

Capítulo 4

Estrutura populacional, dinâmica da produção de frutos e produtividade

Marcelino Carneiro Guedes; Rafael Lucas Figueiredo de Sousa; Daniele Alencar Gonçalves; Ediglei Gones Rodrigues; Dayane Nathália Barbosa Pastana; Felipe Felix da Costa; Patrícia da Costa; Kátia Emidio da Silva; Ana Cláudia Lira-Guedes; Lúcia Helena de Oliveira Wadt; Raimundo Cosme de Oliveira Júnior.

Introdução

Para o manejo sustentável dos recursos florestais, madeireiro ou não madeireiros, é necessário conhecimento sobre a ecologia da comunidade florestal, fundamentada em sua caracterização estrutural. Nesse sentido, a análise estrutural de uma floresta permite fazer deduções sobre a origem, as características ecológicas das espécies e da comunidade bem como sobre o dinamismo e as tendências do desenvolvimento das árvores, elementos básicos e fundamentais para o planejamento do manejo florestal. A manutenção da sustentabilidade do manejo vai depender diretamente da conservação da estrutura e da dinâmica ecológica da floresta.

O sucesso ecológico de uma árvore depende de sua habilidade para manter o crescimento e o acúmulo de carbono mesmo em ambientes espacial e temporalmente heterogêneos (Tremmel; Bazzaz, 1995; Weiner, 2004; Poorter; Rozendaal, 2008; Vincent; Harja, 2008; Ishii; Asano, 2010; Lida et al. 2011). Variáveis relacionadas à estrutura vertical da floresta e às copas das árvores, como sua forma e a disposição de galhos e folhas, afetam diretamente a capacidade fotossintética (King, 1986). Enquanto a altura da árvore determina sua posição no dossel e, assim, seu ambiente de luz, com efeitos diretos sobre as taxas fotossintéticas (King, 1981, 1996; Sposito; Santos, 2001), o diâmetro do tronco tem relação direta com o suporte mecânico e a manutenção do transporte de água e solutos (McMahon, 1973; Niklas, 1994; Bullock, 2000). Esse conjunto de variáveis define a arquitetura da árvore, que pode assumir variados formatos. Nesse sentido, a arquitetura das castanheiras

(*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é particularmente interessante e diferenciada, pois a espécie possui grandes copas, com mais de 30 m de diâmetro, tendo em vista que as árvores podem chegar a mais de 60 m de altura, provavelmente levando centenas de anos para atingir esse porte.

A arquitetura de uma castanheira adulta é, portanto, resultado não só das condições atuais, mas também de todos os fatores genéticos e ambientais que operaram sobre o crescimento desde sua germinação. Conforme Archibald e Bond (2003), a arquitetura de uma árvore adulta é resultado de exigências muitas vezes opostas, para atender várias funções, como crescimento, reprodução e defesa, durante todo seu desenvolvimento.

A estrutura populacional dos castanhais é uma informação importante para o manejo, considerando, por exemplo, as relações entre indivíduos juvenis e adultos. Isso tem implicações futuras para a manutenção ou as melhorias na produtividade dos castanhais, sugerindo ações específicas para cada situação. O manejo de castanhais nativos envolve diversos fatores, em função das variações geográficas das diferentes regiões de ocorrência da espécie na Amazônia e das diferentes práticas extrativistas.

A coleta dos frutos das castanheiras, popularmente conhecidos como ouriços, é uma atividade realizada em todos os estados da região Norte. A castanha-da-amazônia é um dos principais produtos florestais não madeireiros capazes de gerar riqueza para os agroextrativistas da região, e possui também importância social e cultural para os povos da Amazônia (Salomão, 2014). A produção dessa castanha depende quase que exclusivamente do extrativismo de castanheiras nativas, que ocorrem entremeadas na grande floresta. Entretanto, a produção das castanheiras varia nos diferentes estados e regiões, assim como ao longo dos anos. A produtividade de um castanhal depende diretamente de aspectos da estrutura populacional, principalmente de atributos da estrutura horizontal, como a densidade e a distribuição diamétrica das castanheiras. Além das variáveis estruturais, a produtividade também é dependente da variação temporal, pois há anos de alta produção que são alternados com anos em que a produção é baixa, como será mostrado nos resultados deste capítulo.

A variação na produção da castanha afeta diretamente o seu preço, viabilidade econômica e a oferta no mercado. Portanto, é importante para os comerciantes conhecer sobre sua variação ao longo dos anos, para uma adequada estimativa da

produtividade potencial em determinada área ou região, que também depende da produção de árvores individuais (Zuidema; Boot, 2002). Além de afetar as condições de comercialização, o conhecimento sobre a produção também é importante para subsidiar ações de manejo sustentável e conservação da espécie.

A variação natural na produção de castanha pode ser associada a diversos fatores e atributos individuais da própria castanheira ou do ambiente do entorno (Kainer et al., 2006; Neves et al., 2015; Wadt et al., 2015; Nogueira; Santana, 2018; Wadt et al., 2018; Batista et al., 2019), os quais são abordados em outros capítulos deste livro. Neste capítulo, o foco será a análise da variação da produtividade e da produção efetiva de castanhas nativas em diferentes regiões e durante vários anos de monitoramento bem como nas relações com a estrutura das populações. Assim, objetiva-se apresentar padrões de estrutura vertical e horizontal de castanheiras na Amazônia brasileira de modo a verificar também a associação entre variáveis como diâmetro, altura e volume. Atributos da estrutura horizontal, como a densidade, serão analisados para verificar se a produtividade é mais dependente da abundância de castanheiras do que de sua produção média individual. A produtividade, a produção efetiva de castanha e a variação temporal na produção de frutos serão avaliadas em diferentes ambientes e regiões da Amazônia.

Bases de dados e análises realizadas

Os dados aqui apresentados são originados principalmente de projetos executados pela Embrapa e por parceiros, como Kamukaia I e II, MapCast e EcoGenCast, em pelo menos cinco estados da Amazônia, mas não se limitam a esses. Também foi utilizada base de dados de outros projetos, como o Carbono Cajari, patrocinado pelo programa Petrobras Ambiental, cuja proponente foi a Associação de Trabalhadores Agroextrativistas do Alto Cajari (ASTEXCA), tendo o Instituto Estadual de Florestas (IEF-AP) e a Embrapa Amapá como coexecutores.

A estrutura vertical das castanheiras e da floresta associada foi discutida em função da variação de alguns atributos ao longo da estratificação do perfil do dossel. Foram analisados parâmetros como as alturas (total e comercial), a densidade foliar e o índice de área foliar em diferentes estratos de altura nos castanhais, a partir de dados obtidos por caminhamento dentro da floresta com uma plataforma que possui um sensor remoto que emite laser (Lidar).

Também foram utilizados dados de inventários das parcelas permanentes (300 m x 300 m) da rede Kamukaia, implantadas em seis estados da Amazônia (Guedes et al., 2017). Em cada parcela, todas as árvores de castanheiras com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm foram inventariadas e suas coordenadas UTM-WGS84 registradas.

As estruturas horizontais das diferentes populações de castanheiras-da-amazônia foram comparadas de acordo com a distribuição de frequência em classes de diâmetro, conforme sugerido por Wadt et al. (2005). Para demonstrar possíveis variações na distribuição espacial de castanheiras entre os estados, foi analisada a estrutura espacial utilizando função K de Ripley, conforme Baddley (2021). Essa é uma estatística descritiva do padrão espacial observado, com análise em diferentes escalas.

Também são apresentados resultados do monitoramento da produção de frutos e da produção efetiva de castanha realizado no âmbito da rede Kamukaia, em vários estados da Amazônia, desde o ano de 2005. Além da variação temporal da produção, são analisadas as interações da produção com a distribuição diamétrica das castanheiras. Dessa forma, espera-se trazer aqui uma síntese de importantes informações quantitativas e qualitativas sobre a dinâmica e a estrutura da produção de castanha-da-amazônia para subsidiar políticas, ações de mercado e manejo nas comunidades agroextrativistas.

Estrutura vertical

Densidade foliar ao longo do perfil vertical da floresta e altura das castanheiras

A análise da estrutura vertical de florestas com castanheiras-da-amazônia, em quatro diferentes estados da região, evidenciou que existe um padrão no perfil de densidade foliar dessas florestas (Costa, 2018). Esse autor, com auxílio do sensor remoto Lidar portátil terrestre, demonstrou que as florestas com castanheiras apresentam uma distribuição da densidade foliar ao longo do perfil vertical, com maior concentração nos estratos inferiores (Figura 1). Mesmo em florestas com diferentes alturas e densidades de castanheiras, o segundo estrato (8 m a 18 m de altura) sempre apresentou maior proporção da densidade foliar.

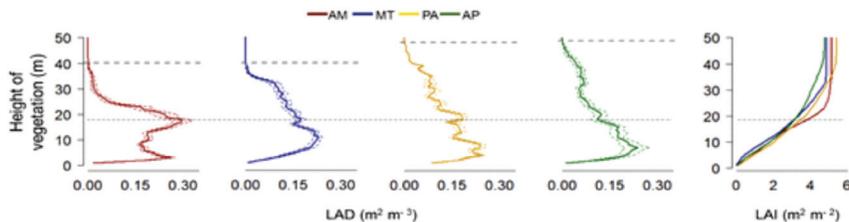


Figura 1. Média (linha vertical contínua) e erro-padrão (linha vertical tracejada) da densidade de área foliar (LAD) e índice de área foliar (LAI) cumulativo ao longo do perfil vertical de florestas com castanheiras. Linhas horizontais tracejada = altura máxima, pontilhada = altura do limite superior do segundo estrato (8 m a 18 m), de cada floresta. AM – Amazonas, MT – Mato Grosso, PA – Pará e AP – Amapá.

Fonte: Adaptado de Costa (2018).

Todas as avaliações foram realizadas em parcelas permanentes de 9 ha instaladas em florestas com castanheiras. Em cada parcela, foi realizado caminhamento em seis transectos de 300 m com a plataforma que emitia o laser e escaneava o dossel da floresta. No primeiro estrato (0 a 8 m de altura) e no segundo (8 m a 18 m), juntos, a densidade de área foliar acumulada foi maior ou igual a 50% do índice em todas as florestas, o que demonstra o padrão de acúmulo de área e a densidade foliar nos estratos inferiores nas florestas com castanheiras nos diferentes estados. Mesmo em florestas com diferentes densidades de castanheiras, há um predomínio de folhas da vegetação de sub-bosque e de árvores dominadas, em comparação com os outros três estratos acima de 18 m. O segundo estrato (8 m a 18 m) foi o que apresentou maior proporção da densidade foliar em todas as florestas.

No entanto, esse padrão não é exclusivo de florestas com castanheiras. Resultados semelhantes em florestas da Amazônia sem a presença de castanheiras foram encontrados por Stark et al. (2012, 2015). Portanto, a maior proporção do IAF nos estratos inferiores dessas florestas não pode ser relacionada às castanheiras, cujos indivíduos adultos sempre apresentam as copas acima dessa altura. Apesar de os sítios avaliados apresentarem diferentes densidades de castanheiras, sempre predomina a maior densidade foliar das plantas do sub-bosque e estratos inferiores. Isso pode ser reflexo da necessidade das plantas desses estratos, que recebem menos radiação, de desenvolverem mecanismos como aumento da quantidade, tamanho e posição das folhas, para ampliar sua capacidade fotossintética (Smith et al., 1992; Wirth et al., 2001; Jardim et al., 2007).

O teste de partição do qui-quadrado mostrou que, quando se considerada a proporção que a densidade foliar representa em cada estrato do IAF total, não

houve diferenças significativas entre as florestas dos diferentes estados. Somente a densidade no estrato V (> 35 m de altura) – que representa a parte superior e emergente mais associada às copas das castanheiras – do sítio florestal no Amapá foi estatisticamente diferente dos demais ($\chi^2 = 10.1337$; $p=0.0015$). No Amapá, esse estrato (> 35 m de altura) representou 8,4% do IAF do perfil vertical, bem acima dos valores dos demais estados.

As florestas tropicais com ocorrência de castanheiras avaliadas em diferentes estados da Amazônia apresentaram, no geral, diferenças nas métricas de estrutura vertical derivadas do Lidar, como altura e rugosidade do dossel. Os sítios florestais na Amazônia Oriental (Amapá e Pará), onde foram localizadas as castanheiras com altura máxima acima de 50 m, apresentaram estrutura vertical mais elevada e, principalmente, maior altura média do dossel, em torno de 38 m.

A floresta com castanheiras avaliada no sítio do Amazonas apresentou a menor estrutura de altura, com valores abaixo de 30 m. Essa floresta também apresenta menor rugosidade e um IAF total elevado, demonstrando ser uma floresta densa com dossel bem homogêneo e padrão mais uniforme. Esse padrão também foi confirmado pela distribuição de frequência das alturas. As florestas localizadas no Amazonas e no Mato Grosso apresentaram menor dispersão e amplitude na distribuição, assim como maior concentração dos valores em torno da altura média, o que mostra que essas florestas têm um padrão de altura mais uniforme. As castanheiras no Amazonas e Mato Grosso também são menores, apresentando na média geral alturas abaixo de 36 m.

Os sítios florestais estudados na Amazônia brasileira apresentam abundância de castanheira semelhantes em três das quatro florestas avaliadas, no Amapá (12 cast. ha⁻¹), Pará (10 cast. ha⁻¹) e Mato Grosso (11 cast. ha⁻¹). Apenas a área no estado do Amazonas apresentou a menor abundância, com densidade de 5 cast. ha⁻¹.

Apesar de a Amazônia geralmente ser caracterizada por florestas de grande porte, observa-se que há variações nas estruturas dessas florestas. Essas diferenças podem estar associadas à diversidade e à predominância de determinadas espécies, à abundância de castanheiras, à pressão antrópica, à idade da vegetação e à competição. Em trabalho que realizou a modelagem da variação de fatores climáticos na Amazônia, relacionando-os com atributos da floresta, foi demonstrado que a densidade e a diversidade arbórea, assim como a precipitação, são mais elevadas na Amazônia Ocidental (Steege et al., 2003). A maior densidade

de árvores pode gerar maior competição e um dossel mais fechado e denso, como verificado na densidade foliar do sítio localizado no Amazonas. Isso também pode ajudar a explicar a menor abundância de castanheiras, já que essa espécie é dependente de energia solar direta e clareiras grandes para se estabelecer e atingir o dossel (Myers et al., 2000).

Volume, altura e diâmetro de castanheiras

Em trabalho realizado na Resex Cajari, sul do Amapá, 24 castanheiras encontradas caídas e outras derrubadas para passagem de linha de transmissão de alta voltagem (Linhão de Tucuruí) foram medidas seguindo processo de cubagem rigorosa (Lima, 2015; Tabela 1).

Essas castanheiras acumularam em seus troncos um volume total e real de 436,44 m³, com média de 18,19 m³ ± 2,40 por castanheira. Após análise de 13 modelos de simples e dupla entrada para estimativa do volume do tronco, a partir da medição do diâmetro e da altura, verificou-se que, para os modelos de simples entrada, usando apenas o diâmetro como variável preditora, a equação de Koperzky-Gehrhardt ($V = -0,34226 + 0,00110 * DAP^2$) apresentou o melhor ajuste, com R^2 ajustado de 0,86. Para modelos de dupla entrada, tendo o diâmetro e a altura como variáveis predictoras, o melhor foi o de Schumacher-Hall ($V = 0,00004 * (DAP^{2,1679}) * (Hc^{0,77237})$), com R^2 de 0,90. A inserção da variável altura comercial (porção do tronco sem galhos, potencialmente aproveitável para serraria) no melhor modelo de dupla entrada diminuiu em 4% o erro das estimativas. No entanto, como é complicado medir a variável altura, sendo mais susceptível a erros durante o inventário, recomenda-se o uso do modelo de simples entrada, a não ser que a medição seja realizada de maneira rigorosa e com equipamentos adequados.

As duas castanheiras maiores apresentaram altura total de 51,8 m e 48,5 m, o que demonstra a posição ecológica da espécie como árvore emergente acima do dossel superior da floresta. Essas duas castanheiras apresentaram altura da copa de 28 m e 26 m, respectivamente, maiores do que suas alturas comerciais. Isso comprova a existência das grandes copas das castanheiras, após abertura dos grossos galhos principais, que continuam crescendo em altura para emergir do dossel. A maior altura comercial medida foi de 33,2 m.

As castanheiras cubadas tiveram uma variação diamétrica de 69,9 cm a 225 cm, definindo uma amplitude de 155 cm. Assim, a capacidade preditora das equações

Tabela 1. Variáveis dendrométricas das 24 castanheiras submetidas a procedimento de cubagem rigorosa provenientes da Resex Rio Cajari, sul do Amapá, na Amazônia Oriental. DAP = diâmetro a 1,30 m acima do solo; HC = altura comercial em metros; HT = altura total em metros; Vreal = volume real acumulado no tronco da castanheira.

Castanheiras	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	Vreal (m ³)
1	89,2	26,9	44,6	12,63
2	95,5	18,1	35,8	7,62
3	126,6	28	48	25,66
4	138,0	19,7	38,2	16,54
5	134,9	28,5	43,7	22,12
6	133,0	23	51,8	18,83
7	167,0	22,5	48,5	24,01
8	153,0	24,5	40,5	27,36
9	116,0	26	38,93	13,04
10	91,6	30	38,71	5,01
11	81,1	33,2	46	10,04
12	116,2	23	34,4	9,73
13	100,5	19	35,8	10,78
14	149,0	15,8	38,5	17,90
15	91,0	22,17	40,97	11,79
16	144,1	19,5	39,5	19,81
17	168,0	19,6	37,71	36,69
18	154,0	17,7	33,3	18,55
19	99,0	27	38,5	16,49
20	139,0	21,5	41,5	21,66
21	225,0	22,3	40,2	60,29
22	84,5	25	35	8,46
23	69,9	13,7	29,7	4,19
24	130,0	20,8	32,8	17,21

Fonte: Lima (2015).

ajustadas é válida apenas para árvores com essa mesma variação, que envolve castanheiras produtivas (DAP > 50 cm), de acordo com as classes ontogenéticas que relacionam o diâmetro das castanheiras com as fases de vida, conforme definidas por Wadt et al. (2005).

Estrutura horizontal de castanhais nativos da amazônia

Um dos principais atributos da estrutura horizontal de uma floresta é a distribuição espacial das espécies arbóreas, a qual pode ser agregada, uniforme ou aleatória, a depender da escala geográfica de análise e da distância considerada. Na escala analisada em parcelas permanentes de 9 ha da rede Kamukaia, em diferentes estados da Amazônia, predomina a distribuição aleatória das castanheiras (Figura 2).

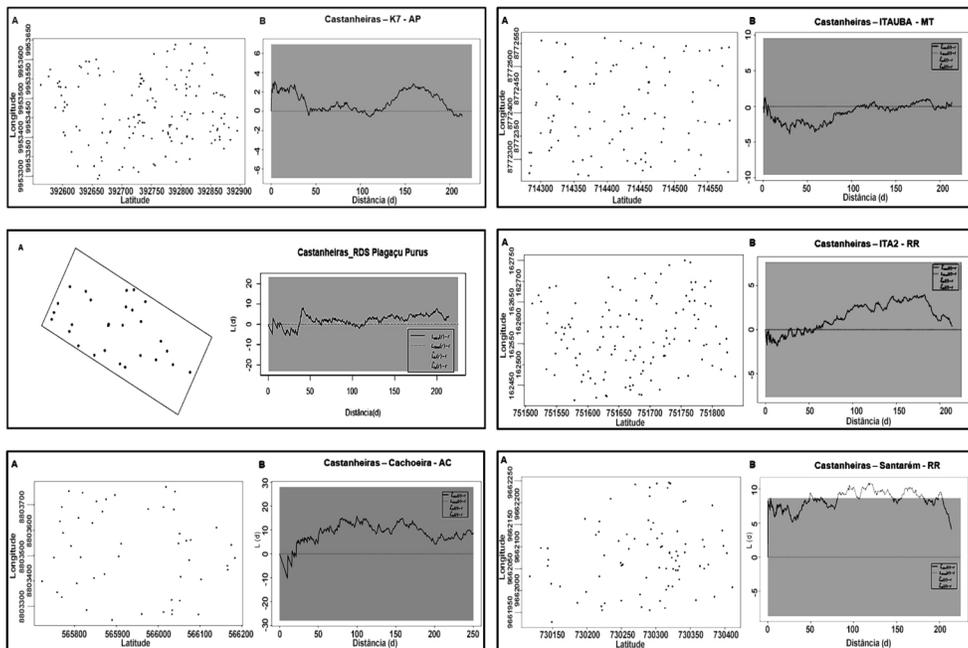


Figura 2. Distribuição espacial de castanheiras-da-amazônia em parcelas de 9 ha (quadros A), em seis estados da Amazônia brasileira, e análise da estrutura da distribuição usando a função K de Ripley (quadros B). A linha próxima ao zero e dentro do envelope de confiança, marcado em cinza, representa a completa aleatoriedade; a linha com valores positivos fora do envelope de confiança é a distribuição agregada; e a linha com valores negativos fora do envelope é a distribuição uniforme.

Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Rede Kamukaia.

A aleatoriedade observada na distribuição das castanheiras é condizente com a síndrome de dispersão zoocórica da espécie, realizada principalmente por roedores como as cutias (*Dasyprocta* spp.) e as cutiaras (*Myoprocta* spp.). Apesar de esses animais não dispersarem diretamente os frutos e as sementes da castanha de maneira aleatória, pois elas usam paus caídos e áreas com cipozal e emaranhado de

ramos como referência quando enterram sementes (Silvius; Fragoso, 2003), essas condições são originadas e dependem da queda de árvores, que normalmente é um evento aleatório, mas que pode também ser agrupado e direcionado por algum fator. Assim, a depender da escala e da distância considerada, também é possível observar na Figura 2 tendências de distribuição agregada em várias parcelas, bem como uma agregação estaticamente significativa na parcela localizada em Santarém-PA. Ao analisar a distribuição espacial, também é preciso estar atento à densidade de castanheiras na área, pois a abundância local de castanheiras tem uma relação direta com a distância do vizinho mais próximo, que é a base para a análise com a função K de Ripley.

No Brasil, a castanheira ocorre em florestas naturais presentes em todos os estados da região Norte, e pode ser encontrada em diferentes densidades. Na síntese de 28 trabalhos realizados no Acre, Amapá, Amazonas, Pará, em Roraima bem como na Bolívia, foram encontradas densidades com variação de 1 a 25 cast. ha⁻¹, com média de sete castanheiras por hectare (ver capítulo 3.1 deste livro). Normalmente, nos castanhais situados na Amazônia brasileira Ocidental, são encontradas as menores densidades de castanheiras, como no Acre e nas proximidades de Manaus, com densidades menores que 3 cast. ha⁻¹. Na parte mais oriental da Amazônia, como na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA (25 cast. ha⁻¹), e na Reserva Extrativista do Rio Cajari (Resex Cajari), no sul do Amapá (16 cast. ha⁻¹), são encontradas as maiores densidades de castanheiras, concentradas em algumas áreas denominadas de castanhais. No sul do Pará, a floresta com castanheiras cobria grandes extensões de forma contínua, mas a maior parte delas foi dizimada pelo desmatamento (Homma et al., 2014).

Em um trabalho realizado na Resex Cajari, no sul do Amapá, com levantamento georreferenciado e inventário de 8.890 ha, foram avaliados parâmetros da estrutura horizontal e produtividade das castanheiras em duas tipologias florestais: floresta ombrófila densa (FD) e ombrófila aberta – FA (Souza, 2021). Nesse trabalho, foi encontrada uma densidade média de castanheiras em torno de 10 cast. ha⁻¹, com o total de castanheiras inventariadas de 11.145 em FD (55 castanhais) e de 22.680 em FA (114 castanhais), com média diamétrica de 121,3 cm e 105,2 cm, respectivamente. Conforme classificação de Wadt et al. (2005), na FD a maior proporção (49,8%) da abundância de castanheiras ficou na classe diamétrica de maturidade reprodutiva (100 cm < DAP < 150 cm), e 29,6% das castanheiras ficaram na classe de jovens s (50 cm < DAP < 100 cm). Por outro ângulo, na FA houve maior proporção (45,3%) de indivíduos na classe de 50 a 100 cm, o que indica que os castanhais na floresta aberta são mais jovens, fato evidenciado também pela menor média diamétrica.

Essas considerações são baseadas na premissa de que existe uma relação entre o diâmetro da árvore e sua idade. No entanto, podem existir castanheiras com mesmo diâmetro e diferentes idades fisiológicas, o que sugere cautela na interpretação e a necessidade de mais evidências e maiores diferenças para comparações. Na floresta aberta, a proporção de indivíduos menores que 50 cm de DAP foi de 5,7% e a soma das castanheiras maiores que 150 cm de DAP foi de 12,2%. Na floresta densa, o número de árvores menores que 50 cm foi de apenas 0,5% e a soma da proporção de indivíduos acima de 150 cm chegou a 20,5%, o que reforça as evidências de dificuldade de recrutamento de castanheiras em florestas mais densas e sombreadas, com menor entrada de luz solar, e o consequente envelhecimento dos castanhais nessa tipologia.

No geral, a distribuição diamétrica das castanheiras pode ser relacionada ao ciclo de vida e às classes ontogenéticas (Wadt et al., 2005), mas não há um padrão claro de estrutura dos diâmetros das castanheiras para a Amazônia nem dentro do mesmo estado (Figura 3).

Verifica-se na Figura 3 que, em apenas uma das dez parcelas avaliadas, no Amapá, a porcentagem de jovens ($10 \text{ cm} < \text{DAP} < 50 \text{ cm}$) ficou abaixo de 10%, sendo esse estado o que apresentou uma estrutura diamétrica das castanheiras mais próxima da distribuição normal. Por outro prisma, há duas parcelas com mais de 50% de castanheiras jovens, com tendência de distribuição em J invertido, mesmo sem incluir os indivíduos regenerantes. Todas essas parcelas, monitoradas há vários anos na rede Kamukaia, estão localizadas em áreas sujeitas à exploração intensiva, onde a castanha é coletada todos os anos. Portanto, não se verifica uma ausência calamitosa de castanheiras jovens em áreas com elevada intensidade de coleta, como afirmado por Peres et al. (2003).

As variações observadas, bem como a ausência de um padrão regional para a estrutura diamétrica das castanheiras, indicam a importância de fatores locais, como a frequência e a intensidade de distúrbios, que acontecem ao longo dos séculos, na formação dessa estrutura. Outros fatores próprios de cada local, como o histórico de uso das áreas e a tipologia da vegetação matriz em que essas castanheiras estão se desenvolvendo, também podem ser relevantes para a formação da estrutura. Além disso, a extrema longevidade da castanheira potencializa todas essas diferenças e variações, aumentando a probabilidade de ocorrência de eventos específicos, determinantes para a mudança ou a manutenção do indivíduo em uma mesma classe diamétrica.

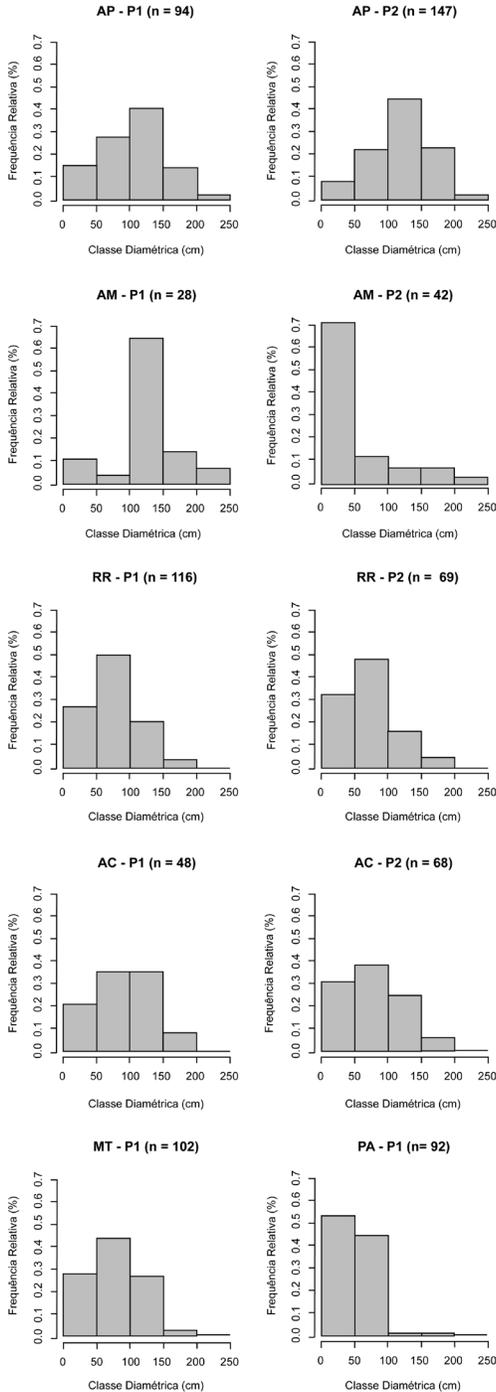


Figura 3. Distribuição diamétrica (DAP ≥ 10 cm) de castanheiras monitoradas em parcelas permanentes da rede Kamukaia em diferentes estados da Amazônia – Divisão em classes ontogenéticas funcionais. Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados da Rede Kamukaia.

Produtividade e produção efetiva de frutos e de castanhas

Na Resex Cajari, após levantamento e mapeamento em larga escala de milhares de castanheiras em FD e FA, foi detectada maior produtividade de castanha na floresta aberta (Souza, 2021). A diferença significativa (Mann-Whitney = 0,9779, $p = 0,014$) entre as médias na FA (5,06 hl. ha⁻¹) e na FD (3,70 hl. ha⁻¹) confirmou a maior produtividade de hectolitros de castanha *in natura* na floresta aberta (1 hl = 100 L = 5 latas de 20 L, medida usada na comercialização). A diferença nesses valores reflete maior densidade de castanheiras na FA (12,3 cast. ha⁻¹) do que na FD (7,3 cast. ha⁻¹), cuja variação nos valores médios encontrados também foi significativa (Mann-Whitney = 0,9673, $p = 0,013$).

Por seu turno, a produção média por castanheira apresentou valores semelhantes entre as tipologias, sem diferenças estatisticamente significativas (teste $T = -1,3683$, $p\text{-value} = 0,7131$). Isso é mais uma evidência de que a produtividade é dependente da densidade. Portanto, a quantidade de castanheiras existente no castanhal é o principal fator responsável para a maior produção por área na floresta aberta, pois a produção média individual de cada castanheira foi semelhante entre as duas tipologias.

Outros fatores, além da tipologia florestal, também podem ser associados à variação na densidade de castanheiras, como constatado na mesma região. Conforme Guedes et al. (2017), ao analisar a ocorrência de castanheiras em diferentes classes de solo dentro de uma parcela de 9 ha, foi verificado que na classe Latossolo Amarelo são encontradas maior densidade e porcentagem de castanheiras produtivas. No capítulo 3.6 deste livro pode ser encontrado maior detalhamento sobre as relações entre as classes de solo e a ocorrência das castanheiras nos diversos estados da Amazônia.

A maioria dos trabalhos que analisa a produtividade ou a produção por castanheira utiliza a quantidade de frutos produzidos como variável resposta. No entanto, essa variável pode não ser fortemente relacionada com a produção de castanha, pois a variação morfológica dos frutos entre castanheiras, assim como a quantidade e o tamanho de castanhas por fruto, é elevada (ver capítulos 1.5 e 4.2). Assim, uma castanheira que produz maior número de frutos pode produzir frutos menores, não necessariamente produzirá maior quantidade de castanha para comercialização. A Figura 4 apresenta a relação entre a quantidade de castanha e o número de frutos produzidos por cada castanheira, baseado em dados coletados na Resex Cajari-AP.

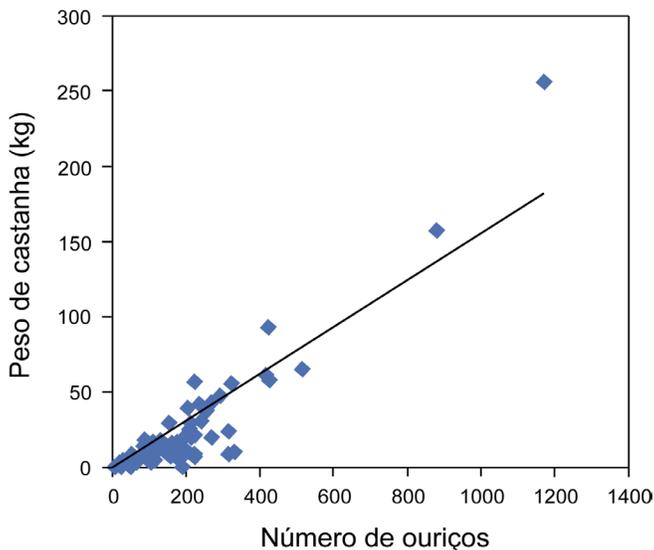


Figura 4. Relação da resposta (eixo Y) em kg (peso fresco – PF) de produção efetiva de castanhas boas estimadas para comercialização, com o número anual de frutos produzidos por castanheira (eixo X) no ano de 2012, na Reserva Extrativista do Rio Cajari, sul do Amapá, Amazônia Oriental (n=55).

No geral, verifica-se que há uma boa relação linear positiva entre o número de frutos e a quantidade de castanha, mas observa-se que diferentes castanheiras que produzem o mesmo número de frutos podem apresentar elevada variação de produção efetiva de castanha. Isso reforça o argumento de que há elevada variação no tamanho do fruto e da castanha entre as árvores, o que amplia as possibilidades de seleção de matrizes superiores que levem em consideração a produção efetiva de castanha para comercialização. Na Figura 4, destaca-se a ocorrência de uma castanheira que produziu, na safra do ano de 2012, mais de mil frutos e 250 kg de castanhas com casca, o que pode corresponder a mais de 5 hl, uma das medidas de castanha comumente utilizada na comercialização local.

Quando se fala de produção de castanha, outra questão que necessita de aprofundamento na análise é a produção efetivamente disponível para coleta pelos extrativistas. A maioria dos resultados apresentados sobre produção é obtida do monitoramento após o término da queda dos frutos, pelo próprio risco associado de entrar no castanhal quando as castanheiras ainda estão “jogando

muitos ouriços”. Assim, essa produção não representa o potencial biológico da espécie, pois, durante o período de queda de frutos, que dura em torno de dois a três meses, a maioria dos castanheiros (coletores de castanhas) não entra nas áreas, mas as cutias sim. Nesse período as cutias se alimentam das castanhas e realizam seu importante papel ecológico de dispersão e plantio de sementes das castanheiras.

Em territórios de povos e comunidades tradicionais, como terras indígenas, quilombos, reservas extrativistas e afins, a prática predominante é a coleta dos frutos somente após o término da queda dos ouriços. Já em locais como assentamentos agrícolas ou áreas ainda não destinadas, não se espera o término da queda dos ouriços para realizar a coleta, pois há uma disputa pela castanha, e leva quem chega primeiro. No Amapá, essas áreas são conhecidas como “castanhais de avanço”, onde os frutos e as sementes ficam menos tempo disponíveis para predação ou dispersão pela fauna.

Em um estudo sobre remoção de sementes pela fauna em castanhais nativos no sudoeste da Amazônia, foi observado que as castanhas disponibilizadas foram removidas de forma rápida, o que revelou a elevada procura desse alimento pelos animais (Silva; Wadt, 2008). Das 400 sementes colocadas no ambiente de floresta, somente 45 foram encontradas posteriormente. O número de agentes dispersores ou predadores e a atividade dessa fauna durante os meses de ausência dos extrativistas são importantes para a regeneração das castanheiras, porém têm também um pequeno efeito na produção efetiva dos castanhais. Quanto mais desses agentes estiverem presentes na floresta com castanheiras, maiores serão as taxas de remoção, mas normalmente a remoção é baixa. Segundo Wadt et al. (2018), essa taxa é inferior a 5%, o que pouco afeta a produção efetiva e disponível para coleta e comercialização pelas comunidades. Os principais agentes encontrados que praticam a predação e a dispersão de castanhas no Acre foram cutiarias, cutias, pacas, quatis e ratos (Silva; Wadt, 2008), sendo alguns desses importantes fontes de proteína para as famílias extrativistas.

Em levantamentos realizados pelo projeto Carbono Cajari nas 13 comunidades produtoras de castanha da Resex Cajari, foram identificadas as comunidades com maior produção efetivamente comercializada de castanha bem como aquelas com maior capacidade produtiva em seus castanhais. Além disso, foram calculadas a densidade de castanheiras e a produção média por árvore para os castanhais nas colocações (áreas definidas por limites naturais e tradicionais, que marcam os locais em que cada família coleta a castanha) de cada comunidade (Gonçalves,

2019). As colocações das famílias moradoras em determinada comunidade não ocupam, necessariamente, áreas dentro e próximas às comunidades, podendo estar geograficamente distantes delas.

As comunidades que apresentaram as maiores áreas e quantidades de castanhas, Água Branca e Santa Clara, tiveram maior produção total de castanha (Figura 5). No entanto, ainda na Figura 5, pode-se observar que a produtividade foi maior nas comunidades Mangueiro, Acampamento e Santarém, que apresentaram maior densidade de castanheiras.

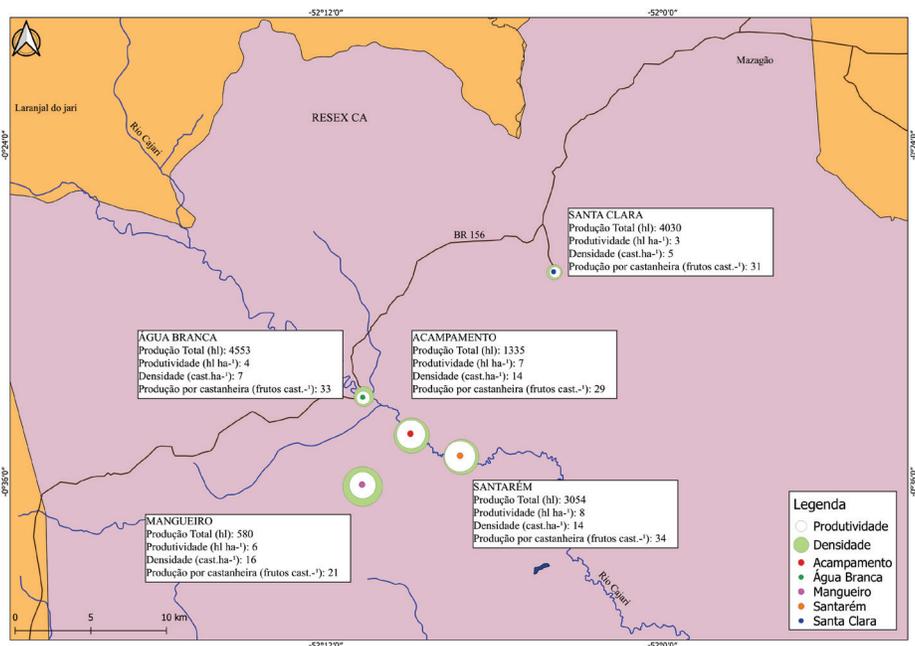


Figura 5. Produção total (hectolitros-hl), produtividade (hl. ha⁻¹), densidade (cast. ha⁻¹) e produção média por castanheira (frutos cast.⁻¹) dos castanhais de cinco comunidades com maior capacidade produtiva na Resex Cajari, sul do Amapá, Amazônia Oriental.

Fonte: Gonçalves (2019).

A produtividade de castanha em cada comunidade, considerando a quantidade produzida pelos castanhais nas colocações de cada comunidade, praticamente não depende da produção média individual das castanheiras, mas, sim, da densidade dessas árvores. Esse comportamento foi também relatado por Souza (2021) quando analisou as diferenças entre duas tipologias florestais, independentemente

da comunidade, e não encontrou diferenças significativas entre a produção média de frutos por castanheira. Esses resultados são importantes para compreender a produção efetiva de castanha e a produtividade de frutos em larga escala, que podem ser diferentes de outros resultados originados de trabalhos em escala de maior detalhamento nas parcelas de monitoramento.

A comunidade Água Branca, por ser uma comunidade com mais de 100 famílias e possuir maior número de castanhais, apresenta a maior produção, em comparação com as outras comunidades do Alto Cajari. No entanto, a comunidade Santa Clara, que também apresentou elevada produção, tem a maior área total de castanhais. Apesar de essas comunidades produzirem elevada quantidade de castanha, devido à quantidade e à extensão dos castanhais, elas não são as que apresentam maior produtividade, ou seja, produção de frutos por área.

Nesse caso, verifica-se que as comunidades Acampamento, Mangueiro e Santarém, que detêm menor área e menor número de castanhais, são aquelas com maior produtividade, chegando a atingir 7, 6 e 8 hl. ha⁻¹, respectivamente. A maior produtividade desses castanhais pode ser derivada de uma maior densidade de castanheiras e/ou de uma maior produção média por castanheira. Como não há diferenças significativas entre a produção média por castanheira (Souza, 2021), verifica-se que a variável determinante para se ter uma maior produtividade nessa região é a maior densidade de castanheiras.

Essas três comunidades estão localizadas em uma mesma região geográfica, na porção sul do Alto Cajari, já se aproximando do Médio Cajari, com castanhais adensados e concentrados nas proximidades das residências. A comunidade Mangueiro foi a que apresentou maior densidade (16 cast. ha⁻¹). O fato de os castanhais estarem localizados bem próximos dessas comunidades, diferentemente daquelas com menor produtividade (Água Branca e Santa Clara), onde os castanhais estão mais distantes (Gonçalves, 2019), é um indicativo de que a maior densidade encontrada pode ser devido ao estabelecimento desses castanhais em áreas de agricultura itinerante. Como constatado por Guedes et al. (2014), Paiva et al. (2011) e Cotta et al. (2008), os roçados apresentam maior densidade de castanheiras, principalmente de árvores jovens, do que na floresta madura. Normalmente, a grande maioria das áreas utilizadas na agricultura é preparada em áreas próximas das comunidades, para economizar esforços no cuidado diário das plantações.

A produção total de castanha com casca na Resex Cajari, derivada da soma do que é comercializado em todas as 13 comunidades produtoras de castanha, pode variar de 11.477 hl a 32.959 hl por safra, considerando a variação em anos de baixa e elevada produção. Em anos com produção intermediária, esse valor gira em torno 22.218 hl, equivalente a aproximadamente 11 mil toneladas. Esse valor pode estar subestimado, pois foi adotado o hectolitro (100 L = 5 latas de 20 L) como medida geral de comercialização da castanha na região, mas muitos castanheiros ainda vendem em “barrica” (110 ou 120 L), medida essa que exige mais meia ou uma lata de 20 L, dependendo do intermediário que compra, para amenizar futuras quebras e compensar as perdas na sequência da cadeia produtiva.

Relações da produção de castanha com a distribuição diamétrica das castanheiras

Aqui será abordada a variação da produção de frutos e de castanha em função do diâmetro das castanheiras. As maiores produções relativas ao total de frutos produzidos sempre são observadas em castanheiras com diâmetro intermediário (Figura 6). As castanheiras mais grossas, já em processo de senescência, não são as mais produtivas, assim como aquelas com menores diâmetros que ainda não atingiram a maturidade reprodutiva.

No Amapá, a classe diamétrica de 100 cm a 150 cm concentrou a maior porcentagem da produção total de frutos de todas as castanheiras, considerando a média anual durante vários anos de monitoramento, nas duas áreas avaliadas (Figuras 6A e 6B). Esse padrão também foi observado no Acre (Figura 6E), onde se verifica, durante os cinco anos de monitoramento, que a produção média de frutos por castanheira também foi maior na classe de 100 cm a 150 cm. Em Roraima (Figuras 6C e 6D), a maior produção total absoluta e relativa continuou concentrada em castanheiras com diâmetros intermediários, com destaque nesse caso para as castanheiras com diâmetros entre 50 cm e 110 cm.

A concentração da produção total em classes de diâmetros intermediários das castanheiras pode ser devido à maior quantidade de árvores ou à maior produção média individual das castanheiras nessas classes. Apesar de no geral não haver diferenças entre a produção média por castanheira quando se compara em larga escala fitofisionomias ou comunidades, as diferenças entre classes diamétricas podem ser significativas, como evidenciado nas Figuras 6C, 6D e 6E. No entanto,

observa-se que as classes com as maiores produções médias não são aquelas que mais contribuem para a produção total (Figuras 6C e 6D). A produção total em cada classe é mais dependente da abundância de castanheiras, o que é mais uma evidência a favor do padrão anteriormente relatado de que a produção média por castanheira é menos importante para a produção total do que a quantidade de árvores. Confirmando esse padrão, a maior parte (46%) da produção concentrada na classe de 100 cm a 150 cm é coincidente com a maior abundância de castanheiras em uma das áreas do Amapá (Figura 6B).

Na outra área do Amapá (Figura 6A), no entanto, a maior abundância de castanheiras ficou concentrada na classe II (50 cm a 100 cm), que representa a segunda maior proporção (23%) da produção total. Essa é uma área que apresenta castanhais mais jovens e bem estabelecidos, oriundos da agricultura itinerante (Pastana, 2019; mais detalhes no capítulo 3.1), inclusive com algumas castanheiras superprodutivas, como aquela relatada anteriormente, com capacidade de produzir mais de mil frutos, que fica na classe de 100 cm a 150 cm. Isso pode puxar a média e aumentar a produção nessa classe que detém menor abundância do que a primeira, mas contém as castanheiras mais produtivas. Nesse caso do jovem castanhal que surgiu após abandono da área de roçado, muitas das castanheiras que corroboram a maior abundância na primeira classe a partir de 50 cm ainda estão em fase inicial do período reprodutivo e não atingiram seu potencial de produção de frutos.

Normalmente, quando se analisam as classes ontogenéticas e o ciclo de vida da espécie, a castanheira pode ser considerada reprodutiva a partir de 50 cm de DAP. No entanto, em determinadas condições, como em áreas de agricultura itinerante, em clareiras na floresta com maior incidência de luz, ou quando se considera o potencial genético diferenciado de um ou poucos indivíduos, as castanheiras podem iniciar o ciclo reprodutivo e começar a produzir bem mais cedo, tal como observado em Guedes et al. (2014) e Pastana et al. (2021). Nesses trabalhos foram registradas castanheiras produtivas com diâmetro menor que 30 cm. Todavia, são necessárias análises mais aprofundadas da quantidade relativa e porcentagem de castanheiras produtivas em cada classe diamétrica, em diferentes parcelas, ambientes e situações de manejo, para definir as idades reprodutivas. Por exemplo, em área plantada com mudas oriundas de sementes, no campo experimental da Embrapa Amapá, foi confirmada a idade reprodutiva e o início de produção de frutos com oito anos.

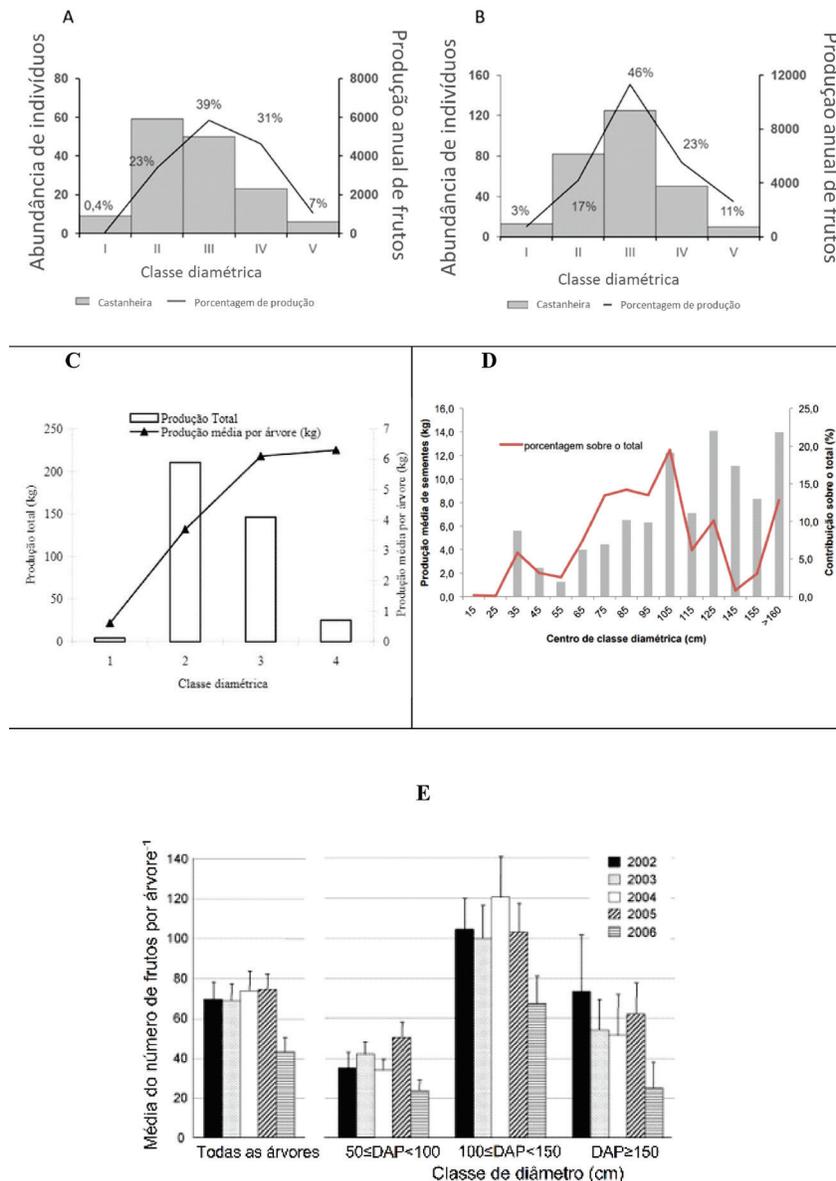


Figura 6. Relações da produção de frutos (Amapá e Acre) e de quilos de castanha (Roraima) com a abundância e distribuição diamétrica (cm) das castanheiras em três estados da Amazônia brasileira: Amapá (A e B), Roraima (C e D) e Acre (E). Classes segundo Wadt et al. (2005): 1 e I ($10 < \text{DAP} < 50$), 2 e II ($50 < \text{DAP} < 100$), 3 e III ($100 < \text{DAP} < 150$), 4 e IV ($150 < \text{DAP} < 200$) e V ($\text{DAP} \geq 200$).

Fonte: Amapá (Pastana, 2019); Roraima (Tonini et al., 2008) e Acre (Kainer et al., 2007).

Variação temporal na produção de frutos por castanheira

As castanheiras que ocorrem naturalmente nas florestas apresentam elevada variação temporal na produção de frutos, tanto entre diferentes árvores de uma determinada população como para uma mesma castanheira ao longo de diferentes anos (Kainer et al., 2006; Pedrozo et al., 2015). A avaliação da variação na produção de castanha ao longo dos anos é importante, pois afeta diretamente o tamanho das safras e os preços alcançados na comercialização destas. Nesse sentido, um modelo capaz de gerar uma previsão de safra para anos futuros seria muito útil para os envolvidos na cadeia de comercialização e nas políticas públicas relacionadas, como aquela que define o preço mínimo para produtos da sociobiodiversidade. No entanto, ainda não se tem esse modelo, pois são necessárias séries temporais de longo prazo para sua validação, havendo, ainda, a preocupação de que as mudanças climáticas podem estar alterando, cada vez mais, os padrões fenológicos das plantas, afetando, assim, a robustez do modelo.

Ao longo de um período de 15 anos de monitoramento da rede Kamukaia, foi constatado que os anos de 2012, 2015 e 2020 foram aqueles com as maiores produções de frutos de castanheiras na grande maioria das áreas avaliadas no Acre e no Amapá (Figura 7). Em Roraima, durante o período de monitoramento de 2006 a 2012, também foi detectado que em 2012 as castanheiras apresentaram produção bem acima dos demais anos (Tonini; Pedrozo, 2014).

Normalmente, os anos em que ocorrem picos de produção máxima são os mesmos em distintos ambientes e regiões. Isso pode ser um indicativo de que o *masting effect* é importante na definição dos anos com picos de produção acima da média. O efeito *masting* está relacionado com os anos em que a produção de frutos é elevada para várias espécies e sincronizada em grandes áreas, podendo ser associado com condições climáticas específicas, ocorridas em anos que antecedem o período reprodutivo (Bogdziewicz et al., 2019; Kelly et al., 2013; Piovesan; Adams, 2001, 2005; Schauber et al., 2002).

No sul do Amapá, foi possível verificar que os anos de maior produção foram relacionados com períodos anteriores de neutralidade ou anomalia negativa na temperatura das águas do Pacífico Sul, que define a predominância da La Niña em níveis globais (Pastana et al., 2021). Isso confirma que a variação temporal na produção de castanha depende de condições climáticas e meteorológicas que acontecem nos anos anteriores ao da safra. As anomalias como o aquecimento

e o resfriamento das águas do Pacífico Sul, denominadas de El Niño e La Niña, respectivamente, acarretam efeitos de diferentes escalas, tanto nos níveis globais quanto nos locais. Pastana et al. (2021) também confirmaram que houve relação da ampliação da anomalia positiva da temperatura nas águas do Pacífico com o aumento da temperatura máxima no nível local de ocorrência das castanheiras no sul do Amapá.

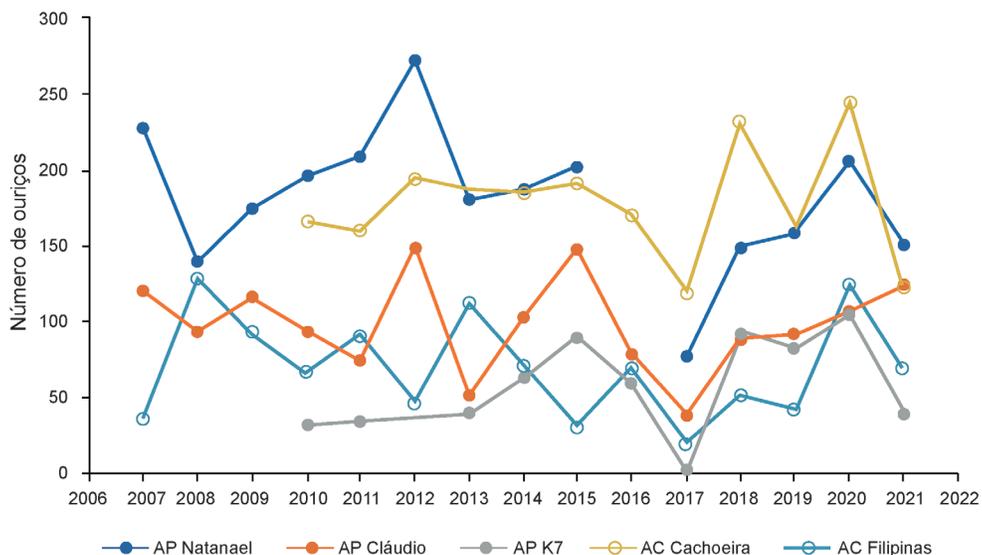


Figura 7. Variação anual na produção média individual de frutos (ouríços) por castanheira produtiva, durante 15 anos de monitoramento em parcelas permanentes localizadas em castanhais nativos no Amapá e no Acre. O monitoramento em AP K7 e AC Cachoeira foi iniciado em 2010. Em anos com a sequência temporal interrompida, não foi possível realizar o monitoramento em determinada área.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados da Rede Kamukaia.

Após os anos de máxima produção em cada área, pode-se observar uma tendência geral de queda acentuada na safra seguinte. Isso pode estar ligado à questão fisiológica, devido à maior drenagem de nutrientes e reservas de carboidratos para os frutos em anos de maior produção. Nesses anos, pode haver falta de nutrientes para formação da nova safra, pois o ciclo de desenvolvimento dos frutos da castanheira dura mais de 12 meses e a floração ocorre ao mesmo tempo que está acontecendo o amadurecimento final do fruto. Já foi relatado que a castanheira necessita acumular reservas nutricionais entre safras com grandes produções (Fenner, 1998), de modo a “recuperar-se” do esforço exigido para a produção de

uma grande safra. Isso pode indicar que áreas com solos mais férteis e maior disponibilidade de recursos nutricionais são importantes na definição da capacidade produtiva dos castanhais, pela manutenção de um fluxo constante de absorção e realocação de nutrientes pelas castanheiras. Essa lógica também se aplica em anos de queda muito acentuada na produção, como aconteceu em 2017, quando haveria menor drenagem de nutrientes, permitindo à castanheira acumular reserva para a recuperação da produção e a formação da safra seguinte.

Ainda não é possível definir um ciclo temporal de variação na produção de castanha, mas é certo que não se trata de um ano de alta produção seguido por outro de baixa produção e assim sucessivamente. Em algumas áreas e períodos, a variação parece ser bienal, alternando dois anos de produção crescente com dois anos de queda na produção, mas também se pode observar na Figura 7 sequências maiores de crescimento ou decréscimo na produção, chegando até a quatro anos.

No ano de 2017, foi observada a menor produção em todas as áreas monitoradas; essa queda drástica ocorreu em toda a Amazônia e elevou o preço da castanha a patamares nunca antes atingidos. A falta do produto na safra de 2017 fez o preço da lata (11 kg) de castanha subir para R\$ 120,00 em algumas regiões, em comparação a 2016, quando foi vendida em média por R\$ 50,00. Na Resex Cajari, uma lata chegou a ser comercializada por mais de R\$ 200,00 na safra de 2017 (Embrapa, 2017).

No Amapá e no Acre, essa queda na produção em 2017 foi associada com o mais forte El Niño ocorrido na Amazônia, em 2015/2016, que influenciou na redução do volume de chuvas, que prolongou o período menos chuvoso de três para seis meses (Pastana et al., 2021; Staudhammer et al., 2021). Também foi detectado aumento da temperatura máxima local e de anomalias térmicas no Pacífico acima de 2 °C, principalmente no terceiro semestre antes da safra de 2017, quando acontecia o florescimento e o início da formação de seus frutos (Pastana et al., 2021). Além disso, no estudo de Staudhammer et al. (2021), foi verificado que o preditor mais forte para a produção de frutos na castanheira foi a área da copa. A elevação do terreno e a área de alburno também impactaram significativa e positivamente na produção de frutos, mas esses efeitos variaram em função do local. Castanheiras localizadas em pontos com maior disponibilidade de P e K produziram quase três vezes mais frutos e pareciam mais resistentes à seca prolongada e às condições atmosféricas mais secas.

Considerações finais

As florestas com ocorrência de castanheiras em diferentes regiões da Amazônia apresentam um padrão de densidade foliar ao longo de seu perfil vertical semelhante ao padrão geral da floresta amazônica. No entanto, elas são diferenciadas na estrutura vertical, quanto à altura das árvores. Os castanhais da Amazônia Oriental apresentam as árvores mais altas da espécie e o dossel florestal mais elevado, assim como maiores densidades de castanheiras. Nessa região, foram registradas castanheiras com 52 m de altura total e altura de copa maior do que a altura comercial do tronco, o que confirma o padrão peculiar e exuberante das grandes copas da espécie.

Não há um padrão claro na estrutura da distribuição diamétrica das castanheiras na Amazônia, nem dentro do mesmo estado. Existem áreas com castanheiras muito grossas, com mais de 200 cm de diâmetro, que podem acumular mais de 60 m³ de volume em seus troncos e as quais têm um papel decisivo no armazenamento de carbono e para a ecologia histórica da Amazônia. Há também regiões com elevada frequência de castanheiras menores, e não se verifica uma ausência calamitosa de castanheiras jovens em áreas com elevada intensidade de coleta. Não se pode, portanto, associar a falta de castanheiras menores em determinadas áreas com a retirada dos frutos durante a atividade extrativista. Outra observação em relação à estrutura horizontal dos castanhais é que as castanheiras situadas em classes de diâmetro intermediário são responsáveis pela maior proporção da produção, e não as mais grossas.

A densidade de castanheiras também é maior na Amazônia Oriental, e isso tem relação direta com a produtividade de determinado castanhal. Nessa região, tanto a densidade como a produção total de uma determinada área são maiores em florestas mais abertas. Não foi observada variação significativa na produção média por árvore quando comparados castanhais em diferentes tipologias florestais e de diferentes comunidades. No entanto, como as castanheiras não ocorrem de maneira uniforme na floresta, mas, sim, de maneira aleatória ou com tendência à agregação, não é recomendável estimar o potencial produtivo de uma grande região pela simples multiplicação da área da região pela produtividade ou pela densidade média de castanheiras, ambas calculadas em função de uma pequena área amostrada dentro da respectiva área de ocorrência.

A variação temporal na produção de castanha depende de condições climáticas e meteorológicas que acontecem em anos anteriores ao da safra. Anos com picos de alta produção acontecem simultaneamente em vários estados da Amazônia e estão relacionados positivamente com anos anteriores mais chuvosos. Em contrapartida, anos com grandes quedas na produção podem ser associados com temperaturas máximas mais elevadas e ocorrência de fortes *el Niños* na Amazônia em anos anteriores à safra. A intensificação dos fenômenos e o estabelecimento da crise climática já é uma realidade, e as anomalias e os eventos extremos têm se tornado cada vez mais frequentes nos últimos anos, já afetando a produção de castanha. Assim, a crise climática e esses eventos específicos precisam ser considerados no planejamento estratégico em polos de produção de castanha e na elaboração de políticas para conservação das florestas amazônicas.

A renovação do castanhal e os cuidados, como o corte de cipós, podem ajudar a proteger a produção de castanha dos efeitos negativos da crise climática. O conhecimento e o monitoramento meteorológico da região de produção devem ser utilizados na previsão de safra e no planejamento de políticas e ações de mercado. Assim, é altamente recomendável a instalação e a manutenção de estações meteorológicas próximas das principais regiões produtoras de castanha na Amazônia. A constatação de que a densidade próxima de 20 castanheiras por hectare pode gerar as maiores produtividades em castanhais nativos é um indicativo de que essa é uma densidade ótima para orientar recomendações de enriquecimento e manejo em condições naturais, visando ao fortalecimento da base produtiva da castanha-da-amazônia nas comunidades agroextrativistas.

Referências

ARCHIBALD, S.; BOND, W. J. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. **Oikos**, v. 102, n. 1, p. 3-14, July 2003. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12181.x>.

BADDLEY, A. **Analyzing spatial patterns in R**: workshop notes, version 4.1. Australia: CSIRO, 2010. Disponível em: https://research.csiro.au/software/wp-content/uploads/sites/6/2015/02/Rspatialcourse_CMIS_PDF-Standard.pdf._CMIS_PDF-Standard>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BATISTA, A. P. B.; SCOLFORO, H. F.; MELLO, J. M. de; GUEDES, M. C.; TERRA, M. C. N. S.; SCALON, J. D.; GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, P. G. V.; COOK, R. L. Spatial association of fruit yield of *Bertholletia excelsa* Bonpl. trees in eastern Amazon. **Forest Ecology Management**, v. 441, p. 99-105, June 2019.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.043>.

- BOGDZIEWICZ, M.; SZYMKOWIAK, J.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M.; PEÑUELAS, J.; ESPELTA, J. M. The effects of local climate on the correlation between weather and seed production differ in two species with contrasting masting habit. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268, p. 109–115, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.016>.
- BORELLA, D. R.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; BOUVIÉ, L.; NOGUEIRA, A. S.; PEREIRA, C. A. L.; SILVA, M. A. L. V. Biometria de frutos e sementes da castanheira-do-brasil da região médio-norte do Mato Grosso. **Nativa**, v. 5, n. 7, p. 628-633, Dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05nespa01>.
- BULLOCK, S. H. Developmental patterns of tree dimensions in a neotropical deciduous forest. **Biotropica**, v. 32, n. 1, p. 42-52, Mar. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00446.x>.
- CAPRETS, R. L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, com função K de Ripley**. 1994. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.
- COSTA, F. F. **Ocorrência e estrutura vertical de florestas com castanheiras na Amazônia brasileira**. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- COTTA, J. N.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, July 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.026>.
- CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. de; CUNHA, H. F. A. (org.). **Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no estado do Amapá**. Macapá: IEPA, 2010. p. 83-96.
- DEAN, T. J.; LONG, J. N. Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* e *Trifolium pratense*. **Annals of Botany**, v. 58, n. 6, p. 833-840, Dec. 1986. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087265>.
- GONÇALVES, D. A. **Construção de banco de dados georreferenciados sobre castanha-da-amazônia na Resex Cajari, usando software livre**. 2019. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado do Amapá, Macapá.
- GUEDES, M. C.; NEVES, E.; RODRIGUES, E. G.; PAIVA, P.; COSTA, J. B. P.; FREITAS, M. F.; LEMOS, L. M. `Castanha na roça': expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 381-398, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.532>.
- GUEDES, M. C.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; MELEM JUNIOR, N. J.; SILVA, K. E. da. Classificação do solo e relação com densidade e produção de castanheiras na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2017, Belém, PA. **Amazônia e seus solos: peculiaridades e potencialidades: anais**. Belém, PA: SBCS, 2017.
- HOMMA, A. K. O.; MENEZES, J. A. E. A.; MAUÉS, M. M. Castanheira-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 293-306, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.526>.
- ISHII, H.; ASANO, S. The role of crown architecture, leaf phenology and photosynthetic activity in promoting complementary use of light among coexisting species in temperate forests. **Ecological Research**, v. 25, p. 715-722, July 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0668-4>.

- JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas em Moju-PA. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 36-48, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100004>.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; GOMES-SILVA, D. A. P.; CAPANU, M. Liana loads and their association with *Bertholletia excelsa* fruit and nut production, diameter growth and crown attributes. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, p. 147-154, Mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405002981>.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil Nut fruit Production. **Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, Oct. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.024>.
- KAMINSKI, P. E.; TONINI, H.; MOURÃO JÚNIOR, M.; SCHWENGBER, L. A. M. Biometria de fruto de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em Roraima. In: SEMINÁRIO DO PROJETO KAMUKAIA – MANEJO SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADEIREIROS NA AMAZÔNIA, 1., 2008, Rio Branco, Acre. **Anais...** Rio Branco, AC: Embrapa, 2008.
- KING, D. A. Tree dimensions: maximizing the rate of height growth in dense stands. **Oecologia**, v. 51, p. 351-356, Jan. 1981. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00540905>.
- KING, D. A. Tree form, height growth, and susceptibility to wind damage in *Acer saccharum*. **Ecology**, v. 67, n. 4, p. 980-990, Aug. 1986. DOI: <https://doi.org/10.2307/1939821>.
- KING, D. A. Allometry and life history of tropical trees. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, n. 1, p. 25-44, Jan. 1996. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400009299>.
- KOHYAMA, T. S.; HOTTA, M. Significance of allometry in tropical saplings. **Functional Ecology**, v. 4, n. 4, p. 515-521, 1990. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389319>.
- LIDA, Y.; KOHYAMA, T. S.; KUBO T.; KASSIM, A. R.; POORTER, L.; STERCK, F.; POTTS, M. D. Tree architecture and life-history strategies across 200 co-occurring tropical tree species. **Functional Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1260-1268, Dec. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01884.x>.
- LIMA, A. S. **Equações de volume para estimativa de biomassa de castanha-da-amazônia**. 2015. 46 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- MCMAHON, T. Size and shape in Biology: elastic criteria impose limits on biological proportions, and consequently on metabolic rates. **Science**, v. 179, n. 4079, p. 1201-1204, Mar. 1973. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.179.4079.1201>.
- MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, Mar. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00124-3).
- NEVES, E. S.; GUEDES, M. C.; RODRIGUES, E. G. Relação da produção de frutos de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com variáveis das próprias castanheiras, em capoeira e floresta da Resex Cajari. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 31-37, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n2p31-37>.
- NIKLAS, K. J. The allometry of safety-factors for plant height. **American Journal of Botany**, v. 81, n. 3, p. 345-351, Mar. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1994.tb15453.x>.

NORBERG, R. A. Theory of growth geometry of plants and self-thinning of plant populations: geometric similarity, elastic similarity, and different growth modes of plant parts. **The American Naturalist**, v. 131, n. 2, p. 220-256, Feb. 1988. DOI: <https://doi.org/10.1086/284787>.

PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology Management**, v. 261, n. 3, p. 508-514, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.001>.

PASTANA, D. N. B. **Produção de frutos da castanheira-da-amazônia no Amapá – 12 anos de monitoramento e as relações com anomalias climáticas**. 2019. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, Macapá.

PASTANA, D. N. B.; MODENA, É. S.; WADT, L. H. O.; NEVES, E. S.; MARTORANO, L. G.; LIRA-GUEDES, A. C.; SOUZA, R. L. F.; COSTA, F. F.; BATISTA, A. P. B.; GUEDES, M. C. Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 51, p. 270-279, jul./set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003702>.

PEDROZO, C. A.; TONINI, H.; RESENDE, M. D. V.; JORDÃO, S. M. S. Repeatability of fruits and seeds production and selection of brazil nut genotypes in native populations in Roraima. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 863-871, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500009>

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 JUNIOR., G. H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5635, p. 2112-2114, Dec. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1091698>.

POORTER, L.; ROZENDAAL, D. M. A. Leaf size and leaf display of thirty-eight tropical tree species. **Oecologia**, v. 158, p. 35-46, Nov. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1131-x>.

ROETIS, B. V.; ROSSI, A. A. B.; BALDONI, A. B.; TIAGO, A. V.; TONINI, H. Divergência genética de castanha-do-Brasil por meio de caracteres biométricos de frutos e sementes. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 8, p. 249-259, out./nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0022>.

ROCHA, V. D.; LIMA, J. S.; BISPO, R. B.; COCHEV, J. S.; ROSSI, A. A. B. Caracterização biométrica de frutos e sementes de castanha-do-brasil na Amazônia mato-grossense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, p. 186, 2016. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1008>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SALOMÃO, R. P. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 9, n. 2, p. 259-266, maio/ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.524>.

SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. N. C.; GURGEL, E. S. C.; CARVALHO, A. C. M. *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonplad (Lecythidaceae): aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula. **Boletim do Museu paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 1, n. 2, p. 103-112, maio/ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v1i2.745>.

SILVA, A. C. C.; WADT, L. H. O. Remoção de sementes de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em castanhas nativas no sudoeste da Amazônia. In: SEMINÁRIO ANUAL DE COOPERAÇÃO UFAC/UF, 6., 2008, Rio Branco. **Parcerias em pesquisa e pós-graduação**: anais. Rio Branco: Ufac: University of Florida, 2008. p. 137. 1 CD-ROM.

- SILVIUS, K. M.; FRAGOSO, J. M. V. Red-rumped Agouti (*Dasyprocta leporina*) home range use in an Amazonian forest: implications for the aggregated distribution of forest trees. **Biotropica**, v. 35, n. 1, p. 74-83, Mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00264.x>.
- SMITH, A. P.; HOGAN, K. P.; IDOL, J. R. Spatial and temporal patterns of light and canopy structure in a lowland tropical moist forest. **Biotropica**, v. 24, n. 4, p. 503-511, Dec. 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389012>.
- SOUZA, R. L. F. **Variabilidade espacial da produtividade e estrutura arbórea de castanhais nativos na Amazônia Oriental**. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- SPOSITO, T. C.; SANTOS, F. A. M. Scaling of stem and crown in eight Cecropia (Cecropiaceae) species of Brazil. **American Journal of Botany**, v. 88, n. 5, p. 939-949, May 2001. DOI: <https://doi.org/10.2307/2657047>.
- STARK, S. C.; ENQUIST, B. J.; SALESKA, S. R.; LEITOLD, V.; SCHIETTI, J.; LONGO, M.; ALVES, L. F.; CAMARGO, P. B.; OLIVEIRA R. C. de. Linking canopy leaf area and light environments with tree size distributions to explain Amazon forest demography. **Ecology Letters**, v. 18, n. 7, p. 636-645, July 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12440>.
- STARK, S. C.; LEITOLD, V.; WU, J. L.; HUNTER, M. O.; CASTILHO, C. V. de; CAROLINA, V.; COSTA, F. R. C.; MCMAHON, S. M.; PARKER, G. G.; SHIMABUKURO, M. T.; LEFSKY, M. A.; MICHAEL, A.; KELLER, M.; ALVES, L. F.; SCHIETTI, J.; SHIMABUKURO, Y. E.; BRANDÃO, D. O.; WOODCOCK, T. K.; HIGUCHI, N.; CAMARGO, P. B. de; OLIVEIRA, R. C. de; SALESKA S. R. Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. **Ecology Letters**, v. 15, n. 12, p. 1406-1414, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01864.x>.
- STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; CUNHA, T. A. Comparative models disentangle drivers of fruit production variability of an economically and ecologically important longlived Amazonian tree. **Scientific Reports**, v. 11, 2563, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81948-4>.
- STEEGE, H. ter.; PITMAN, N.; SABATIER, D.; CASTELLANOS, H.; HOUT, P. V. D.; DALY, D. C.; SILVEIRA, M.; PHILLIPS, O.; VASQUEZ, R.; ANDEL1, T. V.; DUIVENVOORDEN, J.; OLIVEIRA, A. A.; EK, R.; LILWAH, R.; THOMAS, R.; ESSEN, J. V.; BAIDER, C.; MAAS, P.; MORI, S.; TERBORGH, J.; VARGAS, P. N.; MOGOLLÓN, H.; MORAWETZ, W. A spatial model of tree α -diversity and density for the Amazon. **Biodiversity and Conservation**, v. 12, p. 2255-2277, Nov. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024593414624>.
- TONINI, H.; COSTA, P.; KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Revista Floresta**, v. 38, n. 3, p. 445-457, jul./set. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v38i3.12410>.
- TONINI, H.; PEDROZO, C. A. Variações anuais na produção de frutos e sementes de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) em florestas nativas de Roraima. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 133-144, Fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100013>
- TREMMEL, D. C.; BAZZAZ, F. A. Plant architecture and allocation in different neighborhoods: implications for competitive success. **Ecology**, v. 76, n. 1, p. 262-271, Jan. 1995. DOI: <https://doi.org/10.2307/1940647>.
- VINCENT, G.; HARJA, D. Exploring ecological significance of tree crown plasticity through three-dimensional modelling. **Annals of Botany**, v. 101, n. 8, p. 1221-1231, May 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm189>.

- WADT, L. H. de O.; BALDONI, A. B.; SILVA, V. S.; CAMPOS, T. de; MARTINS, K.; AZEVEDO, V. C. R.; MATA, L. R. da; BOTIN, A. A.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; TONINI, H.; SEBBENN, A. M. Mating system variation among populations, individuals and within and among fruits in *Bertholletia excelsa*. **Silvae Genetica**, v. 64, p. 248_259, Nov. 2015.
- WADT, L. H. O.; FAUSTINO, C. L.; STAUDHAMMER, C. L.; KAINER, K. A.; EVANGELISTA, J. S. Primary and secondary dispersal of *Bertholletia excelsa*: implications for sustainable harvests. **Forest Ecology and Management**, v. 415-416, p. 98-105, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.014>.
- WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.
- WEINER, J. Allocation, plasticity and allometry in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 6, n. 1, p. 207-215, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083>.
- WIRTH, R.; WEBER, B.; RYEL, R. J. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. **Acta Oecologica**, v. 22, n. 5-6, p. 1-10, Sept./Dec. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(01\)01123-7](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(01)01123-7).
- ZUIDEMA, P.; BOOT, R. Demography of the Brazil Nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1-31, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002018>.