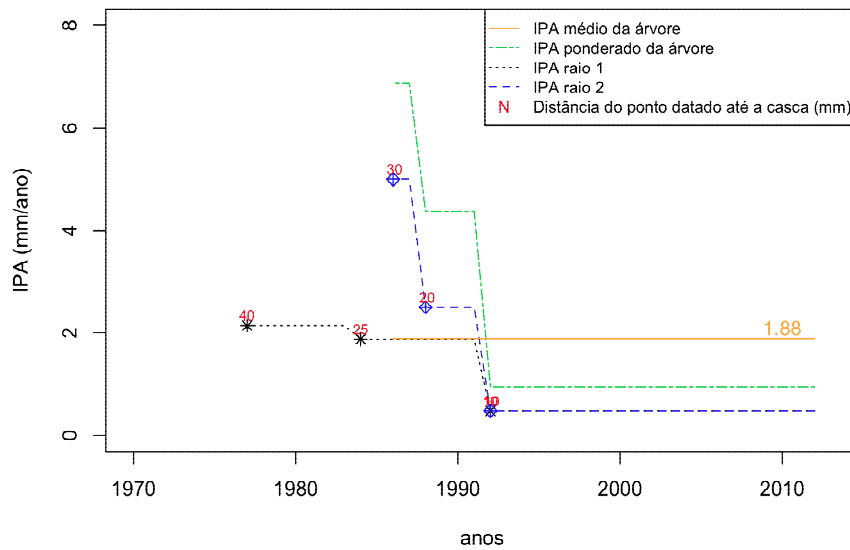


Figure 135: Incremento periódico anual ponderado médio de ZB1. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Breu vermelho zb2 - Manaus

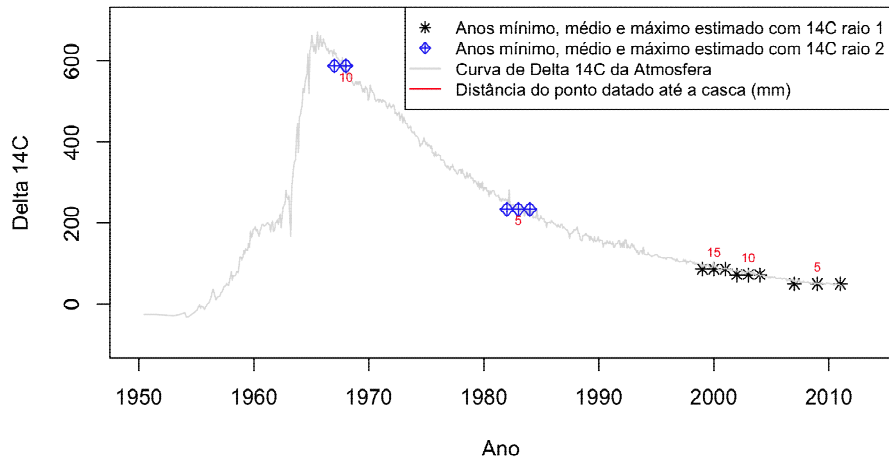


Figure 136: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZB2 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Breu zb2, Manaus (dap= 20.5 cm)

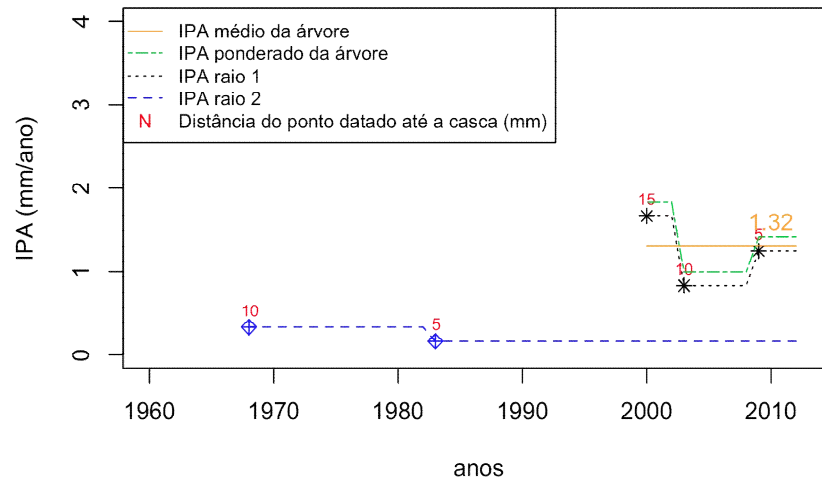


Figure 137: Incremento periódico anual ponderado médio de ZB2. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◊” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Breu vermelho zb3 - Manaus

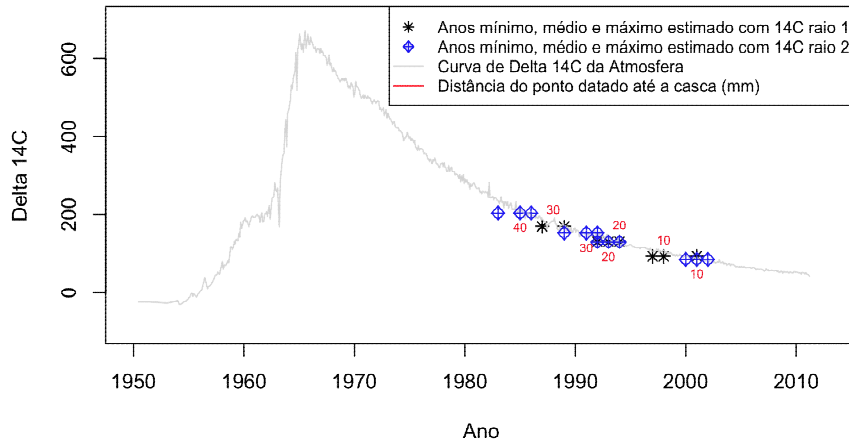


Figure 138: Curva de Delta <sup>14</sup>C da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZB3 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Ucuuba zu3, Manaus (dap= 28 cm)

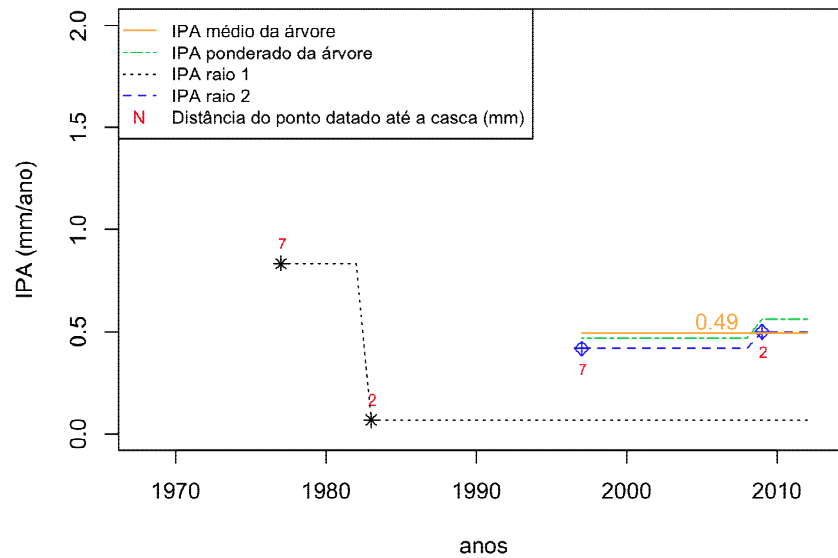


Figure 139: Incremento periódico anual ponderado médio de ZB3. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Breu vermelho zb4 - Manaus

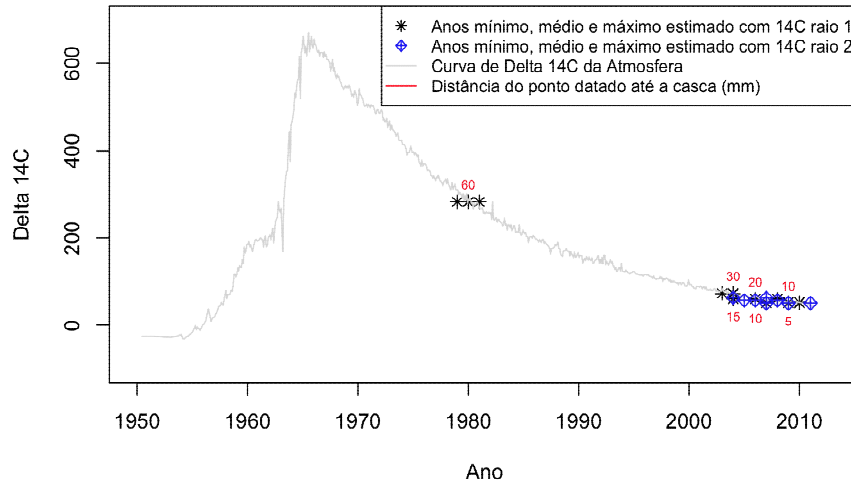


Figure 140: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZB4 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Breu zb4 - Manaus (dap= 28.4 cm)

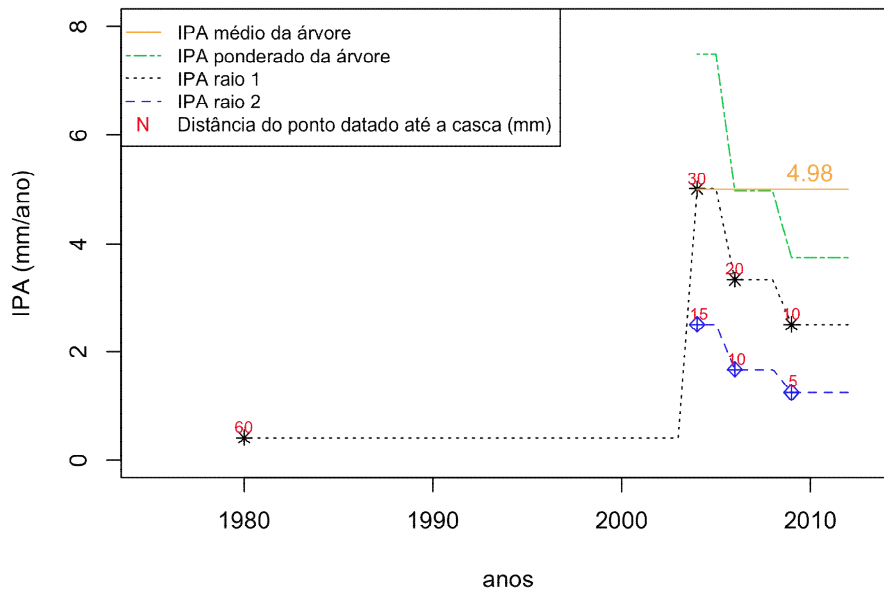


Figure 141: Incremento periódico anual ponderado médio de ZB4. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.

### Breu vermelho zb5 - Manaus

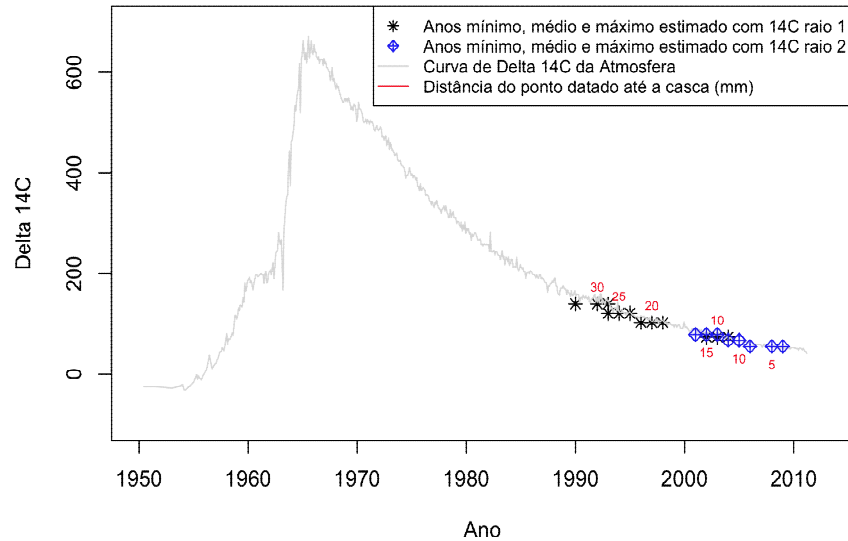


Figure 142: Curva de Delta  $^{14}\text{C}$  da atmosfera com os pontos datados de cada raio da árvore ZB5 Manaus. Os números em vermelho indicam a distância do ponto datado até a casca. Em preto são os pontos do raio 1 e em vermelho são os pontos do raio 2.

### Incremento Breu zb5 - Manaus (dap= 19 cm)

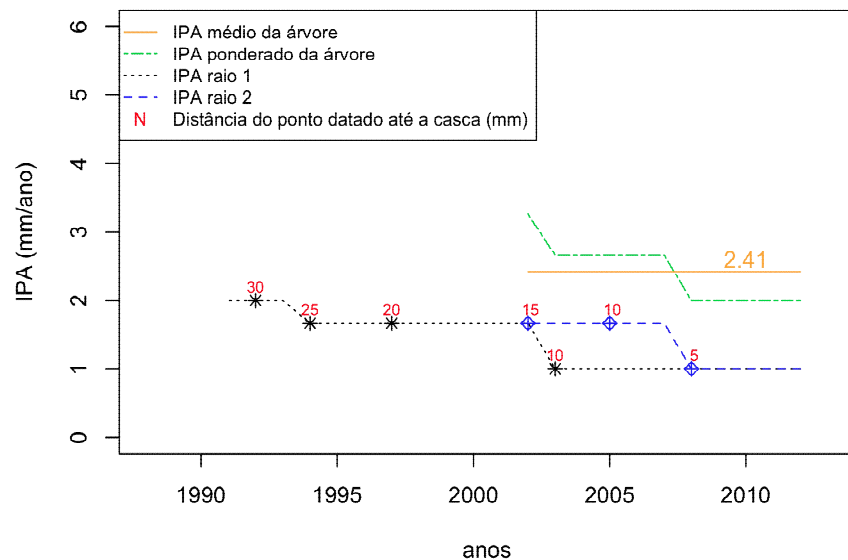


Figure 143: Incremento periódico anual ponderado médio de ZB5. Em preto com o símbolo “\*” são os pontos datados do raio 1. O pontilhado preto indica o Incremento Periódico Anual ponderado (IPA) dentro do período datado entre cada ponto. Em azul, o símbolo “◆” indica os pontos datados do raio 2. O tracejado em azul representa o IPA ponderado entre dos períodos datados. O tracejado em verde é a soma do IPA ponderado dos dois raios, expressando o incremento diamétrico. A linha laranja é a média da linha verde, indicando o IPA ponderado médio de cada árvore.