

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
MESTRADO EM CIÊNCIA FLORESTAL**

UILIAN COSTA DE ARAÚJO

**PADRÕES DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO EM REGENERAÇÃO
NATURAL DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. EM FLORESTA SECUNDÁRIA NO
MUNICÍPIO DE XAPURI, ACRE**

**RIO BRANCO
ACRE – BRASIL
MARÇO – 2020**

UILIAN COSTA DE ARAÚJO

PADRÕES DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO EM REGENERAÇÃO NATURAL
DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. EM FLORESTA SECUNDÁRIA NO MUNICÍPIO DE
XAPURI, ACRE

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Acre, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Área de Concentração: Manejo Florestal.
Orientador: Dr. Thiago Augusto da Cunha.

RIO BRANCO
ACRE – BRASIL
MARÇO-2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

A663p Araújo, Uilian Costa de, 1995 -
Padrões de crescimento em diâmetro em regeneração natural de *Bertholletia excelsa Bonpl.* Em floresta secundária no município de Xapuri, Acre / Uilian Costa de Araújo; Orientador: Dr. Thiago Augusto da Cunha. -2020.
100 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós –
Graduação em Ciência Florestal, Mestre em Ciência Florestal, Rio Branco, 2020.
Inclui referências bibliográficas e apêndices.

1. Manejo de regeneração. 2. Floresta secundária. 3. Potencial produtivo. I.
Cunha, Thiago Augusto da. (Orientador). II.Título.

CDD: 634

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11º/882



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação/
Centro de Ciências Biológicas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal-Ciflor

ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA FLORESTAL, DO MESTRANDO: **UILIAN
COSTA DE ARAÚJO**, REALIZADA NO DIA 30 DE
MARÇO DE 2020.

Às oito horas e vinte minutos do dia trinta de março de 2020, realizou-se a Defesa de Dissertação, intitulada: “**Padrões de crescimento em diâmetro em regeneração natural de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em floresta secundária no município de Xapuri, Acre**”, de autoria do mestrando, Uilian Costa de Araújo, discente do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado (Ufac), de forma online, através do Serviço de Conferência Web da RNP. Na ocasião, a Comissão Examinadora esteve constituída pelos membros: **Dr. Thiago Augusto da Cunha (Orientador/ Presidente/ CCBN/Ufac); Dr. Afonso Figueiredo Filho (Membro Externo/ Unicentro/ Paraná) e Dr^a. Lúcia Helena de Oliveira Wadt (Membro Externo/ Embrapa/ Rondônia)**. Logo após exposição oral, houve arguição pelos examinadores e, ao final da arguição, reaberta a sessão pública, o discente foi considerado **Aprovado** pela Comissão Examinadora. Ao final, foi lavrada a presente ata, que será assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dr. Thiago Augusto da Cunha
(Orientador/ Presidente/CCBN/Ufac)

Dr. Afonso Figueiredo Filho
(Membro Externo/ Unicentro/PR)

Dr^a. Lúcia Helena de Oliveira Wadt
(Membro Externo/Embrapa/Rondônia)

A minha mãe, Maria da Conceição Lima da Costa.
Ao meu pai, Rosildo Ferreira de Araújo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por mais um sonho realizado.

Aos meus pais, pelo apoio imprescindível durante essa etapa da minha vida. Aos meus irmãos, Carolaine, Nicole, José e Artur, pelo apoio e motivação.

Ao meu nobre orientador, Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha, pela orientação, ensinamentos, amizade e apoio durante a realização deste trabalho.

Ao Eduardo Bongioiolo, pela disponibilidade dos seus dados para a continuação da pesquisa, muito obrigado.

Aos pesquisadores Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho (Unicentro/PR) e Dra. Lúcia Helena de Oliveira Wadt (Embrapa/RO) pelas correções e sugestões valiosas para o melhoramento deste trabalho.

Aos professores do Ciflor, Dr. Tarcísio Gualberto e Dra Sabina Ribeiro pelas críticas construtivas deste trabalho na sua fase de elaboração.

Aos amigos do mestrado, Marcelo, Egón, Márcio, Melbin, Alexandra, Raquel, Aline, Gabiel e Raimundo, obrigado pela parceria e convívio no laboratório durante as aulas.

Ao Aldecir, técnico de campo da Embrapa Acre, obrigado pela ajuda no campo durante as coletas.

A Embrapa/RO, na pessoa da pesquisadora Dra. Lúcia Wadt, obrigado pelo apoio na logística de campo, disponibilizando o carro e o técnico de campo.

A professora Karen Kainer, da Universidade da Flórida, pela ajuda na construção deste trabalho.

A Unicentro/PR, pelo acolhimento durante a missão de estudos realizado em Irati.

A UFAC e ao CIFLOR, pela oferta desse mestrado e pela estrutura disponibilizada pra as pesquisas.

A CAPES, pela bolsa de mestrado e o auxílio PROCAD, muito obrigado.

Ao seu Duda Mendes, pelo acolhimento durante o trabalho de campo.

Ao Gleison Oliveira (*in memorian*) e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista.

*“Quando é óbvio que os objetivos não podem ser alcançados, não ajuste as metas,
mas sim as etapas da ação.”*

Confúcio (551 a.C. a 479 a.C.)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- d Diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo (cm)
- h Altura total do nível do solo até a parte mais alta da copa (m)
- h1 Altura do fuste do nível do solo até a primeira bifurcação da copa (m)
- DC Diâmetro da copa (m)
- CC Comprimento da copa (m)
- GE Grau de esbeltez
- PC Proporção de copa (%)
- IS Índice de saliência
- IA Índice de abrangência
- FC Formas de copa
- FAB Fator de área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)
- BAL Índice de competição de Bal
- HEG Índice de competição de Hegyi
- GLH Índice de competição de Glover e Hool

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do levantamento de árvores vizinhas pelo método Bitterlich. Seguindo a linha de leitura angular, as árvores cinzas serão incluídas no levantamento, pois apresentam um diâmetro maior que a abertura angular. Fonte: Motz et al. (2010).	15
Figura 2. Representação do Seringal Cachoeira em Xapuri - Acre, com a distribuição das áreas de capoeira utilizadas no estudo.....	21
Figura 3. Modelo para a avaliação da posição social das árvores de castanheira proposto por Dawkins (1963) e adaptado por Cunha (2009).	23
Figura 4. Padrões de classificação da forma da copa proposta por Dawkins (1963) e adaptado por Cunha (2009).	24
Figura 5. Distribuição do número de castanheiras total, encontradas nas capoeiras, divididas por classe de diâmetro.....	33
Figura 6. Crescimento acumulado do diâmetro sem casca (cm) em relação ao número de anos coletados na altura do DAP, sendo A, crescimento da classe >10 até 20, B a classe >20 até 30 e C >30 até 40 cm de DAP sem caca.....	41
Figura 7. A) altura total; B) diâmetro de copa; C) comprimento de copa; D) proporção de copa; E) grau de esbeltez; F) índice de saliência; G) índice de abrangência; H) formal de copa em função do d.	47
Figura 8. Representação do d em função do índice de BAL.....	50
Figura 9. Representação do d em função do índice de Hegyi.....	51
Figura 10. Representação do d em função do índice de Glover e Hool.....	52
Figura 11. Valores observados e estimados do índice de Glover e Hool em relação ao d.	54
Figura 12. Distribuição dos resíduos (%) do modelo Glover e Hool em função dos valores estimados.....	55
Figura 13. Incremento periódico anual em área basal em função das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição.	59
Figura 14. Valores observados e estimados de incremento periódico anual em área basal em relação ao d (cm).	61
Figura 15. Distribuição dos resíduos do modelo de incremento periódico anual em área basal (IPAg cm ² .ano ⁻¹) em função do d e índice de Glover e Hool.....	62
Figura 16. Média do IPAg (cm ² .ano ⁻¹) das castanheiras de diferentes classes de posição social.....	62
Figura 17. Comportamento do incremento periódico em área basal (IPAg cm ² .ano ⁻¹) por posição social para cada classe de diâmetro.....	63

Figura 18. Associação do incremento periódico em área basal ($\text{IPAg}/\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) com a posição social das castanheiras.	64
Figura 19. Média do IPAg ($\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) das castanheiras de diferentes cargas de lianas no fuste e na copa.	65
Figura 20. Associação do incremento periódico em área basal ($\text{IPAg}/\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) das castanheiras com as diferentes cargas de lianas presentes na copa.	66
Figura 21. Associação do incremento periódico anual em área basal ($\text{IPAg}/\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) das castanheiras com a forma da copa das árvores.	67
Figura 22. Associação do incremento periódico anual em área basal ($\text{IPAg}/\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) das castanheiras com a sanidade do fuste das árvores.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos índices de morfometria. Fonte: adaptado de Cunha e Finger (2012).....	27
Tabela 2 – Critérios de ajuste de modelo de regressão.	37
Tabela 3 - Capoeiras com suas respectivas idades, área, densidade de castanheiras e usos anteriores da terra.	32
Tabela 4 - Estatísticas das variáveis dendrométricas, morfométricas e índices de competição das unidades de amostra mensuradas nas capoeiras estudadas.	35
Tabela 5 - Cargas de liana em cada classe de diâmetro.	37
Tabela 6 - Número de indivíduos em cada classe de posição social conforme a classe de diâmetro.	39
Tabela 7 - Variação de idade determinada para as castanheiras.	40
Tabela 8 - Resumo dos resultados do controle de qualidade das séries executadas pelo programa COFECHA para a espécie <i>B. excelsa</i>	40
Tabela 9 - Nº de árvores amostradas, diâmetro sem casca (mínimo e máximo), idade das castanheiras (mínimo-máximo) e incremento em diâmetro (mínimo-máximo) para as castanheiras de classes de d.	43
Tabela 10 - Ajuste de modelo de competição em função de variáveis dendrométricas.	53
Tabela 11 - Correlação do IPAg ($\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) em relação as variáveis dendrométricas, morfométricas, competição e variáveis qualitativas.	56
Tabela 12 - Ajuste de modelo do IPAg, pelo método Stepwise, em função das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição.	60

RESUMO

ARAÚJO, Uilian Costa. Universidade Federal do Acre, Março de 2020. **Padrões de crescimento em diâmetro em regeneração natural de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em floresta secundária no município de Xapuri, Acre.** Orientador: Thiago Augusto da Cunha. As florestas secundárias (capoeiras) constituem um ambiente propício para o aparecimento de regeneração natural de castanheiras *Bertholletia excelsa* Bonpl. Avaliar as taxas de crescimento em diâmetro de indivíduos regenerados neste tipo de ambiente é importante para indicar práticas de manejo da espécie com vistas a promover o desenvolvimento das árvores. Neste sentido, um total de 19 capoeiras foram avaliadas no Seringal Cachoeira, Xapuri, estado do Acre, o que totalizou 251 indivíduos de castanha-da-Amazônia com diâmetro a altura do peito entre 0,50 a 40 cm e altura total maior ou igual a 1,5 m. Para cada árvore foi registrado variáveis dendrométricas, sua posição social e o nível de infestação por lianas na copa. Para os indivíduos com $d \geq 10$ cm, extraiu-se rolos de incremento a uma altura de 0,50 m para fins de datação dos indivíduos e a 1,30 m para avaliar o incremento corrente anual e o incremento periódico anual. O nível de competição foi calculado a partir da contagem do número de árvores vizinhas dentro de um raio variável considerando a castanheira como centro geométrico de acordo ao princípio de Bitterlich com um fator de área basal (FAB) de $4\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$. O status de competição foi calculado utilizando três índices de competição. A morfometria de cada árvore foi calculada utilizando índices de morfometria. Para avaliar o efeito das diferentes variáveis no crescimento das árvores, ajustou-se modelos de regressão. Foram encontradas árvores com idades entre 11 a 36 anos apresentando variação na idade de 1 a 10 anos. Os índices morfométricos indicaram que as árvores apresentam estabilidade e vitalidade. As árvores apresentaram diferentes níveis de competição sendo que árvores da classe de diâmetro < 10 cm com o maior nível de competição, com indicativo de necessidade de liberação. O modelo de regressão indicou o diâmetro (d) e a competição como os principais fatores que influenciaram na taxa de incremento periódico anual em área basal.

Palavras-chaves: Manejo da Regeneração; Floresta secundária; Potencial produtivo; População de castanha-do-Brasil.

ABSTRACT

ARAÚJO, Uilian Costa. Federal University of Acre, March 2020. **Growth patterns in diameter in natural regeneration of *Bertholletia excelsa* Bonpl. in secondary forest in the municipality of Xapuri, Acre.** Advisor: Thiago Augusto da Cunha. Secondary forests (capoeiras) are a favorable environment for the appearance of natural regeneration of chestnut *Bertholletia excelsa* Bonpl. Assessing the growth rates in diameter of regenerated individuals in this type of environment is important to indicate management practices of the species with a view to promoting the development of trees. In this sense, a total of 19 capoeiras were evaluated in the Seringal Cachoeira, Xapuri, state of Acre, which totaled 251 individuals of Amazon nut with a diameter at chest height between 0.50 to 40 cm and total height greater than or equal to 1.5 m. For each tree, dendrometric variables, their social position and the level of liana infestation in the crown were recorded. For individuals with $d \geq 10$ cm, increment rolls were extracted at a height of 0.50 m for the purposes of dating individuals and at 1.30 m to assess the current annual increment and the annual periodic increment. The level of competition was calculated from the count of the number of neighboring trees in a variable radius considering the chestnut tree as a geometric center according to the Bitterlich principle with a basal area factor (FAB) of $4\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$. The competition status was calculated using three competition indexes. The morphometry of each tree was calculated using morphometry indices. To evaluate the effect of different variables on the growth of trees, regression models were adjusted. Trees aged 11 to 36 years were found, with a variation in age from 1 to 10 years. The morphometric indices indicated that the trees have stability and vitality. The trees showed different levels of competition, with trees in the <10 cm diameter class with a higher level of competition, indicating the need for release. The regression model indicated diameter (d) and competition as the main factors that influenced the annual periodic increment rate in the basal area.

Keywords: Regeneration Management; Secondary forest; Productive potential; Brazil nut population.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
RESUMO
ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE <i>BERTHOLLETIA EXCELSA</i> BONPL.....	3
2.2 ESTRUTURA POPULACIONAL E PRODUÇÃO DE FRUTOS DE <i>BERTHOLLETIA EXCELSA</i> BONPL.	4
2.3 CRESCIMENTO, MORTALIDADE E REGENERAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA	7
2.4. SUCESSÃO EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS	8
2.5 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NO CRESCIMENTO DA ÁRVORE	10
2.6 MORFOMETRIA	11
2.7 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	12
2.8 MÉTODOS PARA OBTENÇÃO E DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE ÁRVORES	16
2.9 MODELAGEM DE CRESCIMENTO.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.2 AMOSTRAGEM DAS ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA (CAPOEIRA) E DA REGENERAÇÃO	21
3.3 COLETA DE DADOS EM CAMPO.....	22
3.3.1 Variáveis dendrométricas e qualitativas.....	22
3.3.2 Competição por árvores vizinhas	24
3.3.3 Idade e taxa de crescimento	25
3.4 MORFOMETRIA DAS ÁRVORES	26
3.5 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	27
3.6 ANÁLISE DOS DADOS	28
3.6.1 Análise gráfica e associação dos dados.....	28
3.6.2 Análise de regressão.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 REPRESENTATIVIDADE DA FLORESTA AVALIADA	31
4.2 CRESCIMENTO EM DIÂMETRO	40
4.3 MORFOMETRIA	46
4.4 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO.....	50

4.4.1 Modelagem da competição em função de variáveis dendrométricas.....	53
4.5 INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA BASAL (IPAG CM ² .ANO ⁻¹)	55
4.5.1 MODELAGEM DO INCREMENTO PERIÓDICO	60
4.5.2 Incremento periódico versus variáveis qualitativas	62
5 CONCLUSÕES	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

As áreas de floresta secundárias são ambientes que antes eram ocupadas por árvores de grande porte que foram derrubadas para o uso do solo pela agricultura de subsistência por comunidades que vivem na floresta. Essas áreas quando abandonadas, a vegetação secundária rapidamente ocupa o solo com um mix de espécies e são comumente conhecidas como capoeiras.

Entre os grupos de espécies comumente regeneradas nesse ambiente, está a *Bertholletia excelsa* (Castanha-da-amazônia) sendo que, ocorre uma maior densidade de indivíduos jovens encontrados nestas áreas, em relação às demais espécies da floresta nativa (GUEDES et al., 2014). Vários são os fatores que favorecem a regeneração dessa espécie em áreas de capoeiras, principalmente a grande atividade de dispersão de frutos realizado pela cutia (HAUGAASEN et al., 2012) e a alta incidência de luz nestes ambientes (SALOMÃO et al., 2012). Desta forma, é importante conhecer o comportamento dos indivíduos regenerantes nesses ambientes como forma de identificar os fatores que influenciam a taxa de crescimento para promover tratamentos silviculturais.

Brienen et al., (2009) afirmam que ainda é desconhecido o padrão de crescimento de espécies pioneiras e não pioneiras em capoeiras. Para as castanheiras regenerantes o comportamento da taxa de crescimento, nessas áreas, ainda é desconhecido. Já existem diversos estudos de crescimento em diâmetro para castanheiras adultas em florestas primárias. Estes foram elaborados à partir de análise de anéis de crescimento, com o objetivo de construir modelos de crescimento, estimar o tempo de passagem para as árvores ingressarem no diâmetro de maturidade produtiva (>40 cm DAP) e determinar a idade destas árvores (ZUIDEMA, 2003; BRIENEN; ZUIDEMA, 2006a; SCHÖNGART et al., 2015; ANDRADE et al., 2019).

Um estudo realizado em áreas de capoeiras no Seringal Cachoeira, em Xapuri, estado do Acre, utilizou um modelo individual de crescimento e produção de frutos de *B. excelsa* para representar quantitativamente a produção futura dessa região para os próximos 40 anos, na medida que a capoeira apresenta maior tempo de pousio e uma maior densidade de plântulas e varetas (BONGIOLO et al., 2020). Entretanto, esse modelo não foi parametrizado com dados de crescimento de árvores jovens que cresceram dentro do ambiente das capoeiras, mas sim utilizando-se de dados de crescimento de castanheiras adultas em floresta primária.

As informações sobre a taxa de crescimento destas castanheiras regenerantes, podem aprimorar as estimativas dos modelos de produção futura de frutos apresentados por Bongioio et al. (2020) como em outros modelos que poderão ser desenvolvidos. Além de poder determinar o padrão de crescimento, avaliar o estado destas castanheiras mediante a fatores como competição, morfometria, carga de lianas e posição social auxiliando na prescrição de tratamentos silviculturais para a liberação destas árvores (MYERS et al., 2000).

Assim, o objetivo principal deste trabalho foi determinar padrões de crescimento em diâmetro em regeneração natural de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em florestas secundárias em Xapuri, estado do Acre e o desenvolvimento de modelos de crescimento a partir de variáveis biométricas e índices de competição.

Especificamente, buscou-se determinar a idade e a taxa de crescimento em diâmetro da regeneração natural de castanheiras, em florestas secundárias. Avaliar nível de competição, os aspectos morfométricos e a carga de lianas das castanheiras e determinar o efeito das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição no crescimento periódico anual das castanheiras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características ecológicas de *Bertholletia excelsa* Bonpl.

A Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie da família Lecythidaceae, com uma área de ocorrência que engloba toda a bacia amazônica, Guianas e estendendo-se até o Peru, Bolívia e alto rio Negro na Venezuela (MORI; PRANCE, 1990). Embora seja considerada a única espécie do gênero, das extrativistas do estado do Acre, Fernandes et al. (2007) relataram a presença de dois tipos de castanheiras: as vermelhas e as brancas, onde a diferença entre elas são o porte da árvore, a cor da madeira, potencial produtivo, tamanho e forma dos frutos e sementes.

A castanheira apresenta porte emergente na fase adulta, cuja altura total pode alcançar 50 m e um diâmetro de até 3 m (RIBEIRO, 2011), podendo viver de 500 a 1.000 anos, sendo uma espécie auto incompatível e monóica (WADT et al., 2015). O início do seu desenvolvimento depende de altas taxas de iluminação, sendo considerada uma espécie clímax (SCOLES et al., 2011).

Em florestas de terra firme e por toda a bacia amazônica sua distribuição pode ser de forma irregular, na forma de manchas ou agregados com densidade de 5 a 20 árvores por hectare, mas com limitação de ocorrência em locais onde a precipitação anual varie de 1400 a 2800 mm por ano, dado ao fato de a espécie se desenvolver melhor em períodos de estiagem (DINIZ; BASTOS, 1974; SCOLES, 2016; WADT et al., 2018).

A distribuição irregular pode ser explicada por três teorias. A primeira é que o seu crescimento é mais rápido em grandes clareiras, sob a fase inicial do seu ciclo de vida (MORI; PRANCE, 1990; SALOMÃO, 1991). A segunda é que ao longo da história, o abandono dos campos utilizados por povos indígenas causou o desenvolvimento de povoamentos de castanheiras com a mesma idade,

aproximadamente (DUCKE, 1946; POSEY, 1985; SCOLES; GRIBEL, 2011; SCOLES; GRIBEL, 2012).

A terceira suposição é explicada pela forma de dispersão ser de curta distância, causada principalmente por roedores conhecidos como cutias (*Dasyprocta punctata* e *Dasyprocta leporina*) (PERES; BAIDER, 1997; HAUGAASEN et al., 2010; SCOLES; GRIBEL, 2012).

A dispersão realizada pelos roedores é importante para o estabelecimento de *B. excelsa*, pois, na maioria das vezes, enterram as sementes em lugares dispersos facilitando a sua germinação e na regeneração precoce de plântulas (WADT et al., 2018). A manipulação de frutos e sementes de *B. excelsa* pela fauna não se restringe apenas às cutias, visto que outros animais podem atuar de forma menos intensa, como o macaco-prego (*Cebus apella*) (HAUGAASEN et al., 2012) e outras espécies de animais do gênero *Sciurus* spp. e *Myoprocta* spp., sendo a cutia o roedor mais eficiente (WADT et al., 2018).

Após a germinação, crescimento e desenvolvimento da castanheira, a polinização é realizada, principalmente, pela abelha-carpinteira (*Xylocopa frontalis*), que é considerada a visitante floral mais abundante da castanheira (CAVALCANTE et al., 2012). Em geral as castanheiras frutificam naturalmente 15 meses após a polinização (MÜLLER, 1981) e a queda dos frutos ocorre nos meses de janeiro e fevereiro (WADT et al., 2018). Cada fruto apresenta entre 15 a 25 sementes, tem um formato globoso quando maduros, sendo extremamente duros e indeiscentes (MORI; PRANCE, 1990) e estas características tornam a quebra do fruto um processo difícil (RIBEIRO, 2011).

2.2 Estrutura populacional e produção de frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl.

Estudos na Amazônia apontam que em alguns castanhais ocorre a maior presença de indivíduos maduros, ou seja, que já produzem, bem como poucos indivíduos jovens, tendo em vista que na maioria dos estudos a área amostral foi pequena, podendo causar alguns vieses na estimativa real das populações (SCOLES; GRIBEL, 2012; NEVES et al., 2016). No entanto, em outros trabalhos que utilizaram uma área amostral maior, constatou-se uma maior densidade de indivíduos jovens (WADT et al., 2008).

Neves et al. (2016) avaliaram a estrutura populacional de castanheiras no Alto Acre (Seringal Filipinas e Seringal Cachoeira) e no Amapá, Resex Alto Cajari (localidades Água branca e Sororoca) por meio de inventário delimitado por parcelas de 300 m x 300 m, sendo avaliados todos os indivíduos com DAP ≥ 10 cm. Neste estudo foi medido o diâmetro, altura total e analisadas outras variáveis como a forma da copa e a presença de lianas, sendo encontrado, nos 108 ha amostrados nas duas regiões, 610 castanheiras com DAP ≥ 10 cm, sendo 126 árvores no Alto Acre e 424 no Amapá.

Ainda sobre o estudo de Neves et al. (2016), das 124 castanheiras encontradas no Alto Acre, 18,92% no Seringal Cachoeira e 30% no Seringal Filipinas se encontraram na classe de DAP ≤ 50 cm. Na Resex Alto Cajari, nas localidades Sororoca e Água branca, 26,49% e 10,96% também se encontraram na classe de DAP ≤ 50 cm, sendo consideradas árvores jovens.

Ao avaliar uma população de castanheiras por meio de inventário florestal nas aldeias Kayapó, Moikarakô e Kikretum no estado do Pará, Ribeiro (2011) encontrou 880 indivíduos de *B. excelsa*, distribuídos em 11 castanhais localizados na Terra Indígena Kayapó, em uma reserva de 3.284.005 ha no sul do Estado do Pará. Dentre as castanheiras encontradas, foram 231 plântulas de altura menor que 2 m, 164 indivíduos com altura maior que 2 m e DAP menor que 60 cm e 485 indivíduos de grande porte aptos à reprodução.

Oliveira (2011), ao estudar a estrutura populacional da castanheira na Reserva Extrativista Chico Mendes, no Seringal Filipinas e no Projeto de Assentamento Chico Mendes, conhecido como Seringal Cachoeira em Xapuri (Acre), por meio de parcelas permanentes onde a regeneração foi avaliada em 108 sub-parcelas de 25 m x 25 m, registrou que, 20,1% das sub-parcelas apresentaram plântulas e 14,6% apresentaram varetas.

A produção de sementes de castanha na Amazônia brasileira compete com outros meios de subsistência como a pecuária e agricultura. Essa concorrência, presente com o avanço da agropecuária, ameaça a produção de frutos da espécie na Amazônia (WADT et al., 2005).

A produção de frutos é variável entre as castanheiras. Em um estudo realizado na Reserva Extrativista Chico Mendes, a taxa de produção de frutos mostra que em uma população de 140 castanheiras, a produção variou entre 98,5 a 681 frutos por

árvore, tendo em vista que cerca de 25% das árvores produziram mais de 200 frutos ano⁻¹ (KAINER et al., 2007).

Um levantamento realizado na aldeia Kayapó, em anos com alta produção de castanha, 117 árvores de castanheira produziram de 207 ± 97 frutos por Castanheira (RIBEIRO et al., 2014). Tonini e Pedrozo (2014) estudaram as variações anuais na produção de frutos de castanheiras presentes em três áreas experimentais, localizadas nos municípios de Caracará e São João da Baliza. Para cada área foram delimitadas parcelas de 300 m x 300 m (9 ha), sendo que na primeira área, Projeto de Assentamento Itã, foram demarcadas duas parcelas, na segunda, Projeto de assentamento Cujubim, duas parcelas e a quinta parcela foi no município de São João da Baliza.

Os dados de produção foram monitorados nos anos de 2006 a 2012, sendo monitoradas 34 castanheiras no município de São João da Baliza, 238 no Cujubim e 113 no Itã, com um DAP >50 cm. Os autores encontraram uma variação no nº médio de frutos das árvores entre locais, com valores médios de 21 a 115 frutos. O número máximo de frutos observado por árvore foi de 1340 frutos, o peso médio de sementes, por árvore e local, variou entre 3,4 a 13,9 Kg, com um máximo de 173,8 Kg árvore⁻¹. Nos três locais estudados a produção total concentrou-se em pequeno número de indivíduos (TONINI; PEDROZO, 2014).

No estado do Acre, a maior produção de Castanha-da-amazônia se concentra na Reserva extrativista Chico Mendes e em alguns projetos de assentamentos, mediante as associações e cooperativas existentes no estado, formada por extrativistas e pequenos agricultores (MARTINS et al., 2008).

Por ser um produto de origem extrativista a Castanha-da-amazônia sofre uma flutuação de preço ao longo dos anos, sendo influenciada pela taxa de produção e pela concorrência de outros países como a Bolívia e o Peru (BROSE, 2016). No Brasil, 74% da produção de sementes da Castanha-da-amazônia é destinada ao mercado interno, sendo 26% à exportação (IMAFLOA, 2016).

O Acre está entre os três maiores produtores de Castanha-da-amazônia, juntamente com os estados do Amazonas e Pará, sendo que o valor negociado nas cooperativas e associações se concentram em unidades por “lata”, que em média pesa 10 quilos e seu valor varia de R\$ 35,00 a R\$ 100,00 (por lata), com oscilações no preço a cada safra (MARTINS et al., 2008; BAYMA et al., 2014).

2.3 Crescimento, mortalidade e regeneração da floresta amazônica

A Amazônia engloba a maior floresta tropical do mundo, provendo serviços ecossistêmicos essenciais para o ser humano (WESSELINGH et al., 2010; ALBIERO-JÚNIOR et al., 2019). Esses serviços ecossistêmicos referem-se a nutrientes, carbono, ciclos de água e uma diversa fonte de produtos florestais madeireiros e não madeireiros (SPRACKLEN et al., 2012; LAURANCE et al., 2018).

Para entender os fatores que influenciam na provisão desses serviços, deve-se conhecer a dinâmica das florestas tropicais, ou seja, mortalidade, crescimento e regeneração (SWAINE et al., 1987). Essa dinâmica pode ser alterada por fatores climáticos, como chuva, temperatura, seca, fogo, entre outros (CLARK, 2007; LAURANCE et al., 2009).

O crescimento individual de uma árvore pode ser definido como o aumento das dimensões, em altura e diâmetro, ao longo do tempo (WEISKITTEL et al., 2011; BOWMAN et al., 2013). As formas de crescimento de uma árvore ao longo da sua vida variam de acordo com a dimensão medida, genética da espécie e as condições de crescimento (HÉRAULT et al., 2011; BOWMAN et al., 2013).

As duas principais formas de mensurar o crescimento em diâmetro de árvores individuais são medidas contínuas de diâmetro em parcelas permanentes e medição da largura de anéis anuais de crescimento. Nas parcelas permanentes, o método de medições contínuas de diâmetro é mais simples e preciso, porém, o monitoramento deve ser realizado por um longo período de tempo. Para as medições de anéis de crescimento, o método se torna mais rápido, porém é menos preciso, pois não se conhece o intervalo de tempo de crescimento entre os anéis para algumas espécies (BOWMAN et al., 2013).

Incluída na dinâmica de florestas, a regeneração natural de espécies florestais apresenta dois conceitos distintos. O primeiro deles refere-se à descrição do estado atual da vegetação, sendo expresso como o número de indivíduos presentes na fase inicial de crescimento, por unidade de área, e o segundo conceito aborda o desenvolvimento de uma população, ao longo do tempo, em categorias de tamanho (JARDIM, 2015).

O objetivo do estudo sobre regeneração natural, em termos florestais, é estimar se a espécie que está sendo explorada tem indivíduos regenerantes (jovens) que irão recrutar/ingressar no estoque remanescente. Para isso, pode-se realizar uma

amostragem da vegetação, ou incluir uma amostragem dinâmica com uma ou mais amostragens em diferentes momentos (JARDIM, 2015).

Laurance et al. (2009) monitoraram a mortalidade, ingresso e crescimento de árvores com DAP >10 cm, divididas em classes de 10 cm em 20 parcelas de um hectare cada, na Amazônia Central, ao longo de 23 anos de estudo. Concluíram que a mortalidade e o recrutamento aumentaram ao longo dos anos, sendo que a mortalidade foi maior nos últimos 3 anos do estudo, enquanto que a taxa de recrutamento foi superior à mortalidade observada. As menores classes de tamanho não apresentaram aumento significativo e foi observado um considerável crescimento para as árvores de $20 \leq \text{DAP} \leq 50$ cm.

Oliveira (2011) estudando a dinâmica de regeneração natural de *B. excelsa* Bonpl. em duas populações localizadas no Seringal Filipinas e Seringal Cachoeira, delimitaram 3 parcelas de 300 m x 300 m (9 ha) em cada área com o objetivo de levantar plântulas e varetas regenerantes. A mesma, encontrou uma proporção de 85,4% de plântulas e 14,6% de varetas no Seringal Filipinas e para o Seringal Cachoeira encontrou 71,4% e 21,6% de plântulas e varetas.

2.4. Sucessão em florestas secundárias

Nos últimos anos se tornou evidente a importância de se entender como ocorre a formação das florestas secundárias e como o processo de regeneração altera a sua dinâmica ecológica (BROWN; LUGO, 1990; NEPSTAD et al., 1991; GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001; ALVES; METZGER, 2006; SALOMÃO et al., 2012).

Na região amazônica, as capoeiras podem ser definidas como áreas que foram desmatadas para implantação de roçados e depois abandonadas (VIEIRA; PROCTOR, 2007; SALOMÃO et al., 2012). Fonseca et al. (2011) definiram a floresta secundária como áreas que regeneram naturalmente após perturbação humana ou natural, alterando de forma significativa a vegetação da floresta original.

Outra definição aborda que a vegetação secundária são áreas de floresta primária que foram convertidas em pastagens ou terras agrícolas, ocorrendo o estágio de sucessão secundária depois de abandonadas, oferecendo grande potencial para uso econômico, sendo que representam 20% da Amazônia desmatada (BENTOS et al., 2013).

Mesmo com vários trabalhos referentes às florestas secundárias na literatura, ainda é desconhecido o modo de determinar se o crescimento da mesma desempenha um papel significativo no aumento da diversidade de espécies florestais (EDWARDS et al., 2017). Da mesma forma, Gilroy et al. (2014) relataram que a floresta secundária representa uma ferramenta para combater a perda de biodiversidade nas florestas tropicais.

A regeneração de espécies florestais em floresta secundária ocorre de acordo com sua trajetória de sucessão, influenciada pelo histórico de uso da terra (BOBROWIEC; GRIBEL, 2010). A regeneração nessas áreas alteradas é maior em relação à florestas nativas, pois há uma maior ocorrência de luz e atividade de agentes dispersores, como a cutia quando se fala da castanheira (SCOLES; GRIBEL, 2012).

Neste sentido, trabalhos clássicos referentes à sucessão de florestas secundárias constataram que em áreas que outrora foram desmatadas para a extração de madeira houve uma regeneração dominada por espécies de *Cecropia* spp. (Embaúba). Por outro lado, em áreas onde ocorriam pastagens, devido a ocorrência de queimadas, a sucessão foi dominada por espécies de *Vismia* spp. (UHL et al., 1988; MESQUITA et al., 2001; BOBROWIEC; GRIBEL, 2010).

Salomão et al. (2012) classificaram a floresta secundária quanto a idade de sucessão ecológica em três fases: inicial, intermediário e avançado. No inicial, o estágio de sucessão varia de cinco a dez anos (capoeirinha), a vegetação alcança a fase intermediária entre dez e vinte anos de idade (capoeira) e o avançado inicia-se depois dos vinte anos (capoeirão).

Siminski et al. (2013), em um inventário realizado nas florestas secundárias da Mata Atlântica, para fins de classificação da regeneração, sugeriram alguns parâmetros para a classificação do estágio sucessional, considerando incluir: o diâmetro a altura do peito (DAP) como a principal variável a ser coletada em campo; a amostragem de todos os indivíduos com $DAP \geq 5$ cm; e a área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) como o principal critério para definir a classe de sucessão florestal.

Tratamentos silviculturais podem estimular o crescimento de indivíduos arbóreos nas florestas secundárias, por meio de técnicas como a eliminação por corte raso, morte por anelamento, liberação por meio do corte de árvores vizinhas que exerçam sombreamento sobre a árvore principal e corte de lianas (DUBOIS, 1976; OLIVEIRA, 2005; CARDOSO JUNIOR et al., 2014). Neste contexto, visando a produção sustentável, a proporção de crescimento de espécies arbóreas em floresta

secundária pode aumentar mediante a intensidade dos tratamentos silviculturais aplicados (VENTUROLI et al., 2015).

2.5 Variáveis que influenciam no crescimento da árvore

Conhecer em uma floresta, os fatores que influenciam o crescimento de uma árvore se tornam essencial para entender a sua dinâmica, composição e estrutura, bem como pode auxiliar na tomada de decisão sobre o tratamento silvicultural que será aplicado, baseado em sua regeneração.

O crescimento de uma árvore pode ser influenciado pelas características da própria espécie que compõem o povoamento (crescimento, genética, fenologia) e sua interação com o ambiente. A influência ambiental no crescimento pode incluir fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento e exposição solar), características do solo (fatores físicos e químicos, umidade e microorganismos), atributos geomorfológicos (inclinação, exposição, elevação e forma), posição sociológica, carga de lianas e competição (influência de árvores vizinhas) (KANIESKI et al., 2012).

A posição sociológica ou posição social influencia o crescimento do estrato vertical da floresta mediante o grau de exposição da copa das árvores à luz. As árvores, segundo a posição social, são classificadas em: árvore dominante – ocupa o estrato superior com alta exibição da copa à luz; codominante – ocupa o estrato intermediário com média exposição da copa à luz; dominada – presente no estrato inferior com baixa exposição da copa à luz e suprimida – com nenhuma exposição da copa à luz (COSTA et al., 2014).

As lianas apresentam grande importância ecológica em florestas tropicais, mas a sua presença prejudica a regeneração florestal influenciando na relação das comunidades. Mesmo estando presente em baixa abundância reduzem o crescimento da árvore hospedeira, diminuindo as chances de sobrevivência (SCHNITZER; BONGERS, 2002). Além de competir por luz e espaço, causam injúrias na árvore hospedeira devido ao volume e o peso posto sobre o tronco e a copa da mesma (CAI et al., 2009). Kainer et al. (2014) avaliando a influência da liana na produção de frutos de castanheiras, com e sem a presença de lianas, encontraram que as castanheiras que foi realizado o corte de lianas produziram 3 vezes mais em relação as castanheiras com presença de lianas na copa.

A competição entre árvores individuais influencia o crescimento da floresta, sendo que a interação destas árvores em um determinado ambiente resulta em limitação de recursos como luz, água e nutrientes, tendo como consequência a diminuição do crescimento em diâmetro e altura das árvores (CONTRERAS et al., 2011).

2.6 Morfometria

A morfometria de uma árvore individual permite reconstruir o espaço que é ocupado pela mesma, bem como avaliar o grau de concorrência que o indivíduo sofreu no passado em relação as árvores vizinhas, podendo expressar a sua estabilidade, vitalidade e produtividade, bem como estimar relações interdimensionais de forma e tamanho entre as variáveis dendrométricas de cada árvore (DURLO; DENARDI, 1998; ROMAN et al., 2009).

Para avaliar a forma e a dimensão das árvores e sua modificação com o tempo, são utilizados índices morfométricos calculados a partir de variáveis dendrométricas como altura total (h), diâmetro a altura do peito (d), diâmetro da copa (DC) e comprimento da copa (CC). Estas variáveis podem ser utilizadas no desenvolvimento de modelos matemáticos de crescimento e competição (DURLO; DENARDI, 1998). Os índices morfométricos são descritos por Durlo e Denardi (1998), como:

-Índice de saliência: expressa uma relação entre o diâmetro da copa e o diâmetro a altura do peito, sendo que descreve quantas vezes o diâmetro da copa é maior que o d. Em povoamentos, este índice é utilizado para prever quantas árvores caberiam em um hectare, sem que houvesse competição com outras árvores no decorrer do seu crescimento.

-Índice de abrangência: Trata da relação entre o diâmetro da copa e a altura total da árvore. Se um povoamento for manejado pela altura das árvores e se esta variável apresentar uma correlação entre altura total (h) e o índice de abrangência, este pode ser utilizado como um indicador de desbaste no povoamento ou, em florestas nativas, indicador da liberação de espaço para que as árvores cresçam sem competição.

-Grau de esbeltez: é a relação entre altura total e o d, o qual indica a estabilidade de uma árvore. Na medida em que o valor deste índice aumenta, mais instável é a árvore contra fatores externos que possam causar a quebra do tronco, como o vento ou a queda de outra árvore sobre a sua copa.

- Proporção de copa: expressa a relação entre o comprimento da copa e a altura total da árvore. Este índice indica a vitalidade da árvore influenciado pelas características qualitativas da copa, tendo em vista que na medida que o seu valor aumenta torna-se um indicativo de maior vitalidade e produtividade da árvore.

- Formal de copa: é a relação entre o diâmetro da copa e a altura da mesma. Considerando uma mesma espécie e sítio, quanto menor o formal de copa, mais produtiva se torna a árvore.

Trabalhos clássicos como os de Burger (1939) e Assmann (1961) deram início aos estudos sobre a forma, dimensões e relações morfométricas das árvores e, em seguida, foram publicados outros, como os estudos de Durlo e Denardi (1998), Spathelf et al. (2000), Durlo (2001) e Durlo et al. (2004).

Em um trabalho realizado em uma floresta secundária no Rio Grande do Sul, Durlo (2001) estudou as relações morfométricas para a espécie *Cabralea canjerana* (Well.) Mart., avaliando a relação do d e altura total com o comprimento e diâmetro da copa, concluindo que o diâmetro da copa é mais relacionado com o diâmetro, do que em relação à altura, pois o diâmetro da copa cresce mais em proporção na medida que a árvore aumenta em diâmetro.

Tonini et al. (2008), ao estudarem a relação da produção de sementes de árvores nativas de castanheira com características morfométricas da copa, avaliaram que a forma da copa tem influência na produção de frutos, sendo que copas bem formadas de forma circular e compridas são mais produtivas. Os mesmos autores encontraram uma relação baixa entre altura e diâmetro, indicando que as árvores apresentam mais estabilidade, ou seja, crescem mais em diâmetro do que em altura.

2.7 Índices de competição

A medida de competição é utilizada como variável preditora do crescimento de uma árvore individual. A competição entre as árvores é definida como a interação de árvores vizinhas em torno de uma árvore-objeto da competição, sendo que os efeitos negativos causam a diminuição de recursos como luz, água e nutrientes com consequente diminuição do crescimento em altura e diâmetro (CONTRERAS et al., 2011).

Para quantificar essa competição em valores reais por árvore individual, foram criados índices de competição com o objetivo de determinar o nível de supressão que

se encontra cada árvore (árvore-objeto) em relação às árvores vizinhas (competidoras). Esses índices são variáveis que podem explicar a influência da competição no crescimento de árvores individuais, sendo confirmado o seu efeito negativo sobre o crescimento das mesmas, e para a modelagem de crescimento e produção, o emprego desses índices é essencial (STERBA et al., 2002; MARTINS et al., 2011; CASTRO et al., 2014).

Na literatura há três classificações para os índices de competição que são mais utilizados, sendo eles: índices dependentes da distância (IDD), independentes da distância (IID) e semi-dependentes (ISD) (ALIG et al., 1984; CONTRERAS et al., 2011). Cada índice de competição é aplicado mediante o objetivo do estudo, sendo que a diferença entre eles está no parâmetro que cada índice utiliza para descrever a relação entre as árvores e nos métodos de levantamento da competição. Os índices citados podem ser descritos como a seguir (CASTRO et al., 2014):

- Índices dependentes da distância (IDD): são concedidas coordenadas espaciais para cada árvore permitindo considerar a competição, entre cada árvore-objeto e as árvores vizinhas, pela distância entre elas. Sendo que a concorrência é maior na medida que as árvores são mais grossas em diâmetro e mais próximas da árvore – objeto da competição (CUNHA; FINGER, 2012).

- Índices independentes da distância (IID): não considera a distância entre a árvore – objeto e as árvores vizinhas já que é definido em função de uma unidade amostral de área fixa. É calculado pela razão entre diâmetro e/ou altura das árvores e variáveis do povoamento como área basal, diâmetro médio e altura média.

- Índices semi-independentes da distância: é atribuído o mesmo método do IID, mas não se consideram todas as árvores inseridas na unidade amostral, sendo selecionadas as árvores mais próximas. Alguns desses índices de competição são descritos a seguir:

➤ Índice de Glover e Hool: que mediante uma área previamente estabelecida, compara o tamanho da árvore-amostra em relação a dimensão média das árvores competidoras. Quanto menor o valor do índice, maior será a competição exercida sobre a árvore.

➤ Índice de BAL: avalia a concorrência entre os indivíduos com área transversal maior que a árvore-amostra (árvores maiores em diâmetro). Assim, quanto maior o valor do índice, maior será a competição desempenhada sobre a árvore- objeto.

➤ Índice de Hegyi (IH): calculado pela soma do resultado entre a divisão do diâmetro da árvore competidora (vizinha) pelo diâmetro da árvore-amostra (árvore-objeto) multiplicado pela distância, sendo que o acréscimo deste índice mostra um aumento na competição.

Contreras et al. (2011), avaliando diferentes índices de competição de árvores como preditoras de incremento em área basal em florestas nos Estados Unidos, concluíram que os melhores índices dependentes de distância explicaram uma maior proporção de variação de crescimento (64%) em relação aos índices independentes de distância (56%).

Bitterlich (1948), propôs um método de amostragem de área variável denominado de amostragem por relascopia. A amostragem por relascopia foi desenvolvida por Walter Bitterlich em 1947 na Áustria. O mesmo propôs obter estimativas de área basal por hectare sem medir o diâmetro das árvores e nem demarcar parcelas de área fixa. Para isso, Bitterlich denominou este método de prova de numeração angular, área variável ou por relascopia (SOARES et al., 2011).

Esse método consiste em realizar um giro de 360°, contabilizando as árvores que apresentem um diâmetro a 1,30 m (d ou DAP) igual ou superior a uma abertura angular, determinada por um ângulo conhecido e constante. As árvores que serão contabilizadas (n) serão multiplicadas por uma constante (k), conhecida por Fator de área Basal (FAB), disponibilizado por um instrumento apropriado, fornecendo a área basal por hectare (G) (Figura 1) (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009; SOARES et al., 2011; FIORENTIN et al., 2016).

Para a abertura angular, é atribuído um valor para o fator de área basal que varia de 0,5 a 9 m² ha⁻¹. Na medida que se aumenta o valor de FAB, a abertura angular tende a aumentar para a inclusão das árvores vizinhas pelo diâmetro.

No levantamento da competição pode ser utilizado o método de Bitterlich, onde no início do levantamento das árvores competidoras é estabelecido um valor para FAB que será aplicado no Hipsômetro. Em seguida, o mesmo é posicionado no eixo do tronco da árvore objeto de competição. Em cada árvore vizinha (possivelmente competidora), é posicionado um sensor *transponder* na altura do DAP e, em seguida, sendo ambos os aparelhos posicionados em cada árvore, o hipsômetro realiza a leitura da distância (em metros), da árvore objeto em relação a vizinha.

Além da distância, o hipsômetro apresenta um valor de diâmetro mínimo para a inclusão da árvore vizinha no levantamento. Este valor de diâmetro se for igual ou

maior ao apresentado pelo hipsômetro, a árvore será incluída na contagem. Tendo em vista que o hipsômetro não calcula nenhum ângulo, o mesmo apenas mede os valores de distância e faz uma estimativa do diâmetro da árvore vizinha para a abertura angular, baseada no fator de área basal.

O levantamento é finalizado quando realizar um giro de 360° ao redor da árvore objeto-da-competição. Espera-se obter para cada árvore - objeto, no mínimo cinco árvores vizinhas, para avaliar o status de competição, mediante o cálculo dos índices.

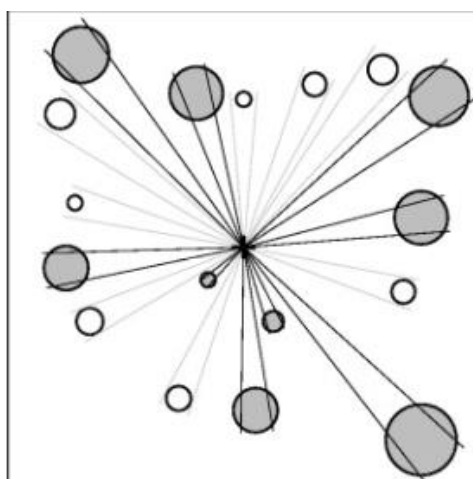


Figura 1. Representação do levantamento de árvores vizinhas pelo método Bitterlich. Seguindo a linha de leitura angular, as árvores cinzas serão incluídas no levantamento, pois apresentam um diâmetro maior que a abertura angular. Fonte: Motz et al. (2010).

De acordo com a ilustração feita por Motz et al. (2010) na Figura 1, depois de realizar um giro de 360°, sete árvores foram incluídas, por terem apresentado o diâmetro igual ou superior à abertura angular de visada. Supondo que o número de árvores amostradas (n) seja igual a 7 e o fator de área basal (k) seja 1, a área basal por hectare naquela área amostrada será $7 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, mediante a Equação 01.

$$G = n \times k \tag{1}$$

$$G = 7 \times 1 = 7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$$

Silveira et al. (2015) aplicaram o método por relascopia para determinar a relação da competição sobre o incremento em diâmetro de *Trichilia clausenii* e concluíram que o índice de BAL influenciou na redução do incremento em diâmetro.

Nascimento et al. (2015) avaliando estimadores populacionais por meio dos métodos de Bitterlich, Prodan e Strand concluíram que o método de Bitterlich apresentou os menores erros de amostragem na estimativa dos parâmetros populacionais de área basal e volume por hectare.

Druszcz et al. (2010), comparando o método de amostragem por Bitterlich com o de área fixa com conglomerados em cruz em um povoamento florestal de *Pinus taeda* L., para a estimativa das variáveis de diâmetro médio, número de árvores, área basal e volume por hectare, indicaram que o método de Bitterlich foi mais preciso para a estimativa do diâmetro médio, área basal e volume.

Fiorentin et al. (2016) aplicando o método de Bitterlich em uma Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, em um inventário para estimar as mesmas variáveis analisadas no trabalho de Druszcz et al. (2010), concluíram que o método utilizado é preciso mas deve-se analisar a escolha do fator de área basal, mediante a população que se pretende analisar.

Os mesmos destacam que em povoamentos florestais utiliza-se um valor de FAB menor e ressalta a importância desse método para ser aplicado em florestas nativas, sendo mais apropriado para estimar a área basal e dependendo da classe diamétrica amostrada, deve-se utilizar um maior valor de FAB para que se atenda as condições do estudo.

2.8 Métodos para obtenção e determinação do crescimento em diâmetro de árvores

O crescimento é definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável em uma árvore, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa, etc. A determinação do crescimento implica em mensurar a mudança crescente por meio de métodos viáveis. Na ciência florestal, a obtenção do crescimento das árvores em diâmetro é possível por meio dos métodos de medição contínuas ao longo do tempo, por instrumentos e medição do incremento radial em diâmetro por meio da extração de amostras do tronco (ENCINAS et al., 2005).

A medição do diâmetro por instrumentos pode ser de forma direta (fitas, sutas e cintas/bandas dendrométricas) ou indireta (relascopio, pentaprisma e telerelascopio). A fita (métrica e diamétrica) é utilizada para medir a circunferência ou o diâmetro, enquanto que as bandas ou cintas dendrométricas são instaladas em uma dada posição

ao longo do tronco e medem o incremento por meio do deslocamento de uma mola com uma fita graduada e a suta mede o diâmetro a partir de um dos eixos do fuste.

Outro método utilizado para obter o crescimento das árvores é através da contagem e medição dos anéis de crescimento, que é uma parte da dendrocronologia que determina a idade das árvores a partir da contagem desses anéis, considerando apenas espécies que formam anéis de crescimento visíveis e anuais. Isto é possível mediante a análise do tronco, que permite a retirada de pequenas amostras do fuste (discos ou rolos de incremento) (BOTOSSO; MATOS, 2002).

No passado surgiu a hipótese de que espécies tropicais não formavam anéis de crescimento, mas estudos comprovaram a existência desses anéis em espécies de florestas nativas (FICHTLER; CLARK, 2003; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005), inclusive a formação anual de anéis de crescimento em castanheiras, segundo Schöngart et al. (2015). Trabalhos realizados relatam a formação desses anéis para árvores de castanheiras, sendo que é possível encontrar anéis distintos (BRIENEN; ZUIDEMA, 2005; BRIENEN; ZUIDEMA, 2006b; SCHÖNGART et al., 2015).

Para as espécies *Cedrelinga*, *Tachigali*, *Cedrela* e *Amburana* é confirmada a formação de um anel por ano, como também uma irregularidade dos mesmos (BRIENEN; ZUIDEMA, 2005). Esta irregularidade pode ser influenciada pela precipitação, temperatura, seca, pelo local de crescimento e pelas características de crescimento da madeira, mesmo sendo indivíduos da mesma espécie (BREITSPRECHER; BETHEL, 1990). Na determinação do crescimento o método de medição do incremento radial de anéis de crescimento apresenta resultados confiáveis (ECKSTEIN et al., 1995).

A medição do incremento radial por amostras de discos retiradas em diferentes alturas do fuste torna-se mais precisa por representar melhor a distribuição do incremento sobre o fuste. Também, dependendo da espécie em estudo, melhora a visualização dos anéis de crescimento facilitando a medição (ANDRADE et al., 2019).

A retirada do rolo de incremento é uma opção mais viável quando não é possível se fazer a derrubada da árvore para coletar amostras de disco. Normalmente é utilizado o trado ou sonda de Pressler para a extração do rolo de incremento. Com este método o preparo da amostra deve ser mais delicado pelo fato da fragilidade do rolo de incremento. Pode-se retirar um ou dois rolos de incremento por árvore para a contagem dos anéis, e por padronização é retirado na altura do DAP, mas na aplicação prática devem ser consideradas algumas restrições como em função da excentricidade das

secções, formações irregulares dos anéis e o tamanho dos mesmos (ENCINAS et al., 2005).

A medição do incremento pode ser realizada através de paquímetros manual ou digital e de equipamentos especializados como o RINNTECH – Lintab com um *software* específico para análises dendrocronológicas, como o TSAP – Win. Através do incremento pode-se obter o incremento corrente anual (ICA), que considera o incremento no período de um ano; incremento periódico anual (IPA), calcula o incremento para um período específico em anos e incremento médio anual (IMA), que descreve a média de crescimento a uma certa idade da árvore (ENCINAS et al., 2005; ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011).

Brienen et al. (2010) ao analisarem os padrões de crescimento de indivíduos de *Cedrela odorata* por meio da contagem dos anéis de crescimento em floresta seca e floresta úmida, concluíram que na floresta seca o crescimento é regular, ou seja, cresce em uma variação de 0-5 cm de diâmetro não apresentando muitas mudanças no crescimento. E na floresta úmida o crescimento foi irregular, havendo diferenças significativas nas taxas de crescimento.

Da mesma forma, Schöngart et al. (2015) estimaram a idade e construíram uma curva de crescimento para *B. excelsa* mediante a contagem dos anéis de crescimento de castanheiras plantadas no Amazonas e de castanheiras nativas localizadas no rio Trombetas, Pará e no rio Purus, Acre. De acordo com a análise, constatou-se que a quantidade de anéis identificados na seção transversal do tronco das castanheiras plantadas correspondia a idade de plantio das árvores e para as nativas, a quantidade de anéis correspondeu com a idade estimada, considerando a formação anual do anel de crescimento.

2.9 Modelagem de crescimento

A modelagem expressa o comportamento do ecossistema a partir de componentes funcionais, físicos e biológicos e suas interações dentro do ambiente por meio de procedimentos físicos e mecânicos. A modelagem descreve a relação entre os principais elementos do ecossistema para uma concepção mais intensa do seu funcionamento e realiza uma prognose de como as variáveis de estado de um sistema dinâmico mudam, influenciadas por processos que ocorrem em um ambiente (VACCHIANO et al., 2012; GUPTA; SHARMA, 2019).

Existem várias definições complexas de modelagem, as quais se referem a um processo descritivo mais utilizado em ciências biológicas. Mas, mediante a processos ecológicos os modelos empíricos possibilitam estimar o valor presente de uma variável de interesse (produção) mediante valores paralelos de outras variáveis (crescimento) (PICKETT; KOLASA, 1990; VACCHIANO et al., 2012).

Os modelos de crescimento pressupõem o desenvolvimento das árvores ao longo do tempo, com base nas relações entre as taxas de crescimento e fatores que o impulsionem. Esses fatores podem ser atributos da copa, como diâmetro, comprimento e forma da copa, variáveis de competição e as condições de sítio. Mesmo que os modelos de crescimento tenham sido desenvolvidos para serem implementados em florestas temperadas, a ausência de modelos adequados de crescimento, utilizando variáveis de tamanho das árvores, pode servir como uma ferramenta sustentável de planejamento florestal em florestas nativas (MONSERUD; STERBA, 1996; CHOI et al., 2001; CUNHA et al., 2016).

Para modelar o crescimento em diâmetro de uma árvore, pode-se utilizar um modelo composto ou uma modelagem potencial/modificada. O primeiro representa o crescimento em função das variáveis de qualidade da árvore como posição da copa, espaço de crescimento e disponibilidade de luz. O modelo potencial/modificado descreve o crescimento potencial de uma árvore incluindo uma porção reduzida de crescimento. Essa porção reduzida aborda o crescimento da árvore mediante o efeito da competição causado por árvores vizinhas, diminuindo o seu incremento anual (HOLDAWAY, 1984; WYKOFF 1990; QUICKE et al., 1994; HASENAUER, 2006; CUNHA; FINGER, 2012).

Cunha e Finger (2012), descreveram o crescimento em diâmetro de indivíduos de *Cedrela odorata* utilizando modelagem potencial modificada para avaliar como o crescimento foi influenciado por árvore vizinhas competidoras. Os autores observaram que houve redução significativa de crescimento em diâmetro, para as árvores que sofreram maior competição.

Cunha et al. (2016) utilizaram a modelagem para descrever o crescimento individual de quatro espécies na floresta amazônica, mediante variáveis de atributo da copa e de índices de competição. Os autores concluíram que houve um aumento em área basal para as árvores que apresentaram um maior comprimento e diâmetro de copa e que sofreram menor competição.

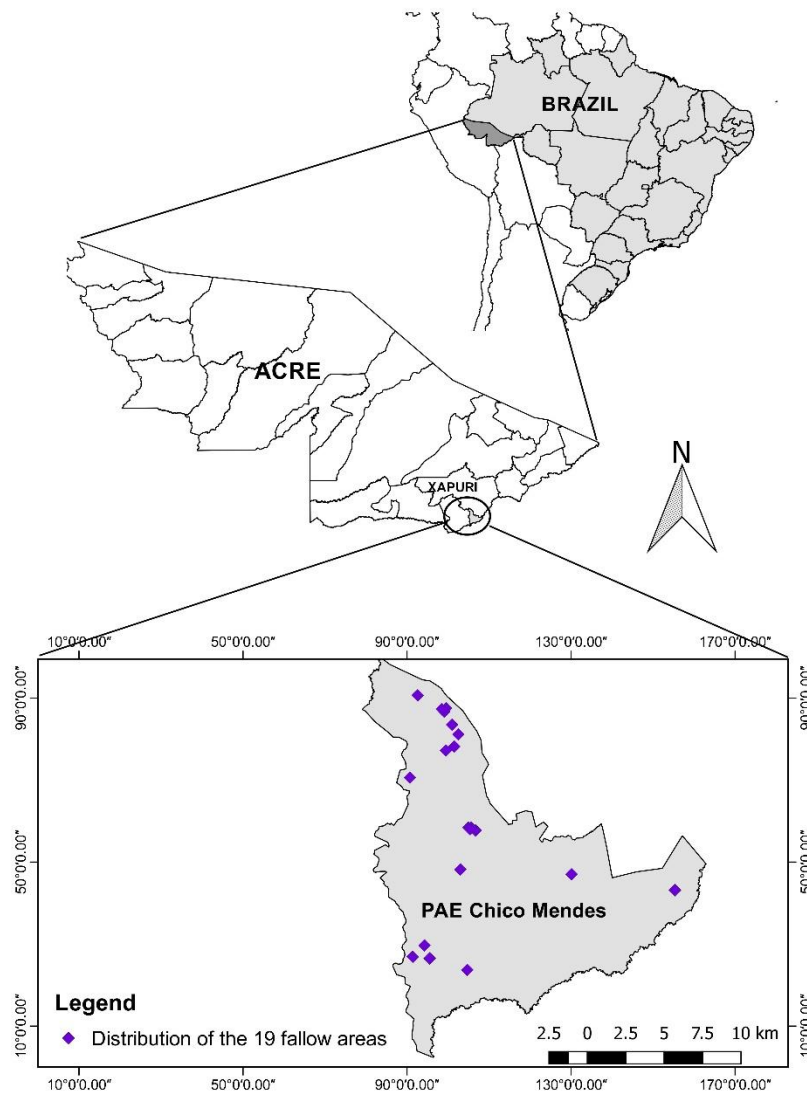
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da Área de Estudo

Esta pesquisa foi realizada no Projeto de Assentamento Agroextrativista Chico Mendes – PAE (também conhecido como Seringal Cachoeira), localizado no município de Xapuri e distante a 188 Km da capital Rio Branco, estado do Acre (10° 50' S e 68° 23' W), conforme indicado na Figura 2.

A vegetação da região é caracterizada como uma Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta com árvores bem espaçadas, um sub-bosque relativamente fechado e uma abundância de espécies de palmeiras e lianas (DARLY; MITCHELL, 2000).

O clima da região é descrito como tropical úmido do tipo Am de Köppen, com uma temperatura média anual de 24 °C e uma precipitação média anual de 2200 mm (ALVARES et al., 2013). A classe de solos que predomina na região é o Argissolo Vermelho-Amarelo, mas também são encontradas pequenas manchas de Latossolo (FERREIRA et al., 2017).



Fonte: (Uilian Araújo).

Figura 2. Representação do Seringal Cachoeira em Xapuri - Acre, com a distribuição das áreas de capoeira utilizadas no estudo.

3.2 Amostragem das áreas de floresta secundária (capoeira) e da regeneração

Foram selecionadas 19 áreas de floresta secundária (capoeira) distribuídas em diferentes colocações no Seringal Cachoeira. A escolha destas capoeiras foi mediante às informações prestadas pelos próprios moradores por meio de entrevistas informais. As informações levantadas foram referentes a presença de castanheiras regenerantes, quantas capoeiras cada colocação possuía, idade de pousio e o histórico de uso da terra.

A operacionalização da localização e delimitação das capoeiras foi realizado com o auxílio dos moradores, que determinavam o contorno de cada capoeira. Em seguida, com um GPS, foi realizada a trajetória das bordas de cada capoeira com a marcação de pontos geográficos para o cálculo de área e a localização futura destas áreas. Todas as informações foram transcritas para um formulário (Apêndice A).

O inventário de 100% das castanheiras dentro de cada capoeira foi realizado por transectos virtuais dentro do GPS 64s traçados no sentido Leste-Oeste dentro do perímetro e equidistantes a 25 metros no sentido Norte-Sul. Logo, foi realizado o caminhamento dentro da floresta secundária seguindo a orientação do transecto virtual. Ao mesmo tempo, um ajudante realizou o caminhamento dentro de uma faixa de 12,5 metros para cada lado do transecto buscando indivíduos de castanheiras regenerantes com altura total (h) $>1,5$ metros.

Um levantamento preliminar das capoeiras e das castanheiras regenerantes foi realizado por Bongioiolo et al. (2020), que disponibilizou as coordenadas das árvores para a coleta de dados desta pesquisa.

3.3 Coleta de dados em campo

3.3.1 Variáveis dendrométricas e qualitativas

As variáveis dendrométricas foram medidas para cada castanheira encontrada dentro da capoeira. Ademais, foram registrados os níveis de infestação por lianas na copa, posição social, forma da copa e a sanidade do fuste (Apêndice B).

As variáveis dendrométricas medidas foram consideradas de acordo ao modelo proposto por Burguer (1939) e adaptado por Cunha (2009). Todas as variáveis coletadas em campo são descritas a seguir:

1) Altura total (h) e comercial (h_1): foi medido com o Hipsômetro Vertex IV para ser utilizado nos cálculos de índices morfométricos (grau de esbeltez, índice de abrangência e proporção de copa) descritos no item 4.5;

2) Diâmetro a altura do peito (d): Foi medido com fita diamétrica e logo realizado a distribuição das classes de diâmetro:

- 1ª. classe: indivíduos com $d \leq 10$ cm;
- 2ª. classe: indivíduos com $d > 10$ até 20 cm;
- 3ª. classe: indivíduos com $d > 20$ até 30 cm;
- 4ª. classe: indivíduos com $d > 30$ até 40 cm.

3) Comprimento da copa (CC): medido com o Hipsômetro Vertex IV e utilizado para o formal de copa e proporção de copa;

4) Diâmetro da copa: Foi calculado a partir da média aritmética de quatro raios medidos na direção norte, sul, leste e oeste, utilizando uma fita métrica. Foi utilizado nos cálculos de índice de abrangência, índice de saliência e formal de copa.

5) Posição sociológica: Registrou-se o grau de exposição da copa à luz solar, variando de 1 a 4. O valor 1 foi atribuído para copas completamente expostas a luz superior e lateral (posição dominante), o valor 2 foi destinado a copas com iluminação total superior na copa e sombreadas na lateral (posição co-dominante), 3 foi concedido quando a copa recebeu pouca iluminação superior (posição dominada) e o valor 4 para a copa sem exposição direta de luz (posição suprimida), conforme demonstrado na Figura 3 (DAWKINS, 1958). Estas informações foram representadas em gráficos para avaliar se houve variação do incremento periódico anual médio em área basal (IPAg $\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) para as castanheiras de diferentes classes de posição social.



Figura 3. Modelo para a avaliação da posição social das árvores de castanheira proposto por Dawkins (1963) e adaptado por Cunha (2009).

6) O nível de infestação por lianas na copa da castanheira foi avaliado em três níveis de presença: 0= sem cobertura de lianas na copa; 1= $\leq 2/3$ da copa coberta por lianas e 2= $> 2/3$ da copa coberta por lianas;

7) Forma da copa: perfeita (1), boa (2), tolerável (3), ruim (4) e muito ruim (5) (Figura 4):

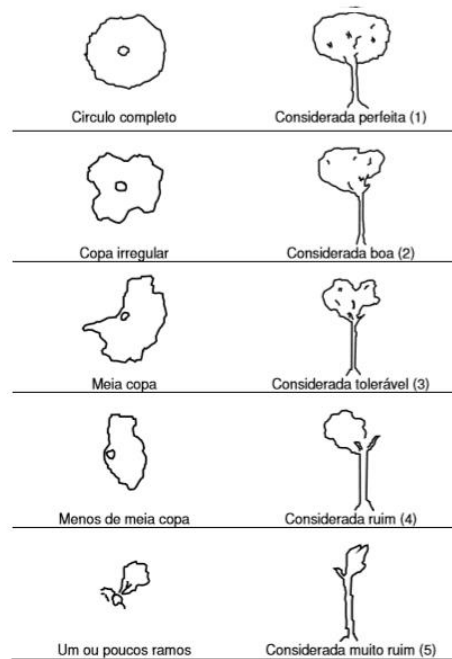


Figura 4. Padrões de classificação da forma da copa proposta por Dawkins (1963) e adaptado por Cunha (2009).

8) Sanidade do fuste: 1= fuste livre de ataque; 2= fuste com ataque de insetos; 3= fuste com ataque de fungo; 4= fuste com ataque de insetos e fungo.

3.3.2 Competição por árvores vizinhas

As árvores vizinhas à castanheira regenerada, consideradas como potencial competidoras, foram identificadas mediante a contagem angular considerando um fator de área basal (FAB) igual a $4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ de acordo a Bitterlich (1948). A seleção das árvores vizinhas foi efetuada com probabilidade proporcional ao diâmetro e proximidade da castanheira e registradas em formulário, conforme Apêndice C.

Para cada árvore vizinha contabilizada foram registrados o seu d e a distância da castanheira até a árvore, em metros. O equipamento utilizado para a realização da

contagem angular foi o Hipsômetro Vertex IV mediante a aferição do diâmetro à árvore vizinha de acordo à distância da árvore objeto.

3.3.3 Idade e taxa de crescimento

Para determinar a idade e a taxa de crescimento em diâmetro das castanheiras, dois rolos de incremento foram extraídos de cada indivíduo com $d \geq 10$ até 40 cm, totalizando 85 árvores. Em cada árvore extraiu-se rolos na base do fuste à uma altura de 0,5 m do solo e na altura de 1,30 m (d) com trado de Pressler (5 mm de diâmetro), considerando um comprimento suficiente para alcançar a medula da árvore. Os orifícios deixados nas árvores foram fechados com cera de abelha *in natura* para evitar o ataque de insetos ou fungos que possam prejudicar a sanidade das árvores.

Foi preparado um suporte de madeira para acondicionar cada rolo de incremento de forma segura, as quais foram lixadas com lixas de diferentes grãos (300 a 600), a fim de tornar os anéis de crescimento mais visíveis. Foi utilizado um microscópio estereoscópico (40x) para a visualização e marcação de cada anel de crescimento.

Para a medição do incremento radial, em diâmetro, de cada rolo de incremento, foi utilizado o Lintab 6 acoplado a uma mesa micrométrica de deslocamento horizontal, com o *software* TSAP-Win (*Time Series Analysis Program*) (RINN, 2013) com precisão de 0,01 mm. O incremento foi medido no Laboratório de Manejo Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, *Campus* Irati, estado do Paraná.

Com os dados das séries de crescimento, foi realizado o controle de qualidade dessas séries com o programa COFECHA (HOLMES, 1983), que considerou a sincronia da marcação dos anéis de crescimento da amostra coletada na altura do DAP em relação à amostra retirada da base do fuste para cada árvore considerando um segmento de 20 anos, com o objetivo de identificar erros de medição, ausência de anéis ou a presença de falsos anéis de crescimento. Em seguida foi realizada uma segunda análise que considerou a sincronização das séries de medições entre todas as árvores. Em cada análise gerada no COFECHA foi gerado um relatório apresentando valores de correlação linear de Pearson entre as respectivas séries.

Com base nas medidas de largura do anel, foi gerada uma curva de crescimento acumulado de diâmetro sem casca (cm), para cada árvore. Para apresentar o diâmetro sem casca, o incremento acumulado de um rolo de incremento (incremento radial) obtido na altura do d foi multiplicado por 2, resultando no diâmetro acumulado de uma

árvore. Assim, a curva de crescimento acumulado foi para representar as árvores com diâmetro >10 até 40 cm em função dos anos medidos na altura do d. A taxa de crescimento média em diâmetro (cm) anual das castanheiras foi obtida mediante a média do incremento anual acumulado de todos os anos, apresentada para as classes de d >10 até 20; >20 até 30 e >30 até 40 cm de diâmetro.

Deve-se ressaltar que neste trabalho foram considerados dois valores diferentes para o termo idade, o primeiro refere-se à idade (anos) calculada na altura do d, que foi representada na curva de crescimento. O segundo valor de idade é representado pela idade determinada para as árvores de castanheira, medido pela contagem dos anéis na base do fuste (0,5 m).

O incremento periódico anual em área basal (IPAg) foi calculado para cada castanheira considerando o período dos últimos 5 anos mediante o emprego da equação 2 (Assmann, 1961), considerando que a influência das variáveis morfométricas e de competição permanece constante durante esse período.

$$IPAg = \frac{[\frac{\pi}{4} * (2d_1 * I_d + I_d^2)]}{5} \quad (2)$$

$$d_1 = d_2 - I_d$$

$$I_d = Ir_{-5}$$

Em que: IPAg = incremento periódico anual sem casca em área basal (cm².ano⁻¹); d₁= diâmetro sem casca reconstruído utilizando os últimos cinco anéis de crescimento; d₂= diâmetro sem casca; I_d= incremento periódico sem casca em diâmetro.

3.4 Morfometria das árvores

Mediante os dados dendrométricos, foram calculados os índices de morfometria para avaliar as relações interdimensionais, reconstruir o espaço ocupado por cada castanheira e fazer inferências sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade de cada árvore (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição dos índices de morfometria. Fonte: adaptado de Cunha e Finger (2012).

Índices	Equações	Aplicabilidade do índice
Grau de esbeltez	$\frac{h}{d}$ [3]	Avaliar o nível de estabilidade das árvores regeneradas de acordo à relação entre sua altura e diâmetro.
Índice de saliência	$is = \frac{DC}{d}$ [4]	Relação do DC com o d, visando reconstituir o espaço ocupado por cada árvore.
Índice de abrangência	$ia = \frac{DC}{h}$ [5]	Relação do DC com a h, para reconstituir o espaço ocupado por cada árvore.
Formal de copa	$\frac{Dc}{CC}$ [6]	Avalia o potencial produtivo da árvore, tendo como indicativo a relação entre o d e CC.
Proporção de copa (%)	$\left(\frac{CC}{h}\right) * 100$ [7]	Uma variável indicadora de vitalidade, correspondente à relação entre o CC e h.

Em que: h= altura total em metros; d = diâmetro a altura do peito em cm; DC = diâmetro de copa em metros; CC= comprimento da copa em metros.

3.5 Índices de competição

Para quantificar a competição sobre cada castanheira (*status* competitivo) foram considerados três índices de competição, dois independentes da distância e um dependente, de acordo com as fórmulas abaixo 8-10:

➤ Índice de Glover e Hool

$$HOOL = \frac{d_i^2}{d_j^2} \quad (8) \quad (\text{GLOVER e HOOL, 1979})$$

Em que: d_i = diâmetro da árvore-amostra (castanheira), em centímetros; d_j = diâmetro médio das árvores competidoras que exercem concorrência, em centímetros.

➤ Índice de BAL (*Basal Area of Larger Trees*)

$$BAL = \sum_{i=1}^n g \quad (9) \quad \text{WYKOFF (1990)}$$

Onde: g= área transversal, em m² e n= número de árvores vizinhas com um diâmetro superior ao da castanheira na capoeira.

No índice de competição de BAL, as árvores vizinhas que foram calculadas as áreas transversais foram apenas as árvores que foram selecionadas pela relascopia, consideradas como competidoras.

➤ Índice de Hegyi

$$I_H = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_j}{d_i} \right) \times \frac{1}{L_{ij}} \quad (10) \quad (\text{HEGYI, 1974})$$

Onde: d_j = diâmetro da árvore competidora, em cm; d_i = diâmetro da árvore-amostra (castanheira); L_{ij} = distância entre a árvore amostra (i) e competidora (j), em metros; e n= número total de competidores.

Os índices de competição foram calculados com o objetivo de avaliar o status competitivo das árvores e determinar a necessidade de realizar liberação para promover o crescimento das árvores.

3.6 Análise dos dados

3.6.1 Análise gráfica e associação dos dados

Uma análise exploratória dos dados foi realizada considerando as variáveis de crescimento (y = idade e incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) e todas as outras variáveis explicativas (x 's= diâmetro a altura do peito, altura total, diâmetro e comprimento da copa, índices morfométricos, posição social, carga de lianas e índices de competição) com o objetivo de verificar o grau de associação entre os pares y e x 's. Para tal, considerou-se a análise de Correlação Linear de Pearson (Equação 11).

$$r = \frac{1}{n-1} \times \sum \frac{(x_i - \bar{X})}{s_x} \times \frac{(y_i - \bar{Y})}{s_y} \quad (11)$$

Onde: n= amostras consideradas na correlação; x= variáveis independentes; y= variável resposta.

Para auxiliar na análise exploratória da associação entre os dados de crescimento e as variáveis explicativas, construiu-se gráficos de dispersão e do tipo BoxPlot. Os

valores de correlação e os gráficos foram obtidos no pacote estatístico SAS Studio (SAS University Edition).

3.6.2 Análise de regressão

Para avaliar a influência da competição sobre as variáveis dendrométricas das castanheiras foram ajustados três modelos pelo método stepwise de regressão, considerando cada índice de competição em função das variáveis d , h , DC e CC de acordo as equações abaixo:

$$IC1 = f(d, h, DC, CC) \quad (12)$$

$$IC2 = f(d, h, DC, CC) \quad (13)$$

$$IC3 = f(d, h, DC, CC) \quad (14)$$

Em que: IC1= índice de competição de BAL; IC2= índice de competição de Hegyi; IC3= índice de competição de Glover e Hool; d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m); DC = diâmetro da copa (m) e CC = comprimento da copa (m).

Para a execução da regressão foi utilizada a função PROC REG no *software* SAS versão 9.1 (SAS Institute Inc., 2004). O ajuste deste modelo forneceu uma estimativa da influência da competição com a mudança do diâmetro das castanheiras.

Para descrever matematicamente o efeito das variáveis explicativas sob o crescimento periódico das árvores, construiu-se um modelo de regressão considerando o incremento periódico anual em área basal ($IPAg \text{ cm}^2.\text{ano}^{-1}$) dos últimos cinco anos (Equação 15). Considerou-se esse período pois as variáveis explicativas mensuradas atualmente continuaram exercendo influência sob o crescimento em até 5 anos atrás.

$$IPAg = f(\text{var. dendrométricas} + \text{competição} + \text{morfometria}) \quad (15)$$

Em que: variáveis dendrométricas= d , altura total, diâmetro e comprimento de copa; competição= IC1, IC2 e IC3; morfometria= proporção de copa, grau de esbeltez, índice de saliência, índice de abrangência e formal de copa.

Apenas as variáveis com efeito significativo ($P < 0,05$) foram consideradas na modelagem. A escolha do melhor modelo foi mediante os critérios de ajustes de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), coeficiente de variação (CV%), erro padrão da estimativa (S_{yx}), valor F e a distribuição gráfica dos resíduos. Todos estes critérios são descritos na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Critérios de ajuste do modelo de regressão.

Critérios de ajuste	Equações
R^2 ajustado	$R^2_{aj} = R^2 - \left[\frac{K-1}{N-K} \right] * (1 - R^2)$
Erro padrão	$S_{yx} = \sqrt{QM_{resíduo}}$
Coeficiente de variação%	$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$
Análise gráfica dos resíduos	$E_i = Y_i - \hat{Y}_i$

Sendo: E_i = resíduo da i -ésima observação; Y_i = variável dependente observada; \hat{Y}_i = variável dependente estimada pela regressão.

A análise gráfica dos resíduos também foi considerada permitindo identificar possíveis tendências de ajuste ao longo da linha de regressão, por isso se tornou importante para a escolha de utilização ou não do modelo. Para representar a influência das variáveis qualitativas sobre o incremento periódico anual médio em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) foram gerados gráficos com o crescimento médio do IPAg para as respectivas classes de posição social (dominante, co-dominante, dominada e suprimida) e carga de lianas na copa com o objetivo de avaliar se o incremento periódico anual em área basal das castanheiras diminuiu conforme as mudanças de classes de posição social e aumento na carga de lianas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Representatividade da floresta avaliada

Foram visitadas 19 áreas de floresta secundária, conhecida popularmente como capoeira ou área de pousio, em diferentes colocações do Seringal Cachoeira (Tabela 3). Essas capoeiras apresentaram uma idade de pousio de 16 a 60 anos com área de diferentes tamanhos, desde 0,41 a 4,18 ha, e respectivos usos sendo o principal o plantio de culturas como arroz, milho, mandioca, feijão a áreas que não foram aproveitadas, ou seja, que ocorreu o desmatamento e a queima, mas a terra não foi utilizada para nenhuma atividade.

A densidade de castanheiras regenerantes nestas capoeiras demonstrou uma alta regeneração da espécie nas áreas de pousio, conforme a Tabela 3. Dentre todas as capoeiras, a menor densidade encontrada foi de 3,97 árv/ha em uma capoeira de 2,1 ha e a maior densidade foi de 31,72 árv/ha para uma área relativamente pequena de 0,41 ha.

De acordo com a idade das capoeiras apresentadas na Tabela 3, a sucessão destas áreas pode ser classificada em capoeiras intermediárias e capoeirões. Estas definições foram estipuladas por Salomão et al. (2012), onde os autores classificaram áreas de florestas secundárias >10 até 20 anos como uma fase intermediária de sucessão denominadas de capoeiras, e os capoeirões, para um estágio avançado de áreas com mais de 20 anos de pousio.

Tabela 3 - Capoeiras com suas respectivas idades, área, densidade de castanheiras e usos anteriores da terra.

Capoeiras	Idade (anos)	Área (ha)	Densidade (castanheiras/ha)	Uso anterior da terra
1	≈ 20	2,01	3,97	(Arroz, milho e mandioca)
2	≈ 21	1,81	4,41	(Arroz e milho)
3	18	0,91	7,7	(Feijão, milho e arroz)
4	23	1,41	6,39	(Melancia e café)
5	18	0,80	15,06	(Nenhum uso)
6	29	0,76	15,76	(Arroz e feijão)
7	≈ 39	4,18	11,25	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
8	19	0,82	24,29	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
9	40	0,94	7,45	(Arroz, feijão e mandioca)
10	≈ 32	1,01	5,93	(Arroz, milho e banana)
11	≈ 21	1,08	10,17	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
12	16	0,41	31,72	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
13	31	0,67	19,46	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
14	60	1,37	18,92	(Nenhum uso)
15	≈ 49	1,68	19,00	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
16	22	1,04	5,77	(Arroz, feijão e mandioca)
17	20	0,83	13,21	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
18	30	1,24	8,84	(Arroz, feijão, milho e mandioca)
19	29	1,53	10,47	(Arroz, feijão, milho e mandioca)

Em que: as capoeiras 1, 2 e 16 estão localizadas nas colocações Cachoeira; 3 e 15 na Fazendinha; 4, 5, 18 e 19 pertencem à colocação Retiro; 6, 7 e 8 à Porto Alegre; 9 a São José; 10 na Bambuzal; 11 na Santa Cruz; 12 e 13 na colocação Laguiño; 14 na colocação Alto duro e 17 na colocação Altamira.

No levantamento das castanheiras regenerantes realizado por Bongioio et al. (2020) em 2017 e 2018 foi encontrado um total de 277 castanheiras com um diâmetro de 0,50 a 81,10 cm. O mesmo autor considerou no seu trabalho apenas as castanheiras com $d \leq 40$ cm, pois foi estipulado, para árvores que apresentaram um diâmetro >40 cm, que já estavam nas capoeiras antes da formação das mesmas. No total, restaram 268 árvores com diâmetro de 0,50 até 40 cm.

Na segunda visita às capoeiras, realizada em 2019 para a tradução das árvores e levantamento da competição, 17 árvores (6,34%, $N=268$) não foram encontradas. As castanheiras que não foram encontradas, provavelmente, foram quebradas pelo tombamento de outras árvores ou morreram de forma natural, restando 251 árvores.

As 251 castanheiras foram distribuídas nas quatro classes de diâmetro estabelecidas. Dentre estas, 161 varetas juvenis (64,14%, $N=251$) ocorreram na classe de 0-10 cm (Figura 5), indicando que essas áreas de capoeiras apresentam alta

regeneração natural. Para as castanheiras com DAP >10 até 20 cm foram encontrados 64 indivíduos regenerantes, representando 25,49% das 251 árvores no total.

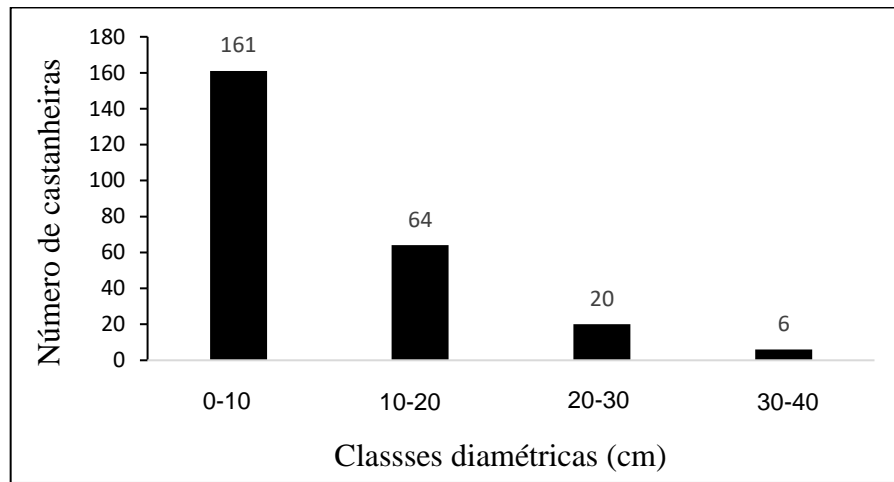


Figura 5. Distribuição do número de castanheiras total, encontradas nas capoeiras, divididas por classe de diâmetro.

Para a classe >20 até 30 cm de DAP foram encontradas 20 árvores representando 7,96% do total (N=251) das castanheiras amostradas nas capoeiras analisadas. Na classe >30 até 40 cm de DAP o número de árvores encontradas foi 6, representando 2,39% do total (N=251) de castanheiras.

A maior presença de castanheiras regenerantes na classe juvenil, de 0-10 cm, demonstra o potencial dessa espécie em regenerar em áreas de floresta secundária. Alguns fatores podem ter influenciado nessa alta regeneração como: intensidade de luz, atividade de dispersão de frutos pela fauna local, distância de árvores matrizes, distância dessas áreas de capoeiras às comunidades, intensidade das queimadas e tempo de pousio (SCOLES et al., 2011).

Para Myers et al. (2000), após o abandono da terra e a área se tornar um pousio, a luz que incide sobre a vegetação da capoeira faz com que as castanheiras cresçam de forma simultânea à capoeira, sem muitas restrições de luminosidade. Isto se aplica neste trabalho, considerando que no Seringal Cachoeira existem capoeiras com diferentes idades (BONGIOLO et al., 2020).

Nas capoeiras do Seringal Cachoeira a grande presença de plântulas e varetas pode ter influência da atividade de fauna realizada pelo o principal dispersor da

espécie, a Cutia. Guedes et al. (2014) descreveram que a vegetação da capoeira, no início de sucessão, é densa com elevada carga de lianas e com presença de troncos caídos deixados após a queima da área, sendo um abrigo seguro para as cutias se protegerem de seus predadores durante a abertura dos ouriços de castanha.

A intensidade do uso das capoeiras é um fator que pode ter influenciado na regeneração das castanheiras jovens, pois isso tem relação com o número de vezes que as capoeiras foram cortadas, queimadas e usadas para o plantio, ou seja, é o número de ciclos de pousio entre as intervenções de corte e queima. De acordo com Paiva et al. (2011), o número de castanheiras regenerantes aumenta conforme a área é utilizada por mais ciclos de plantios.

Em algumas capoeiras visitadas foi verificado um maior número de queimadas sendo encontrado uma maior quantidade de rebrotos. Já em capoeiras mais velhas, que foram realizados três ciclos de plantio, entre corte e queima, foram encontradas bastantes rebrotos e uma maior quantidade de castanheiras jovens. Paiva et al. (2011) constataram que a densidade populacional das castanheiras aumentou de 8,86 (árvores/ha) a 13,69 (árvores/ha) e 27,09 (árvores/ha) em locais após um, dois e três ou mais ciclos de plantio itinerante.

Outra combinação de fatores pode influenciar para que haja uma alta densidade de castanheiras em locais com longos históricos de uso agrícola, como no final de cada ciclo de plantio a cultura madura é uma fonte de alimento para as cutias (BALÉE, 1994); a vegetação ser bastante densa, abrigando a atividade dispersora natural das cutias (SILVIUS; FRAGOSO, 2003) e também pode ser um micro-habitat favorável ao estabelecimento de sementes e mudas (PEÑA-CLAROS et al., 2002).

A Tabela 4 representa a variação de valores encontrados para todas as variáveis que foram inseridas nas análises deste trabalho com os seus respectivos valores de mínimo, máximo, média e desvio padrão. Para as variáveis de idade das castanheiras, nº de anéis do DAP e incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) foram consideradas apenas as árvores tradadas (N=85) para as análises dos anéis de crescimento que geraram.

Tabela 4 - Estatísticas das variáveis dendrométricas, morfométricas e índices de competição das unidades de amostra mensuradas nas capoeiras estudadas.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
d	0,50	40,00	8,97	7,64
h	1,55	28,90	9,50	5,83
h1	0,76	20,60	6,65	4,26
DC	0,32	8,51	2,19	1,37
CC	0,17	13,90	2,85	2,13
PC	5,06	65,45	30,84	12,10
GE	0,46	5,53	1,38	0,59
IS	0,03	1,99	0,37	0,25
IA	0,04	0,66	0,26	0,11
FC	0,20	5,06	0,96	0,62
BAL	0,00	1,85	0,31	0,27
HEG	0,00	113,39	10,72	15,12
GLH	0,00	2,11	0,38	0,34
Idade (Castanheiras)	11,00	36,00	20,19	6,93
n° anéis no DAP	10,00	35,00	16,74	5,82
IPA (G)	5,62	88,71	20,04	14,34
Posição Social	-	-	-	-
Infestação de Liana	-	-	-	-
Forma da copa	-	-	-	-
Sanidade	-	-	-	-

Em que: d= diâmetro a altura do peito (cm); h= altura total (m); h1= altura comercial (m); DC= diâmetro de copa (m); CC= comprimento de copa (m); PC= proporção de copa (%); GE= grau de esbeltez; IS= índice de saliência; IA= índice de abrangência; FC= forma de copa; BAL= índice de BAL; HEG= índice de Hegyi; GLH= índice de Glover e Hool; Idade (castanheiras): idade determinada na base do fuste (0,5 m); n° anéis no DAP: n° de anéis (anos) calculado na altura do DAP; IPA (g): incremento periódico anual em área basal (cm².ano⁻¹); Posição social: classe dominante, co-dominante, dominada e suprimida; Infestação de liana: 0, 1 e 2; Forma da copa: perfeita, boa, tolerável, ruim e muito ruim; Sanidade: 1, 2, 3 e 4.

As castanheiras apresentaram d médio de 8,97 cm com valores variando de 0,50 a 40 cm, apresentando um valor de desvio padrão de 7,64 cm. A grande variação dos valores de DAP é justificado pelo fato de as castanheiras serem muito jovens, tendo desde varetas jovens e as que já estão ingressando na maturidade reprodutiva (>40 cm de d). Scoles e Gribel (2015) avaliando a estrutura populacional de castanheiras regenerantes em uma área de 49 (ha), encontraram 157 castanheiras juvenis não reprodutivas com um d < 40 cm.

Para a altura total (h) os valores variaram de 1,55 a 28,90 m, com uma média de 9,50 m e desvio padrão de 5,83. Esta variável apresentou grande variação dos dados, considerando plântulas >1,5 m de altura. A altura comercial do fuste apresentou valores de 0,76 a 20,60 m e com uma média de 7,87 m.

Cotta et al. (2008) avaliaram o crescimento em altura de indivíduos jovens de *B. excelsa* em áreas de pousio na Reserva Extrativista Chico Mendes e no Projeto de Assentamento Agroextrativista Chico Mendes, e encontraram valores com variação de 1,95 a 3,00 m, considerando que a idade destas áreas era de 5 a 12 anos, pousios relativamente jovens em relação aos analisadas neste trabalho. Scoles et al. (2011) estudando o crescimento e sobrevivência em áreas de roçados e capoeiras em Oriximiná, Estado do Pará, encontraram castanheiras jovens com altura média de 2,2 metros.

Para a variável diâmetro de copa o valor médio apresentado foi de 2,19 m com uma variação de 0,32 a 8,51 m. Os valores encontrados para esta variável demonstram que as castanheiras apresentam um bom raio de copa, que é uma característica fundamental para a vitalidade de uma árvore. Tonini e Arco-Verde (2005) estudando a morfometria de copa de espécies nativas em Roraima, apresentaram um valor médio de diâmetro de copa, para castanheiras de 7 anos de idade, de 6,6 m.

O comprimento de copa apresentou uma variação de 0,17 a 13,90 m, com uma média de 2,85 m. Esta variável apresentou uma grande variação, embora era de se esperar por incluir as castanheiras >1,5 m de altura, mas o valor máximo de 13,90 m indica que, considerando-se uma castanheira de 28,90 m de altura total, esta árvore apresentou um maior crescimento em comprimento de copa do que em relação à altura do fuste.

A proporção de copa para as castanheiras apresentou uma variação de 5,06 a 65,45% com um valor médio de 30,84%. O grau de esbeltez representou um valor médio de 1,38 com uma variação de 0,46 a 5,53. Para o índice de saliência os valores foram de 0,03 a 1,99 com uma média de 0,37. O índice de abrangência apresentou uma variação de 0,04 a 0,66 e um valor médio de 0,26. O formal de copa, o último índice morfométrico calculado, apresentou uma média de 0,96 com uma variação de 0,20 a 5,06.

Para a competição, o índice de Hegyi expressou um valor mínimo de 0,00 pois houve castanheiras que não apresentaram nenhuma competição, ou seja, não houve árvores em seu entorno que pudessem estar competindo por espaço, luz ou nutrientes. Por outro lado, houve castanheiras que apresentaram o índice de Hegyi de 113,39, com uma média de 10,72.

O índice de BAL apresentou um valor médio de 0,30 e, como no índice de Hegyi houve castanheiras que apresentaram 0,00 de valor e outras que proporcionaram um valor máximo de 1,85. No índice de Glover e Hool, a variação dos valores foi de 0,00 a 2,11 com uma média de 0,38. Para este índice o valor zero demonstra que as castanheiras sofrem uma forte competição.

Para as árvores maiores que 10 até 40 cm de d, a idade calculada apresentou variação de 11 a 36 anos e um valor médio de 20,19 anos. Comparando a idade estimada e as dimensões de altura e d observa-se que as maiores castanheiras apresentaram bom crescimento, sendo que a maior castanheira apresentou 40 cm de d e uma idade estimada em 36 anos. Os anéis de crescimento extraídos a 1,30 m de altura do solo, considerados como um ano, representaram uma variação de 10 a 35 anos, com uma média de 16,74 anos. A diferença da idade entre as estimativas dos anéis da base do fuste (0,5 m) e dos anéis na altura de 1,30 m foi relativamente pequena (<5 anos), para a maioria das castanheiras. Porém, para algumas árvores, as idades estimadas diferiram em mais de 10 anos, podendo estar relacionado com a característica de crescimento da própria espécie, bem como a distribuição de incremento da base para o fuste pode ter tido influência do clima e do sítio.

Para o incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) os valores representaram o crescimento em área basal dos últimos cinco anos das castanheiras >10 cm de d. Essa variável apresentou média de incremento de 20,04 $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$ com uma variação de 5,62 a 88,71 $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$ demonstrando que as castanheiras apresentaram um crescimento relativamente alto nos últimos cinco anos. Na Tabela 5 mostra-se o estado das castanheiras em relação à carga de lianas em cada classe de diâmetro.

Tabela 5 - Cargas de liana em cada classe de diâmetro.

Classe de d (cm)	Carga de Lianas			Total de castanheiras por classe de d
	0	1	2	
d<10	99 (61,49%)	50 (31,05%)	12 (7,45%)	161
>10 até 20	32 (50%)	24 (37,5%)	8 (12,5%)	64
>20 até 30	13 (65%)	5 (25%)	2 (10%)	20
>30 até 40	3 (50%)	3 (50%)	0	6

Onde: 0= sem cobertura de liana na copa; 1= $\leq 2/3$ de cobertura de liana na copa; 2= $\geq 2/3$ de cobertura de liana na copa.

Segundo a representação da carga de lianas por classe diâométrica (Tabela 5), é possível verificar que há uma maior quantidade de lianas nas classes <10 cm e >10 até 20 cm de d, fato este que afeta no crescimento, na densidade e no desenvolvimento da regeneração das árvores jovens (PUTZ, 1984). Kainer et al. (2007) avaliaram a influência de lianas em 80 castanheiras adultas, com um $d > 50$ cm, na Reserva Extrativista Chico Mendes e concluíram que castanheiras com uma maior carga de lianas tiveram uma baixa produção de frutos em relação as árvores que apresentaram uma carga menos severa de lianas.

Mesmo assim, Kainer et al. (2007) acrescentaram que a influência de lianas no crescimento e produção de castanheiras adultas é refletida ao longo do tempo e indicaram que a eliminação de lianas nas copas das castanheiras resulta em uma mudança na forma da copa, tendo como consequência uma maior produtividade de frutos, por árvore individual.

Abordando a influência do corte de lianas em castanheiras produtivas, Kainer et al. (2014) quantificaram o efeito do corte de lianas na fecundidade de 70 castanheiras. Neste estudo, os autores analisaram, em um período de 10 anos, a produção das castanheiras que foram eliminadas lianas (N=70) e castanheiras que não receberam nenhum tratamento (N=70), o que resultou que as árvores que foram eliminadas as lianas apresentaram uma produção, por árvore individual, 77% maior que as castanheiras que permaneceram com lianas em suas copas.

Os resultados de Kainer et al. (2014) complementam aos achados neste trabalho, embora as castanheiras presentes neste estudo ainda não estejam produzindo. O corte de lianas nas castanheiras regenerantes neste trabalho, em capoeiras, se torna essencial para o favorecimento do crescimento levando essas árvores a iniciar a produção de frutos em um menor período de tempo.

Embora a castanheira apresente uma maior sobrevivência em relação à outras espécies tropicais, recomenda-se aplicar tratamentos silviculturais que melhorem o crescimento desses indivíduos nas áreas de capoeiras. Zuidema (2003) indicou algumas práticas que podem melhorar o crescimento de árvores jovens de *B. excelsa* em florestas nativas, como: o corte de lianas, limpeza do sub-bosque e corte de árvores vizinhas que exerçam sombra.

A Tabela 6 demonstra o número^o de indivíduos em cada classe de posição social conforme a classe de diâmetro. Nas classes <10 cm e >10 até 20 cm de d, a maior parte dessas castanheiras regenerantes estão presentes na classe de posição social dominante e suprimida. Enquanto que nas classes >20 até 30 cm e >30 até 40 cm de d essas árvores estão mais presentes nas classes dominante e co-dominante.

Tabela 6 - Número de indivíduos em cada classe de posição social conforme a classe de diâmetro.

Classe de d (cm)	Classe de Posição Social				Total
	1	2	3	4	
≤10	2 (1,24%)	2 (1,24%)	55 (34,16%)	102 (63,35%)	161
>10 até 20	6 (9,37%)	8 (12,5%)	41 (64,06%)	9 (14,06%)	64
>20 até 30	9 (45%)	4 (20%)	7 (35%)	0	20
>30 até 40	5 (83,33%)	1 (16,66%)	0	0	6

Onde: 1= classe dominante; 2= classe co-dominante; 3= classe dominada; 4= classe suprimida.

As castanheiras das menores classes de diâmetro estão sombreadas tanto na parte superior do dossel quanto na parte vertical. Isto indica que estas árvores sofrem forte competição pelas árvores vizinhas, tendo como indício a abertura do dossel, que no ambiente que estas árvores se encontram a faixa de abertura não é suficiente para que estas castanheiras recebam luz suficiente em suas copas para que tenham um melhor crescimento em altura e diâmetro. Zuidema (2003) indica, como forma de manejo para castanheiras que estejam sofrendo sombreamento, a liberação destas árvores através do corte de árvores vizinhas que exerçam sombra sobre as árvores sombreadas.

A Tabela 7 apresenta a variação de idade determinada para as castanheiras nas quatro classes de diâmetro estabelecidas. As classes >10 até 20 cm e >20 até 30 cm de d apresentaram uma grande variação de idade em relação à classe >30 até 40 cm de d. A idade determinada para as árvores das duas primeiras classes indica tanto árvores jovens, com muito diâmetro, há árvores velhas com pouco diâmetro. Essa relação pode estar atribuída, principalmente, ao ambiente que estas árvores cresceram. Comparando a idade das castanheiras com a idade de pouso das capoeiras, poucas árvores apresentaram uma idade superior as capoeiras.

Tabela 7 - Variação de idade determinada para as castanheiras.

Classe de d (cm)	Variação de idade		
	Mínima	Máxima	Média
>10 até 20	11	27	17,7
>20 até 30	16	35	27,1
>30 até 40	30	36	33,5

4.2 Crescimento em diâmetro

A execução da datação cruzada pelo programa COFECHA permitiu o controle de qualidade das séries de largura de anéis de crescimento do DAP e da base do fuste, sincronizando com a média das séries individuais (série máster). O intervalo de tempo considerado para todas as séries foi de 1982 a 2018 (Tabela 8).

Tabela 8 - Resumo dos resultados do controle de qualidade das séries executadas pelo programa COFECHA para a espécie *B. excelsa*.

Parâmetros	<i>Bertholletia excelsa</i>
Período considerado	1982-2018
Média com a máster (r)	0,347
Sensibilidade média (s)	0,438
Autocorrelação	0,102-0,795

(r): intercorrelação média com a máster; valores críticos variaram de 0,5155 a 1%.

As correlações calculadas para um período de tempo de 20 anos e comparadas a cada 10 anos, precisam apresentar uma correlação $\geq 0,5155$ para um nível de confiança de 99% (ALVARADO, 2009; FIGUEIREDO FILHO et al., 2017). Embora as castanheiras estudadas nesta pesquisa sejam jovens e regenerantes em áreas de floresta secundária, os resultados obtidos na datação das séries de crescimento das castanheiras demonstraram o potencial da espécie em estudos de dendrocronologia. A datação apresentou intervalos com baixas e altas correlações (não significativas com valores abaixo de 0,5155 a 1%) a altas correlações com valores de até 0,795.

A sensibilidade foi uma estatística apresentada com o objetivo de analisar as variações na largura do anel correspondendo à variação média da largura do anel em relação à seguinte. Quanto maior a sensibilidade menor a autocorrelação, caracterizando uma maior variância dos dados (MATTOS; BRAZ, 2012; FIGUEIREDO FILHO et al., 2017). As séries de crescimento avaliadas apresentaram uma sensibilidade média de 0,438.

As curvas de crescimento acumulado em diâmetro sem casca representaram todas as 85 castanheiras com os seus respectivos incrementos em diâmetro em relação à idade calculada na altura do DAP. Na Figura 6, nos gráficos A, B e C as castanheiras são representadas em três classes de diâmetro (d sem casca): >10 até 20 cm; >20 até 30 cm e >30 até 40 cm.

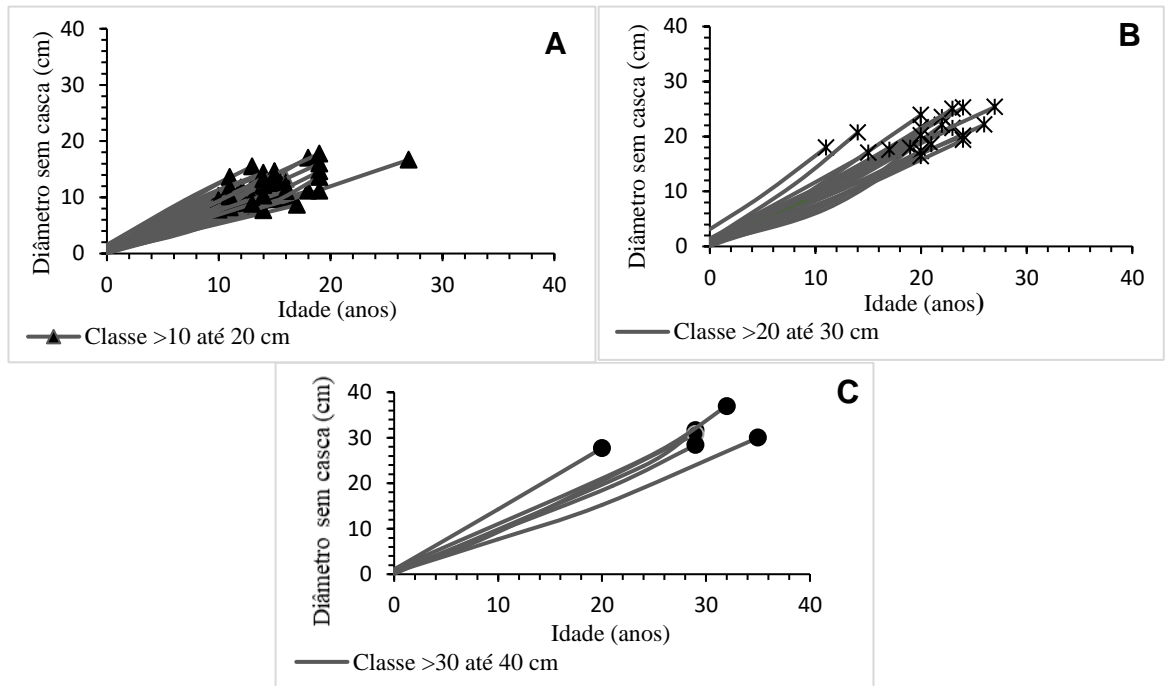


Figura 6. Crescimento acumulado do diâmetro sem casca (cm) em relação ao número de anos coletados na altura de 1,30 m (DAP), sendo A, crescimento da classe >10 até 20, B a classe >20 até 30 e C >30 até 40 cm de diâmetro sem casca.

O crescimento variou consideravelmente entre as três classes de diâmetro, e mesmo que os anos considerados no gráfico não sejam relacionados à idade das castanheiras, mas sim ao número° de anéis calculados na altura do DAP, esta diferença não foi apresentada neste trabalho. O padrão de crescimento da classe >10 até 20 cm de diâmetro (Figura 6, A) apresentou grande variação de anos, por exemplo uma castanheira com 15 anos apresentando diâmetro acumulado sem casca de 10 cm e outra árvore com 27 anos com um diâmetro de 16,68 cm.

Outra árvore apresentou 13 anos com 15,50 cm de diâmetro acumulado. Como as castanheiras estão distribuídas em diferentes capoeiras do Seringal Cachoeira provavelmente há uma influência forte do sítio nesta variação de idade e de crescimento acumulado das castanheiras presentes nesta classe. O incremento médio

das castanheiras presentes nesta classe também apresentou diferenças significativas com um incremento médio, em diâmetro, mínimo de 0,47 cm a um incremento máximo de 1,13 cm.

Na classe de diâmetro >20 até 30 cm (Figura 6, B), as castanheiras também apresentaram uma expressiva variação de idade e diâmetro. Esta variação abrange árvores com 20,68 cm de diâmetro e 14 anos até castanheiras com 30 cm de DAP e 29 anos de idade. O incremento médio, em diâmetro, mínimo por árvore individual foi de 0,77 cm e o incremento máximo foi de 1,41 cm.

O padrão de crescimento entre as castanheiras desta classe em relação a classe >10 até 20 cm de d não apresentou diferença significativa. Embora a classe de 20-30 cm de d apresente uma quantidade menor de indivíduos percebe-se que as árvores seguiram um mesmo padrão de crescimento, mas houve uma grande variação de idade entre as castanheiras desta classe.

As árvores com d >30 até 40 cm não apresentaram grande diferença em relação ao número de anos apresentado pelas classes anteriores, mesmo tendo diferença em diâmetro as castanheiras apresentaram diâmetro sem casca de 30,80 cm aos 29 anos e de 36,96 cm aos 32 anos, e uma árvore apresentou mais de 30 cm de diâmetro com 35 anos.

Pode-se considerar que as árvores desta classe apresentam uma maior estabilidade em relação as castanheiras presentes nas classes anteriores, pelo fato de as mesmas serem maiores e mais velhas que as outras árvores. O fato das castanheiras das classes >10 até 20 cm e >20 até 30 cm apresentarem muita variação de idade e diâmetro indica que, conforme estas árvores crescem e ingressam para outra classe de diâmetro essa variação diminui, ficando mais uniforme. Então, para a determinação de idade por dendrocronologia ser mais precisa em *B. excelsa*, recomenda-se incluir árvores grandes na maior parte da amostra.

Na Tabela 9 está apresentado, por classe de diâmetro, a quantidade total de castanheiras amostradas, diâmetro sem casca, idade das castanheiras e incremento médio em diâmetro por classe.

Tabela 9 - N° de árvores amostradas, diâmetro sem casca (mínimo e máximo), idade das castanheiras (mínimo-máximo) e incremento em diâmetro (mínimo-máximo) para as castanheiras de classes de d.

Classe de d (cm)	N° de árvores amostradas	Diâmetro sem casca (cm)	Idade da Castanheira (ano)	Incremento médio em diâmetro por classe (cm/ano)
10-20	59	7,66-19,34	11-27	0,77
20-30	20	20,14-30,00	16-35	0,97
30-40	06	30,60-36,96	30-36	1,05

Obs: o n° de amostras representa um total de 85 castanheiras utilizadas para a determinação da idade e incremento em diâmetro.

Outra variável representada na Tabela 9 foi a idade das castanheiras sendo o número de anos contados na base do fuste. Em relação às idades determinadas na base e na altura de 1,30 m, houve uma diferença entre a quantidade de anos em ambas alturas, que não foi apresentado neste trabalho.

Para as castanheiras da classe de d >10 até 20 cm a idade determinada foi de 11 a 27 anos, com um incremento médio em diâmetro de 0,77 cm. As árvores desta classe apresentaram um bom incremento em diâmetro, sendo que apenas 16 árvores apresentaram um incremento médio em diâmetro <0,70 cm por ano. Este incremento foi refletido na idade destas árvores, causando uma alta variação de idade entre as mesmas.

Pelos valores de incremento bruto, (incremento radial medido no rolo de incremento) pode-se observar que as castanheiras da primeira classe apresentaram padrões diferentes de crescimento com algumas árvores apresentando crescimento reduzido nos primeiros dez anos com valores muito baixos de incremento, como 0,03 cm, à árvores que apresentaram incremento em diâmetro nos últimos dez anos consideravelmente alto chegando a 0,70 cm.

Na classe >20 até 30 cm, a idade das castanheiras foi de 16 a 35 anos com um incremento médio anual em diâmetro de 0,97 cm. As árvores desta classe apresentaram um maior incremento anual em diâmetro em alguns anos, com um crescimento maior no período dos últimos dez anos chegando a apresentar um incremento anual >1 cm em alguns anos, mas o incremento médio foi menor que o apresentado na classe anterior. Embora existam algumas árvores que apresentaram um baixo incremento, a maioria das castanheiras apresentou um bom crescimento, podendo estar relacionado

com a quantidade de luz, principalmente, e com a pouca competição por árvores vizinhas.

Na terceira classe, >30 até 40 cm de d, a idade estimada variou de 30 a 36 anos com um incremento médio em diâmetro de 1,05 cm. As árvores desta classe também apresentaram uma boa taxa de crescimento com anos que apresentaram um incremento >1 cm. Não houve uma significativa variação nem de idade e diâmetro para esta classe, o que se pode considerar normal tendo em vista que algumas destas árvores já estão ingressando no diâmetro mínimo de produção de frutos (DMC), considerado a partir dos 40 cm.

Schöngart et al. (2015) avaliando a idade e o crescimento em diâmetro de castanheiras plantadas em áreas abertas e de castanheiras em florestas nativas, demonstraram que uma castanheira plantada com 42,3 cm de d apresentou uma alta taxa de crescimento chegando a 2,65 cm.ano⁻¹, com 24 anos de idade. Para as castanheiras de floresta nativa a taxa de incremento foi relativamente baixa (0,03 a 0,12 cm.ano⁻¹) durante os primeiros 20 anos de crescimento.

No geral as árvores analisadas no estudo de Schöngart et al. (2015) com diâmetro de 10 a 65 cm apresentaram idades relativas de 13 e 50 anos, idades maiores as analisadas nesta pesquisa. Considerando a área basal das castanheiras, Andrade et al. (2019) apresentaram valores de área basal individual de 0,4 a 0,7 m² em castanheiras nativas com diâmetro de 29,7 e 49,1 cm. Valores superiores aos apresentados neste trabalho.

Os dados de crescimento acumulado em diâmetro e idade, apresentados neste tópico, confirmam as evidências de que a castanheira tem potencial para estudos dendrocronológicos. Com isso, vários estudos comprovaram a existência de anéis anuais de crescimento em castanheiras de florestas nativas na Amazônia (VETTER, 1995; ZUIDEMA et al., 2012; SCHÖNGART et al., 2015). A análise de tronco parcial das castanheiras regenerantes em áreas de florestas secundárias permitiu encontrar evidências da formação anual de anéis de crescimento nestas árvores e definir a idade das mesmas.

Os resultados apresentados neste trabalho corroboram os encontrados por Brienen e Zuidema, (2005) e Schöngart et al. (2015) que também registraram a formação anual de anéis de crescimento em castanheiras plantadas, comparando o n°

de anéis com a idade de plantio conhecida. Comparando com o que foi apresentado neste trabalho, a diferença está no fato de as castanheiras serem jovens e regenerantes em áreas de florestas secundárias, destacando a importância das análises de anéis de crescimento para estudar o crescimento de espécies tropicais nestes ambientes.

A caracterização das zonas de crescimento dos anéis das árvores de *B. excelsa* consideradas neste estudo observou um contraste entre a zona de tecido fibroso (escuro) e parênquima (tecido claro), não sendo possível a distinção a olho nú, necessitando de uma lupa. No início do anel houve uma maior presença de tecido fibroso com uma maior porcentagem de parênquima no fim da zona de crescimento, característica essa que foi descrita por Worbes (1995).

O diâmetro acumulado apresentou uma correlação positiva com a idade determinada para as castanheiras ($r= 0,8603$; $P < 0,01$). O padrão de crescimento das castanheiras individuais foi constante com poucas variações, ou seja, taxas de crescimento contínuas ao longo do tempo. Brienen e Zuidema (2006a) avaliando padrões de crescimento e idade de castanheiras adultas na Bolívia, observaram trajetórias de crescimento similares às apresentadas neste trabalho, mas com a influência de supressão e liberação de crescimento para as árvores.

A variação encontrada para as classes de diâmetro 10-20 cm e 20-30 cm pode ser considerada alta, principalmente em relação à idade. Além do que foi discutido anteriormente, isto indica que estas árvores apresentaram um período de supressão de crescimento com dificuldade para alcançar o dossel, talvez por falta de luz ou pela forte competição causada por árvores vizinhas.

Para a classe 30-40 cm a variação de diâmetro e idade não foi expressiva, sendo que foram apresentadas castanheiras com um diâmetro maior que a idade apresentada. As árvores desta classe apresentaram as melhores trajetórias de crescimento, sendo que o padrão de crescimento desta classe pode ter sido influenciado pelas diferenças nas condições de luz dos indivíduos (MONTGOMERY; CHAZDON, 2001; BRIENEN; ZUIDEMA, 2006a).

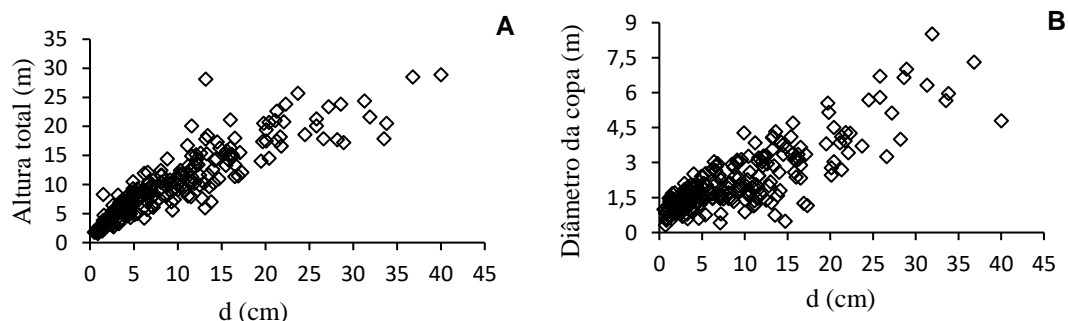
Scoles e Gribel, (2015) destacaram práticas de manejo que podem ajudar no estabelecimento de castanheiras sob condições de supressão de crescimento. Os autores destacaram a liberação destas castanheiras através do corte de árvores vizinhas que interferem no crescimento fazendo sombra e impedindo as copas das castanheiras

de receberem luz. Outra prática seria a eliminação de lianas do fuste e da copa que sobrecarrega a árvore, e a outra prática seria mais destinada às castanheiras que regeneram em florestas secundárias, sendo a limpeza do sub-bosque.

Algumas castanheiras realmente apresentaram uma idade menor ou igual a idade de pouso da capoeira, já 3 capoeiras apresentaram idades menores em relação as árvores regenerantes, e isso pode ser atribuído a dois fatores, às informações prestadas pelos moradores, tendo em vista que foram coletadas informalmente e a possibilidade de algumas castanheiras já estarem presentes nessas áreas quando foi aberto o roçado e não foram cortadas. A importância de avaliar a idade da capoeira, está relacionado ao fato de como ocorre a sucessão de espécies florestais nestas áreas, visto que a análise dos anéis de crescimento é um atributo que proporciona um melhor entendimento neste processo (BRIENEN et al., 2009).

4.3 Morfometria

Para determinar os aspectos morfométricos das castanheiras regenerantes das áreas de capoeiras alguns gráficos foram gerados para representar a relação das variáveis dendrométricas e morfométricas com o d destas árvores, avaliar a morfometria para o manejo da espécie e conhecer as suas relações interdimensionais visando aperfeiçoar técnicas silviculturais para um melhor crescimento em diâmetro. A correlação do d em relação as variáveis relacionadas na Figura 7 estão inseridas no Apêndice D.



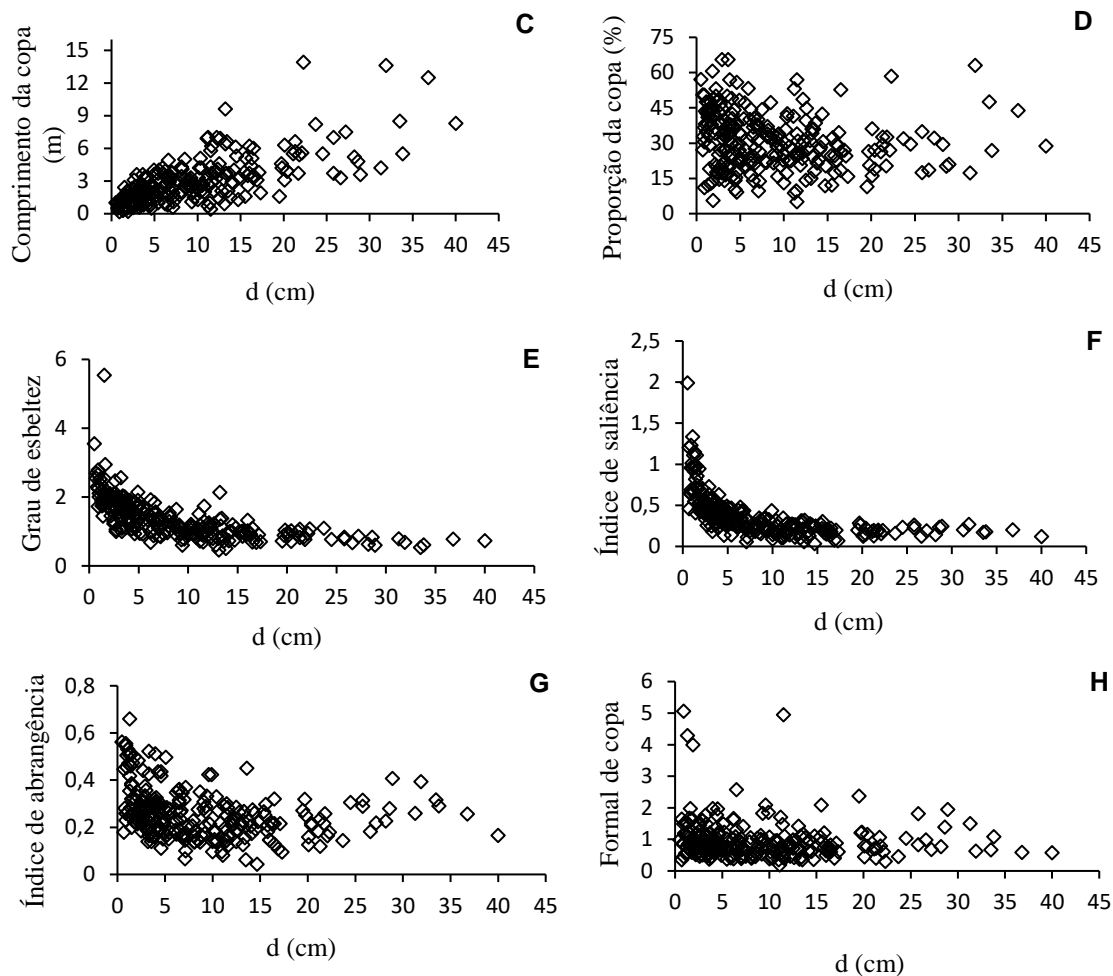


Figura 7. A) altura total; B) diâmetro de copa; C) comprimento de copa; D) proporção de copa; E) grau de esbeltez; F) índice de saliência; G) índice de abrangência; H) formal de copa em função do d.

No gráfico A da Figura 7, a relação da altura total e d ou relação hipsométrica, demonstrou que a altura total das castanheiras tem uma relação positiva com o diâmetro ($r= 0,9030$; $P < 0,01$), ou seja, demonstrou uma tendência crescente, com o crescimento em altura sendo proporcional ao crescimento em diâmetro. Gómez et al. (2015) avaliando a morfometria de castanheiras em Madre de Dios, Peru, apresentaram um valor médio de altura total de 28,89 m.

O diâmetro (B) e comprimento da copa (C) também apresentaram uma relação positiva com o d, ($r= 0,8356$; $P < 0,01$ e $r= 0,7167$; $P < 0,01$, respectivamente). O diâmetro de copa apresentou uma ampla variação de crescimento (0,32 – 8,51 m), com uma tendência de crescimento acompanhada pelo aumento do d. O comprimento de

copa teve valores de 0,17 a 13,90 m, com um crescimento acompanhado pelo aumento do diâmetro das castanheiras.

Tonini e Arco-Verde, (2005) analisando características morfométricas de castanheiras plantadas em Roraima, aos 7 anos de idade, apresentaram um valor médio de 6,6 m, bem superior ao apresentado neste trabalho. Considerando os dados apresentados para o diâmetro de copa, esta variável pode ser utilizada para deduzir outras características da árvore. Considerando um povoamento pela condução do manejo por árvores individuais, o diâmetro de copa pode ser utilizado para saber o número de árvores que ficarão até o final da rotação.

Para o comprimento de copa, Dionísio et al. (2017) apresentaram valores maiores aos apresentados neste trabalho, com uma variação de 1,32 a 14,22 m. Tonini e Arco-Verde, (2005) apresentaram um valor médio de 2,93 m, maior que o valor médio descrito nesta pesquisa.

No gráfico D a proporção de copa (%) apresentou uma tendência negativa, não significativa, de crescimento, com uma diminuição da proporção de copa com o aumento do d ($r = -0,1442$; $P < 0,01$). Em termos de desenvolvimento da árvore esta variável é de suma importância para conhecer a vitalidade da copa da árvore, na medida que a proporção de copa aumenta, em relação à altura e o diâmetro da árvore, há um maior crescimento de comprimento de copa que juntamente com variáveis qualitativas da copa indicam que a árvore em questão apresenta uma ótima fenologia, apresentando um bom potencial produtivo.

Durlo e Dernardi (1998); Condé et al. (2012) descrevem a variável morfométrica proporção de copa como uma boa indicadora de sucessão de luz, resultando em um melhor crescimento, maior produção de frutos e sementes, mas este estudo demonstra que as copas apresentam uma estagnação de crescimento quando chegam a 65,45% de proporção de copa. Condé et al. (2012) caracterizando variáveis morfométricas de castanheiras em Rondônia, encontraram uma estagnação de crescimento de copa quando as árvores apresentaram uma proporção de copa por volta de 70%.

O grau de esbeltez, gráfico E, apresentou uma relação negativa com o d ($r = -0,6428$; $P < 0,01$). Essa relação demonstra que as castanheiras estão crescendo mais em diâmetro do que em altura, ficando menos suscetível contra a ação de ventos e outros fatores naturais ou antrópicos. Dionísio et al. (2017) calculando o grau de esbeltez de

castanheiras solitárias em áreas de pastagens também indicaram um maior crescimento em diâmetro em relação à altura.

O índice de saliência e índice de abrangência, ambos representados nos gráficos F e G, respectivamente, apresentaram uma relação negativa com o d, mas significativa ($r = -0,5653$; $P < 0,01$ e $r = -0,2692$; $P < 0,01$), ou seja, essas variáveis diminuíram com o aumento do diâmetro. A relação morfométrica do índice de saliência x d e índice de abrangência x d são importantes na tomada de decisões relacionadas ao manejo populacional da espécie, como desrama, desbaste e espaço vital. Considerando o índice de saliência, os valores apresentaram uma variação de 0,03 a 1,99 e um diâmetro de copa, em média, 0,37 vezes maior que o diâmetro das castanheiras.

Tanto o índice de saliência como o índice de abrangência são indicadores de espaço a ser liberado para que as árvores cresçam sem concorrência. Em povoamentos estes índices são mais aplicados, mas considerando a aplicação dos mesmos, em florestas nativas, a interpretação dos valores pode ser diferente. O índice de saliência indica quantas vezes o diâmetro da copa é maior que o d, este valor pode ser multiplicado pelo diâmetro da árvore e o resultado, em m², indica o espaço a ser liberado para que a árvore em questão cresça sem competição das árvores vizinhas. O índice de abrangência, embora pouco utilizado, pode ser aplicado da mesma forma, mas relacionando com o espaço a ser liberado para que a árvore cresça em altura total.

Condé et al. (2013) avaliando a morfometria de castanheiras em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho – Rondônia, apresentaram valores de índice de saliência bem maiores que os apresentados neste estudo. Tonini e Arco-Verde, (2005) demonstraram um valor médio de índice de saliência maior (>50) que o valor demonstrado no estudo de Condé et al. (2013) e neste trabalho, em castanheiras plantadas na cidade de Boa vista, Roraima.

O índice de abrangência apresentou valores com variação de 0,04 a 0,66, com uma média de 0,26. Normalmente esse índice apresenta valores baixos, pois o mesmo diminui com a altura, porque o aumento em altura de uma árvore, proporcionalmente, não é acompanhado pelo diâmetro de copa (TONINI; ARCO-VERDE, 2005). Dionísio et al. (2017) apresentaram valores de índice de abrangência de 0,10 a 0,45 com uma média de 0,27, não apresentando diferença significativa aos valores deste trabalho.

O gráfico H, sobre o formal de copa, apresentou uma relação negativa e não significativa ($r = -0,1239$; $P < 0,01$), com uma diminuição à medida que aumenta os valores de d , com uma variação de valores caracterizando que estas árvores apresentaram copas frondosas e com um bom crescimento em comprimento de copa. Os valores de formal de copa apresentaram uma variação de 0,20 a 5,06 e valores encontrados por Dionísio et al. (2017) foram menores que os apresentados nesta pesquisa, com variação de 0,26 a 1,64, com uma média de 0,56. Condé et al. (2012) apresentaram valores de 1,76 a 1,79, bem menores que os apresentados neste trabalho.

4.4 Índices de Competição

O cálculo do índice de BAL para as castanheiras regenerantes demonstrou valores baixos de competição para a maioria das árvores. A Figura 8 representa todas as castanheiras, considerando as varetas de 0,50 até 40 cm de d e segundo o gráfico de dispersão a maioria das castanheiras apresentaram valores menores que 0,50 m^2 , apresentando uma competição baixa de acordo com este índice.

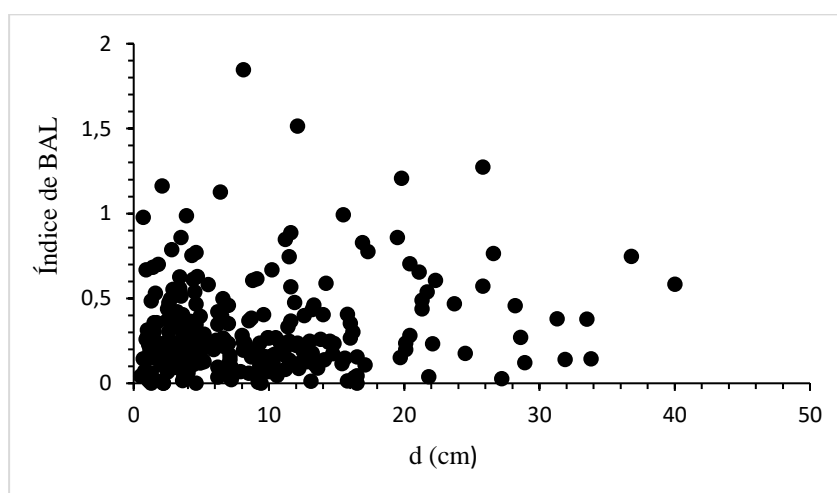


Figura 8. Representação do d em função do índice de BAL.

O atual estado de competição das castanheiras, demonstrado pelo índice de BAL, representa que 83,26% destas árvores estão sobre uma competição moderada, considerando que 3,58% não apresentaram competição, ou seja, apresentaram valor zero. As árvores que apresentaram um valor maior que 0,50 foram 16,73% do total das castanheiras. A correlação do d ou DAP com o índice de BAL não foi significativa ($r =$

0, 1495; $P < 0,01$) sugerindo que, para este índice, o somatório da área basal (m^2/ha) das árvores vizinhas que apresentaram uma área seccional (m^2) maior que a da castanheira, não influenciou no crescimento em diâmetro da espécie em estudo.

Assim, a quantidade de árvores grossas não foi suficiente para exercer competição suficiente no crescimento em diâmetro, não sendo possível explicar a variação de crescimento com a utilização deste índice.

Vatraz et al. (2018) medindo a competição de diferentes espécies florestais em floresta nativa no Amapá encontraram correlações negativas para o índice de BAL e incremento em diâmetro. Silveira et al. (2015) apresentaram valores de índice de BAL de árvores de uma Floresta Estacional Semidecidual, no município de São Sepé, Rio Grande do Sul, variando de 5,20 a 41,74 demonstrando alta competição para as árvores analisadas.

A Figura 9 demonstra a relação do diâmetro das castanheiras com o índice de Hegyi, que na medida que aumenta o valor do índice há um aumento na competição. Segundo o gráfico, o status competitivo deste índice para as castanheiras de 0,50 a 40 cm de d representou níveis de competição alto para as árvores nas menores classes de diâmetro e com uma diminuição para as que apresentaram um maior diâmetro.

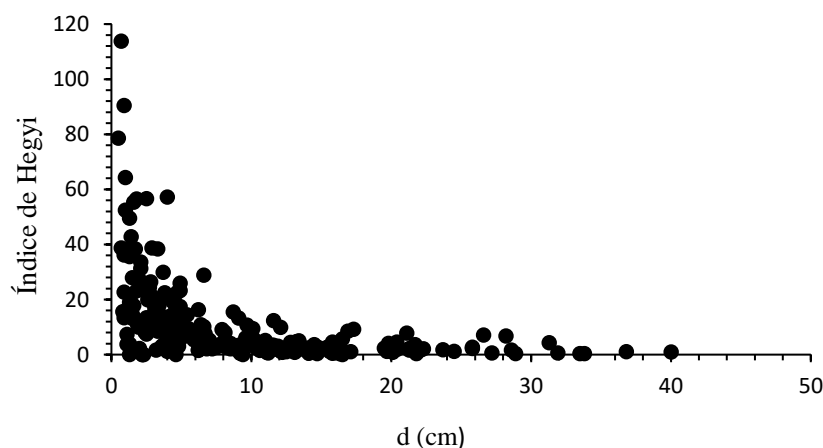


Figura 9. Representação do d em função do índice de Hegyi.

Esta dispersão dos diâmetros em relação aos valores do índice de Hegyi representa o que já era esperado, considerando que a correlação foi negativa e significativa ($r = -0,4465$; $P < 0,01$), demonstrando que quanto maior o valor do índice de Hegyi maior a competição sofrida pelas castanheiras.

O índice de Hegyi apresentou árvores com forte competição com valores de 113,39 à castanheiras com competição zero, com um valor médio para todas as castanheiras de 10,72. Cerca de 28,68% dessas castanheiras estão sob forte competição nas capoeiras. Algumas castanheiras apresentam uma competição moderada, com 19,92%, já 51,39% destas árvores apresentam uma competição fraca, não influenciando o crescimento em diâmetro.

Tonini et al. (2008) fizeram uma relação da produção de frutos com os índices de competição de 88 castanheiras nativas com o objetivo de avaliar se a competição influenciou na produtividade e concluíram que o índice de Hegyi apresentou pouca influência na produtividade, mas foi verificado uma diminuição da produção de sementes com o aumento da competição.

O índice de Glover e Hool apresentou uma correlação positiva e altamente significativa para o d ($r = 0,8457$; $P < 0,01$) indicando que na medida que diminui os valores deste índice aumenta a competição. Segundo a Figura 10, a dispersão dos diâmetros das castanheiras em relação ao índice de Glover demonstra que as castanheiras com diâmetros < 20 cm de d estão sob forte competição.

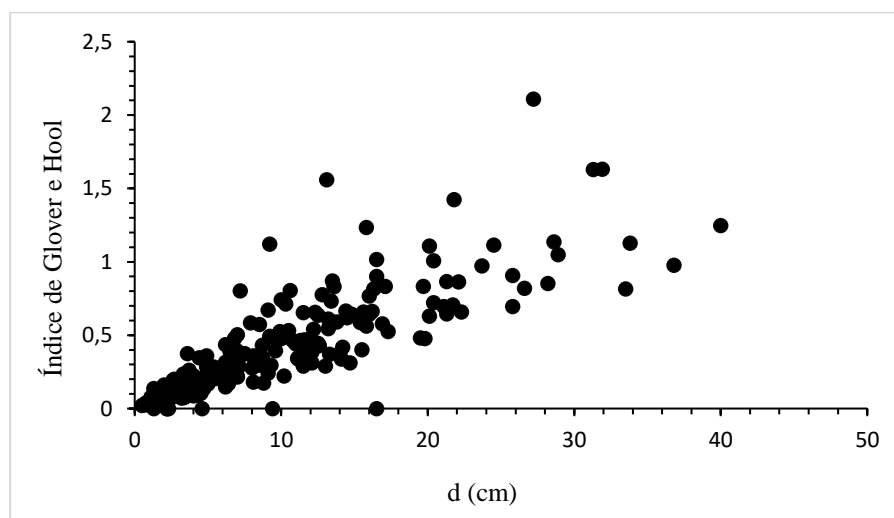


Figura 10. Representação do d em função do índice de Glover e Hool.

As árvores com maiores diâmetros apresentam maiores valores de Glover, indicando que na medida que aumenta o diâmetro das castanheiras diminui a competição. Este índice indicou que cerca de 94,02% das castanheiras estão sob forte competição das árvores vizinhas (Glover <1,00), influenciando no seu crescimento em diâmetro.

4.4.1 Modelagem da competição em função de variáveis dendrométricas

O modelo dos índices de competição em função das variáveis dendrométricas forneceu estimativas satisfatórias apenas para o modelo do índice de Glover e Hool, que estão apresentadas na Tabela 10, demonstrando o grau de competição que as castanheiras sofrem na medida que ocorre a mudança do diâmetro. Esses parâmetros apresentam de forma matemática como cada índice representou a competição.

Tabela 10 - Ajuste de modelo de competição em função de variáveis dendrométricas.

Passo	Modelo	Coefficientes	R ²	R ² ajust.	Syx
1	$HEGYI = b_0 - b_1 * h$	$b_0 = 21,78261$ $b_1 = -1,16448$	0,2017	0,2017	11523
Passo	Modelo	Coefficientes	R ²	R ² ajust.	Syx
2	$GLOVER = b_0 + b_1 * d$	$b_0 = 0,03825$ $b_1 = 0,03779$	0,7153	0,7153	20,84838

Para o índice de BAL, não foi ajustado nenhum modelo pois o mesmo não foi significativo para nenhuma das variáveis dendrométricas. Na Tabela 9 o modelo ajustado para o índice de Hegyi foi significativo, incluindo apenas a variável altura total (h), mas o coeficiente de determinação foi baixo (R²= 0,2017) e o erro foi alto (S_{yx}= 11523), mostrando assim, pelas estatísticas geradas do modelo, que este índice não foi adequado para representar a competição sofrida pelas castanheiras. O índice de Glover e Hool apresentou o melhor ajuste, com um R² de 0,7153 e um erro padrão de 20,84, incluindo apenas a variável diâmetro no modelo.

O valor de R^2 foi bem significativo explicando 71% da variação da competição na medida que as castanheiras mudam o diâmetro. Os coeficientes calculados responderam bem às expectativas apresentadas nos gráficos de competição. Cunha e Finger, (2012) apresentando a significância do modelo de crescimento reduzido, ajustado para árvores de Cedro, demonstraram a influência da competição no crescimento em diâmetro em diferentes classes de diâmetro, explicando 71% do total de variação, considerando que neste trabalho a variação foi a mesma.

O ajuste do modelo apresentou estatísticas satisfatórias pela dispersão dos valores estimados em relação aos valores reais. A Figura 11 representa os valores observados e estimados de Glover e Hool em relação ao diâmetro, com valores bem próximos aos valores reais, calculados para o índice de Glover e Hool. Deve-se considerar que a maioria dos pontos estimados não ficaram dispersos no gráfico, apresentando pouca distância dos valores observados. A linha do ajuste do modelo demonstra que, para diâmetro, o modelo apresentou os melhores parâmetros de ajuste.

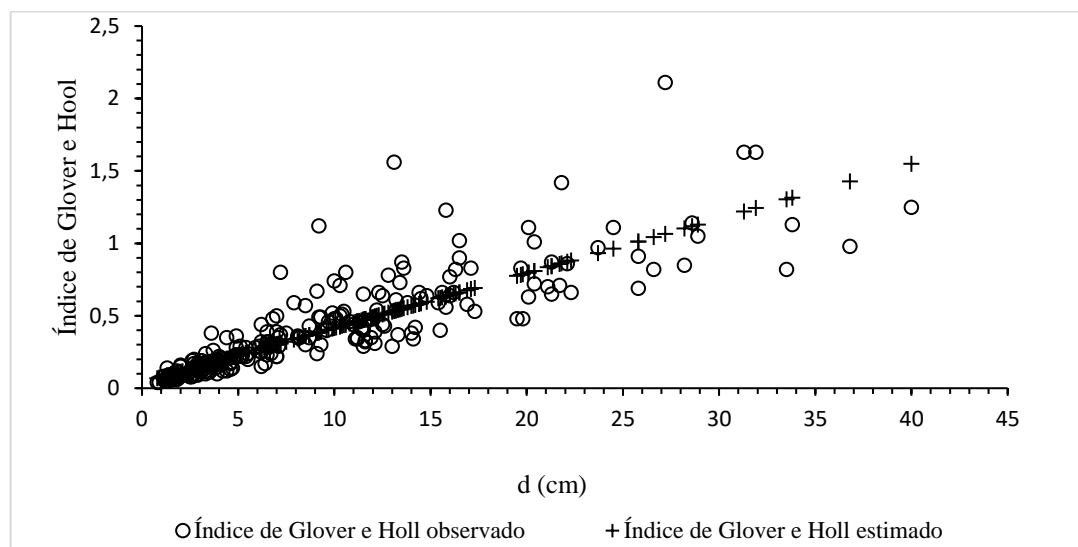


Figura 11. Valores observados e estimados do índice de Glover e Hool em relação ao d.

Para o diagnóstico do modelo ajustado, a Figura 12 representa a distribuição percentual dos resíduos do modelo. Os resíduos apresentaram uma distribuição aleatória, mas com os resíduos bem localizados sem apresentarem valores tendenciosos, demonstrando a eficácia do modelo. A interação dos valores do

diâmetro, no modelo, pode ser a causa dessa aleatoriedade dos resíduos, mas isto já era esperado, pois o efeito das variáveis de competição apresentou diferenças segundo os gráficos dos índices de competição em relação ao d.

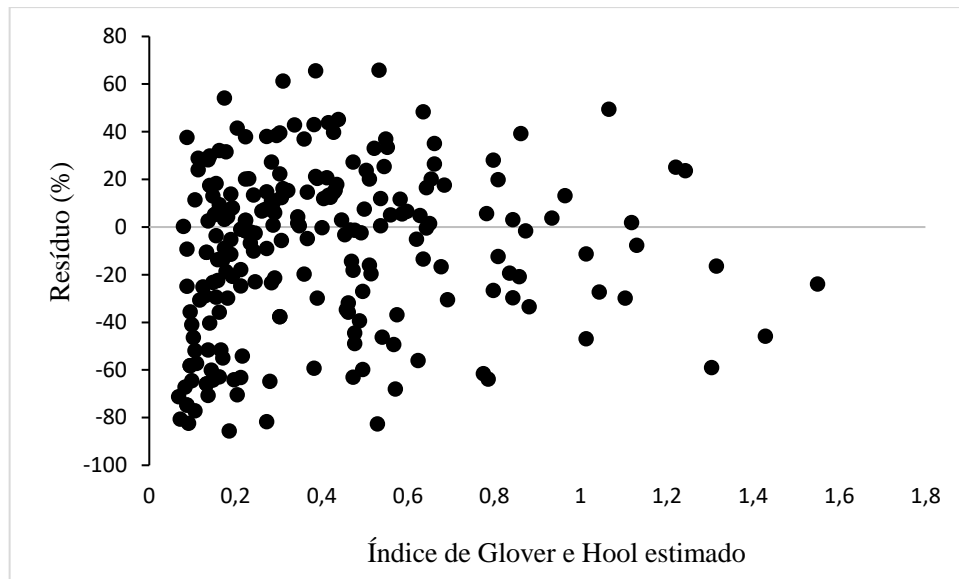


Figura 12. Distribuição dos resíduos (%) do modelo Glover e Hool em função dos valores estimados.

4.5 Incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$)

A correlação do incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) na altura de 1,30 m, demonstrou relação positiva para as variáveis d, h, h1, DC e CC. Em relação aos índices de morfometria, apenas o IA e GE foram significativos para o IPAg, e para a competição apenas o índice de BAL demonstrou não ser significativo para o IPAg. A posição social das castanheiras foi significativa para o IPAg, mas a carga de lianas não (Tabela 11).

Tabela 11 - Correlação do IPAg ($\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) em relação as variáveis dendrométricas, morfométricas, competição e variáveis qualitativas.

Variáveis	r
d	0,9324*
h	0,7035*
h1	0,6113*
DC	0,6630*
CC	0,5075*
PC	-0,1198 ^{ns}
GE	-0,3546*
IS	-0,1283 ^{ns}
IA	0,2007*
FC	0,0903 ^{ns}
BAL	-0,0316 ^{ns}
HEG	-0,2087*
GLH	0,6525*
Posição social	-0,5907*
Carga de lianas	-0,0762 ^{ns}

Obs: variáveis descritas na Tabela 3.

O incremento periódico anual em área basal apresentou uma correlação altamente significativa e positiva com o d ($r=0,9324$; $P < 0,01$). Esta relação demonstra que na medida que as castanheiras aumentam em diâmetro proporcionalmente aumenta o IPAg em área basal. Considerando que esta relação faz sentido, pois o crescimento em área basal é mais expressivo para as árvores com maior diâmetro.

O IPAg também apresentou uma correlação significativa para a altura total e altura comercial ($r=0,7035$; $P < 0,01$ e $r=0,6113$; $P < 0,01$). Para as variáveis diâmetro e comprimento de copa o incremento periódico anual em área basal apresentou uma correlação significativa ($r=0,6630$; $P < 0,01$ e $r=0,5075$; $P < 0,01$). Esta relação demonstra que as árvores que apresentaram um maior incremento periódico anual em área basal proporcionalmente possuem copas mais robustas, em diâmetro e comprimento.

Para os índices de morfometria, a proporção de copa apresentou uma correlação negativa e não significativa ($r=-0,1198$; $P < 0,01$) para o incremento periódico em área basal. Foi observado que o grau de esbeltez causou um efeito negativo sobre o incremento periódico anual em área basal ($r=-0,3546$; $P < 0,01$). Este efeito representa que as castanheiras com maior grau de esbeltez apresentaram um menor IPAg.

O índice de saliência não apresentou relação significativa com o incremento periódico anual em área basal ($r=-0,1283$; $P < 0,01$). Para o índice de abrangência a

correlação foi significativa ($r= 0,2007$; $P <0,01$). Esta relação representa que o aumento do espaço das castanheiras proporciona um maior incremento periódico em área basal. Considerando que o valor deste índice é influenciado pelo diâmetro da copa, este resultado se torna consistente.

A relação do formal de copa com o incremento periódico anual em área basal não foi significativa ($r= 0,0903$; $P <0,01$). Este índice demonstra a relação do diâmetro com a altura da copa, considerando que quanto menor a valor maior é a produtividade da árvore.

Para a competição, o índice de BAL não influenciou o crescimento do incremento periódico anual em área basal dos últimos cinco anos ($r= -0,0316$; $P <0,01$). O índice de Hegyi apresentou uma correlação negativa e significativa para o incremento periódico anual em área basal ($r= -0,2087$; $P <0,01$). Esta relação retrata que este índice influenciou no crescimento do IPAg com um maior grau de competição nas árvores de menor porte em diâmetro e com uma diminuição da competição à medida que aumenta o diâmetro das castanheiras.

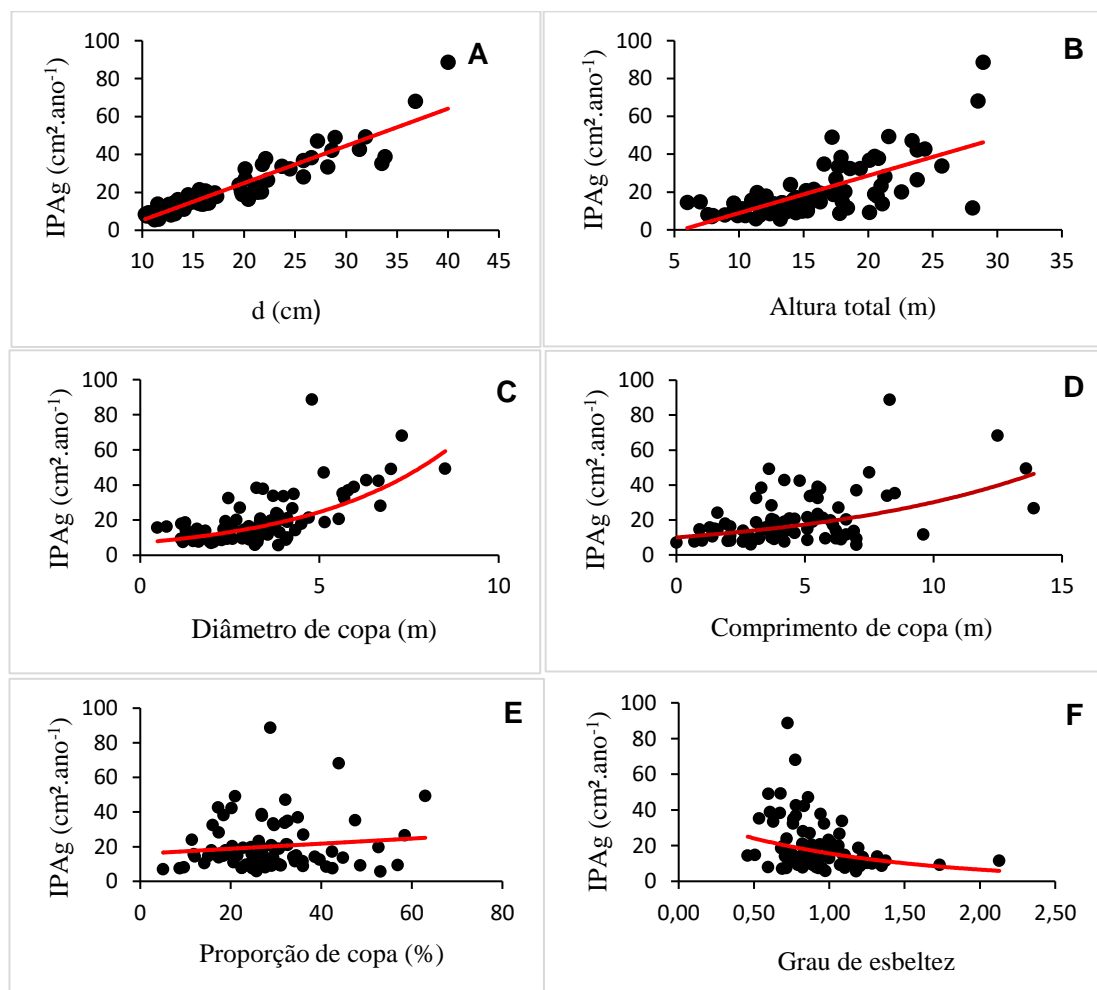
O incremento periódico anual em área basal apresentou uma correlação positiva e significativa com o índice de Glover e Hool ($r= 0,6225$; $P <0,01$). Esta relação representa que as castanheiras diminuem o seu crescimento periódico em área basal na medida que aumenta a competição, ou seja, quando diminui os valores do índice de Glover e Hool.

A correlação entre o incremento periódico anual em área basal e a posição social foi negativa e significativa ($r= -0,5907$; $P <0,01$) demonstrando o que já era esperado, que castanheiras que receberam maior quantidade de luz na copa apresentaram um maior incremento, diminuindo na medida que as copas das árvores recebessem pouca luz. A carga de lianas não apresentou nenhum efeito significativo sobre o incremento periódico anual em área basal ($r= -0,0762$; $P <0,01$).

Cunha e Finger (2012) relatam a relação significativa do incremento periódico anual em área basal, dos últimos 3 anos de árvores de Cedro, para as variáveis índice de competição de Hegyi e posição social, fato este demonstrado neste estudo. Cunha et al. (2016) demonstraram uma relação significativa do incremento periódico anual em área basal dos últimos quatro anos para quatro espécies nativas e apresentaram que as variáveis altura total, DAP, comprimento e diâmetro de copa, índice de competição

de Hegyi e carga de lianas influenciaram no crescimento do IPAg ($\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$). Fato este encontrado neste trabalho, exceto para carga de lianas que não foi significativa com o incremento periódico anual em área basal.

Na Figura 13, está apresentado a relação do incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) com as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição. A relação do incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) com o índice de BAL representa a tendência de crescimento negativo do incremento periódico em relação ao índice de BAL. Como observado na Tabela 10 este índice não influenciou o crescimento dos últimos 5 anos das castanheiras regenerantes e segundo o gráfico de dispersão, os valores de IPAg ($\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) apresentaram um valor baixo de BAL.



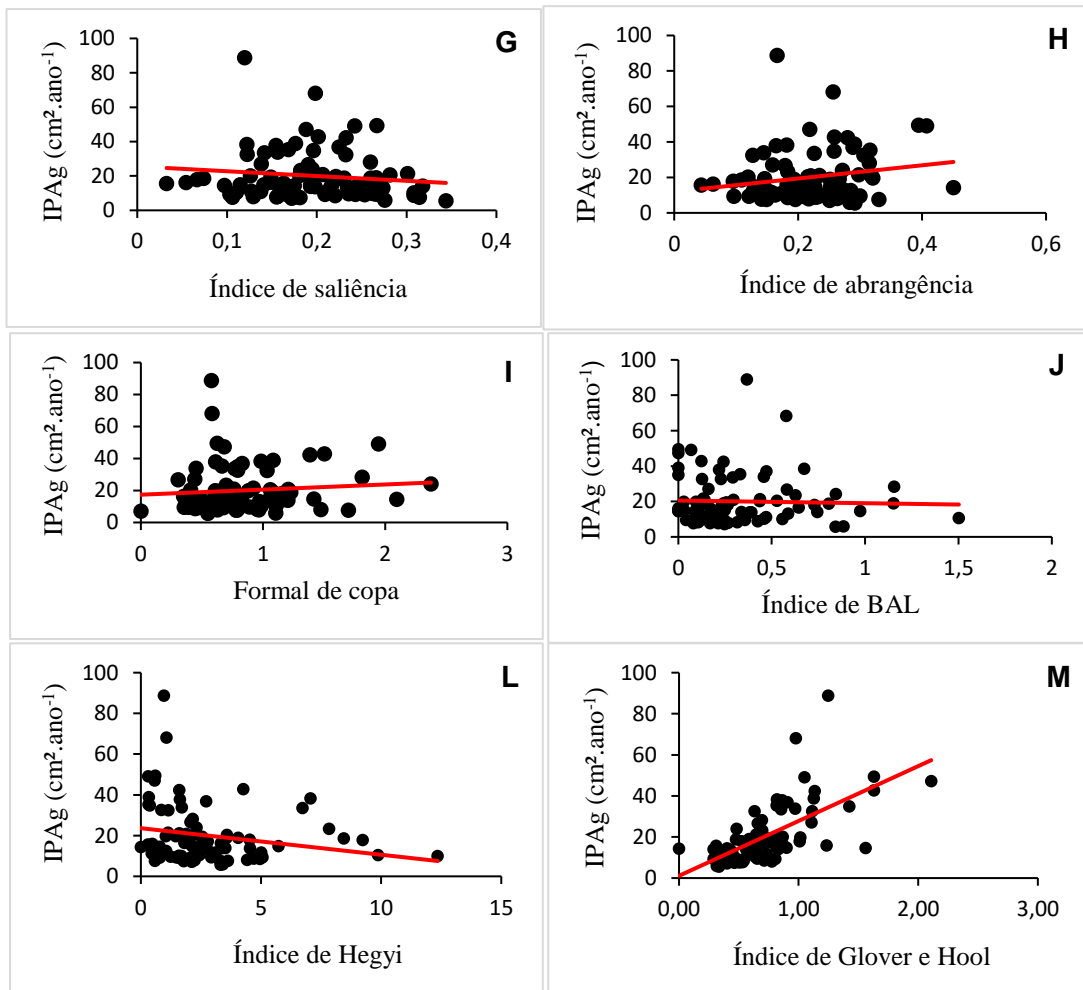


Figura 13. Incremento periódico anual em área basal em função das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição.

A relação do incremento periódico anual em área basal com o índice de Hegyi demonstra que o incremento diminui na medida que o índice de competição de Hegyi aumenta. As castanheiras menores em diâmetro apresentaram os menores valores de IPAg ($\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$), demonstrando uma forte competição, como pode ser observado no gráfico L.

O índice de Glover e Hool representou uma forte competição para o crescimento dos últimos cinco anos do incremento periódico anual em área basal segundo o gráfico M. Isto evidencia a relação positiva que o IPAg apresentou com o índice de Glover, que na medida que os valores de Glover diminuem aumenta a competição das castanheiras, resultando em um menor incremento periódico anual em área basal. Isto é representado no gráfico de dispersão para os valores de IPAg em relação ao índice

de competição, que demonstra que as árvores com menor valor de IPAg apresentaram menores valores de Glover e Hool.

4.5.1 Modelagem do incremento periódico

A Tabela 12 apresenta o modelo ajustado para o incremento periódico anual em área basal individual (IPAg cm².ano⁻¹). Este modelo considerou todas as variáveis que poderiam ter influenciado no crescimento, em área basal, das castanheiras nos últimos cinco anos. Considerando que o modelo foi ajustado pelo método Stepwise, as únicas variáveis que demonstraram influência foram o diâmetro (d) e o índice de Glover e Hool, sendo observado no modelo os valores de coeficiente de determinação (R²), R² ajustado, erro padrão (S_{yx}), significância do F calculado e significância dos coeficientes de determinação.

Tabela 12 - Ajuste de modelo do IPAg, pelo método Stepwise, em função das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição.

Passo	Modelo	Coefficientes	R	R ² ajust.	Syx
1	$IPAg = b_0 + b_1 * d$	$b_0 = -14,33998$ $b_1 = 1,96198$	0,8695	0,8695	27,14%
2	$IPAg = b_0 + b_1 * d + b_2 * GLOVER e HOOL$	$b_0 = -14,91213$ $b_1 = 1,82681$ $b_2 = 4,14654$	0,8756	0,8726	26,18%

O modelo apresentou um bom ajuste com um R²= 0,8756 e um erro padrão de 26,18%. Os coeficientes calculados no modelo demonstraram exatamente a relação do diâmetro e o índice de Glover e Hool com o IPAg (cm².ano⁻¹). O coeficiente apresentado para o d foi positivo e mostrou exatamente que as castanheiras que apresentam os maiores diâmetros possuem maior incremento em área basal. Em relação à competição, o índice de Glover também apresentou um coeficiente positivo, só confirmando que quanto maior a competição o crescimento em área basal será reduzido.

Para complementar o ajuste do modelo foi calculado, por meio da equação do modelo, os valores estimados de IPAg em sobreposição aos valores reais. Por meio de

um gráfico de dispersão (Figura 14) foi apresentado a distribuição dos pontos e para comprovar a eficiência do ajuste pode-se observar que os valores estimados de IPAg seguiram uma linha reta no gráfico, localizados bem próximos aos valores observados de incremento periódico anual em área basal.

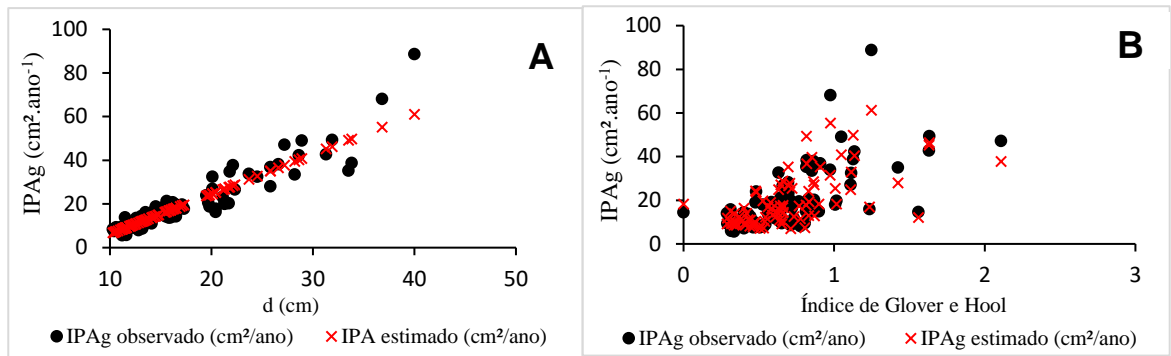


Figura 14. Valores observados e estimados de incremento periódico anual em área basal em relação ao d (cm).

O gráfico dos valores estimados de IPAg em relação ao índice de competição de Glover e Hool (Figura 14) demonstrou que os valores estimados de incremento periódico anual em área basal ficaram bem próximos dos observados, mostrando a eficiência do ajuste em considerar o índice de Glover. Alguns pontos estimados ficaram distantes dos observados, mas considerando a variação dos dados, esta observação pode ser atribuída ao erro.

Foi gerado um gráfico para demonstrar a distribuição dos resíduos (Figura 15) gerados pelo ajuste do modelo. Os resíduos apresentaram uma distribuição aleatória, mas considerando o bom ajuste do modelo esta distribuição pode-se considerar padrão, pois poucos pontos ficaram distantes e pela eficiência do modelo pode-se considerar que houve pouca tendência.

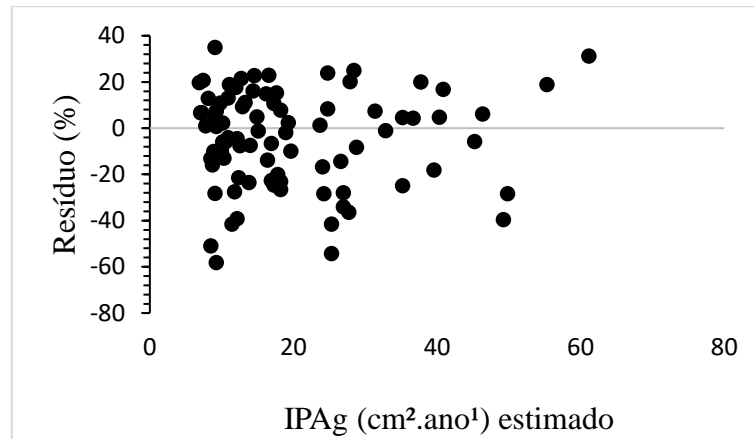


Figura 15. Distribuição dos resíduos do modelo de incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) em função do d e índice de Glover e Hool.

4.5.2 Incremento periódico versus variáveis qualitativas

Na Figura 16 está demonstrado o crescimento periódico anual médio em área basal das castanheiras de cada classe de posição social. Como esperado, demonstrouse que as árvores da classe social dominante apresentaram um maior incremento periódico anual em área basal (IPAg $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$). Em relação as árvores da posição social co-dominante houve uma diferença de crescimento em relação as castanheiras da classe dominante.

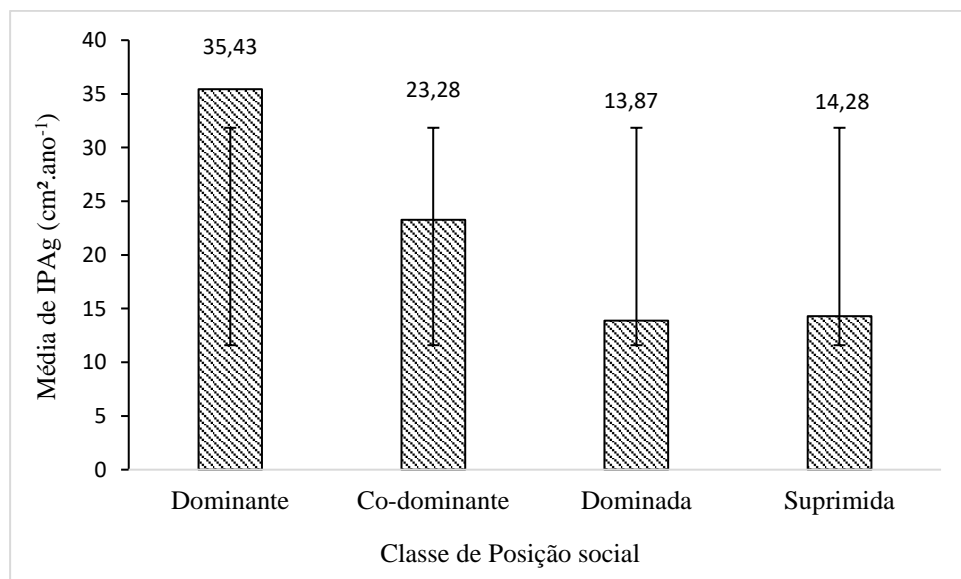


Figura 16. Média do IPAg ($\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$) das castanheiras de diferentes classes de posição social.

As castanheiras presentes nas duas últimas classes de posição social, dominada e suprimida, não apresentaram diferença significativa de média de incremento anual em área basal, considerando que estas árvores apresentaram o mesmo padrão de crescimento médio em incremento periódico. Em relação ao desvio padrão, este foi maior para estas classes demonstrando o desvio dos valores em relação à média.

A Figura 17 representa o comportamento do incremento periódico em área basal por classe de diâmetro. Para cada classe de posição social o incremento periódico das castanheiras, que apresentaram um diâmetro >20 cm de d, foi menor em relação as árvores com um $d \leq 20$. As classes dominante e co-dominante apresentaram o maior crescimento em área basal em relação as classes dominada e suprimida. Pelas barras de crescimento periódico, as castanheiras menores que 20 cm de d apresentaram uma supressão de crescimento para todas as classes de posição social, este crescimento é refletido nos últimos cinco anos.

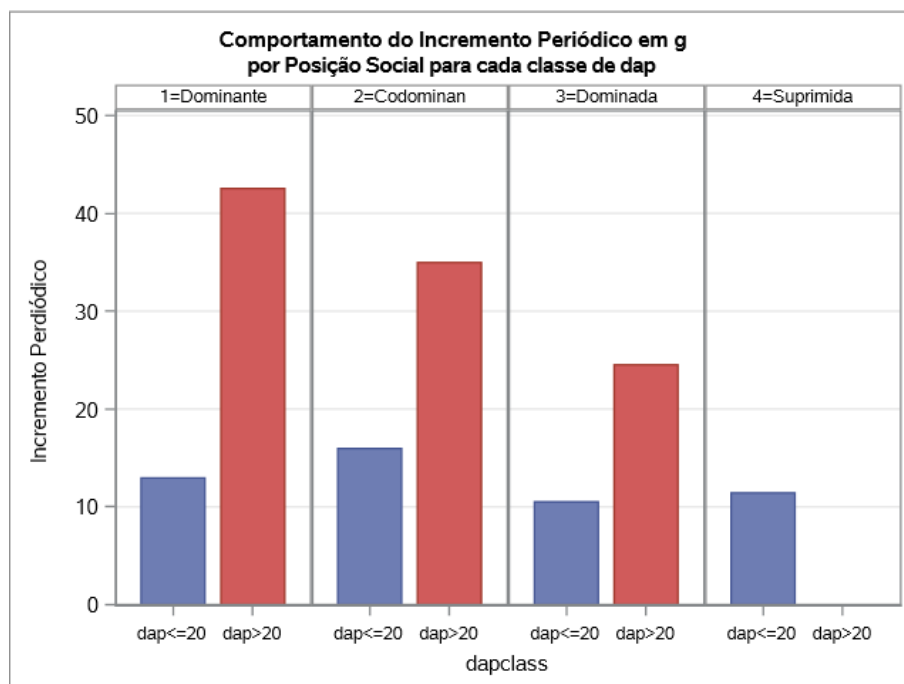


Figura 17. Comportamento do incremento periódico em área basal (IPAg $\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) por posição social para cada classe de diâmetro.

Brienen e Zuidema (2006a) relatam que a obtenção do dossel de árvores de florestas tropicais não ocorre por crescimento constante, mas por padrões irregulares de surtos e paradas de crescimento causadas, principalmente, pela variação temporal

de luz. Neste estudo, variação do crescimento em incremento periódico das árvores ≤ 20 cm e ≥ 20 cm de d podem explicar a variação de idade encontradas para as castanheiras das classes >10 até 20 cm e >20 até 30 cm de diâmetro. As observações realizadas segundo o gráfico da Figura 17 merecem melhores análises para avaliar o percentual de mudança de crescimento em área basal entre as classes de posição social, para uma faixa de tempo de 5 a 10 anos é suficiente para capturar os efeitos da liberação e supressão de crescimento causadas pela abertura e fechamento do dossel (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006a).

A Figura 18 apresenta um BoxPlot com a associação do crescimento em incremento periódico anual em área basal (IPAg/cm².ano⁻¹) com as respectivas classes de posição social. As castanheiras dominantes e co-dominantes demonstraram uma maior variação de crescimento em relação às classes dominada e suprimida, que apresentaram uma menor variação de crescimento.

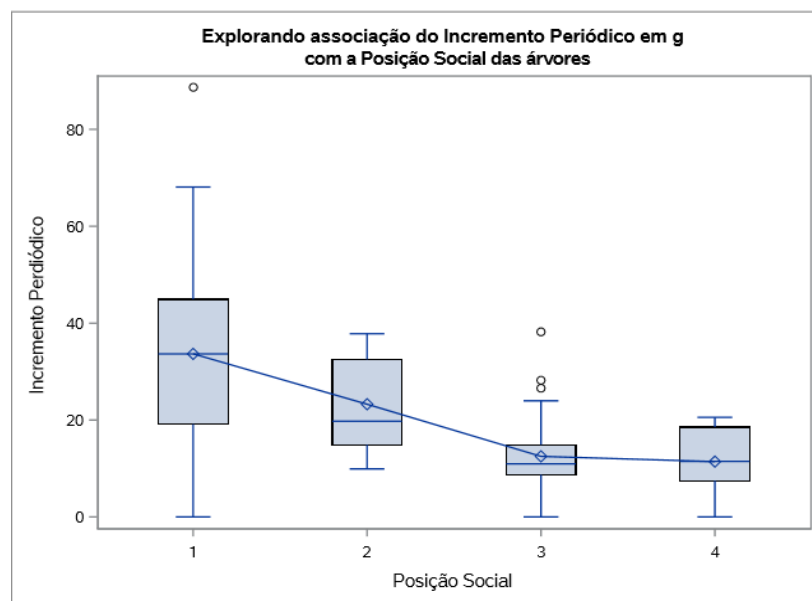


Figura 18. Associação do incremento periódico em área basal (IPAg/cm².ano⁻¹) com a posição social das castanheiras.

A Figura 19 apresenta a média do IPAg (cm².ano⁻¹) para as castanheiras das respectivas classes de carga de lianas. Pode-se observar que as castanheiras que não apresentaram lianas, demonstraram um maior incremento anual médio em área basal nos últimos cinco anos. Para as árvores que apresentaram lianas e para as que

apresentaram uma quantidade mais severa, o crescimento não apresentou uma diferença significativa, como demonstrado no gráfico.

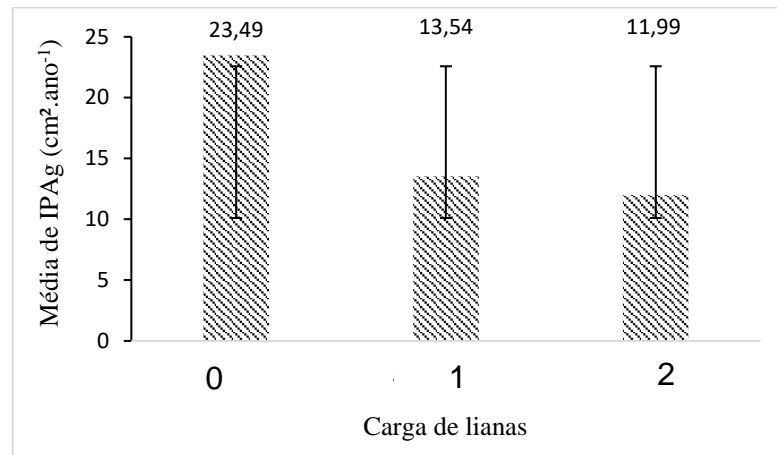


Figura 19. Média do IPAg ($\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) das castanheiras de diferentes cargas de lianas no fuste e na copa.

A associação do IPAg ($\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) com a carga de lianas nas castanheiras (Figura 20) apresentou uma maior variação de crescimento para as árvores que não apresentaram presença de lianas na copa. Para as castanheiras com $<2/3$ da copa coberta por lianas a variação foi representativa. As árvores com $>2/3$ de lianas na copa demonstraram pouca variação de crescimento, e essa diferença pode ser atribuída a limitação de crescimento ocasionada pelo peso das lianas na copa das árvores.

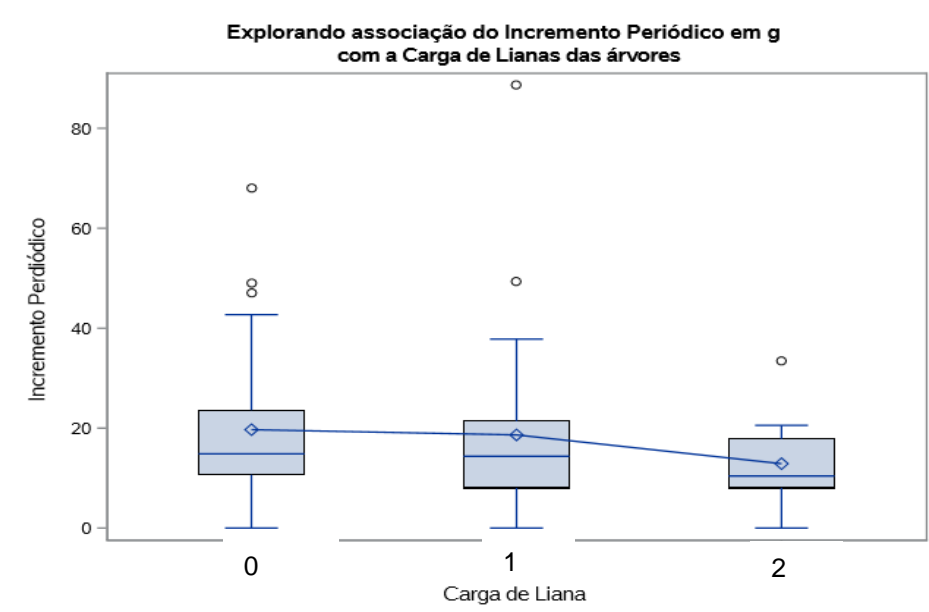


Figura 20. Associação do incremento periódico em área basal (IPAg/cm².ano⁻¹) das castanheiras com as diferentes cargas de lianas presentes na copa.

Kainer et al. (2014) constataram que a carga de lianas em níveis severos na copa pode influenciar no desenvolvimento e na produtividade das castanheiras e neste estudo, considerando as castanheiras regenerantes estudadas a influência da presença de lianas no fuste e na copa pode resultar em um maior tempo para o ingresso dessas árvores na classe produtiva ($d > 40$ cm) e em uma limitação na produção de frutos das mesmas. Por isso, é importante a indicação de tratamentos silviculturais como a eliminação dessas lianas e a liberação de espaço dessas castanheiras por meio do corte de árvores vizinhas.

Kainer et al. (2006) associando a carga de lianas com a produção de frutos, crescimento em diâmetro e atributos da copa de castanheiras nativas na Amazônia, encontraram que as árvores que apresentaram uma maior quantidade de lianas produziram menos frutos. Os autores não encontraram uma relação significativa entre o diâmetro e carga de lianas, mas concluíram que o corte das mesmas pode aumentar a fecundidade e a produção de frutos. Considerando que neste trabalho não foi encontrada uma relação significativa com o diâmetro, mas com o incremento periódico anual em área basal e observado um maior incremento médio nas árvores sem lianas, esse resultado confirma as observações realizadas no trabalho de Kainer et al. (2006).

As características de forma da copa das castanheiras foram associadas com os valores de incremento periódico anual em área basal (IPAg/cm².ano⁻¹). As árvores com forma de copa perfeita e boa apresentaram a melhor associação, demonstrada pela maior variação de valores de incremento periódico. As copas com forma tolerável, ruim e muito ruim não apresentaram diferenças em suas associações, segundo o gráfico da Figura 21.

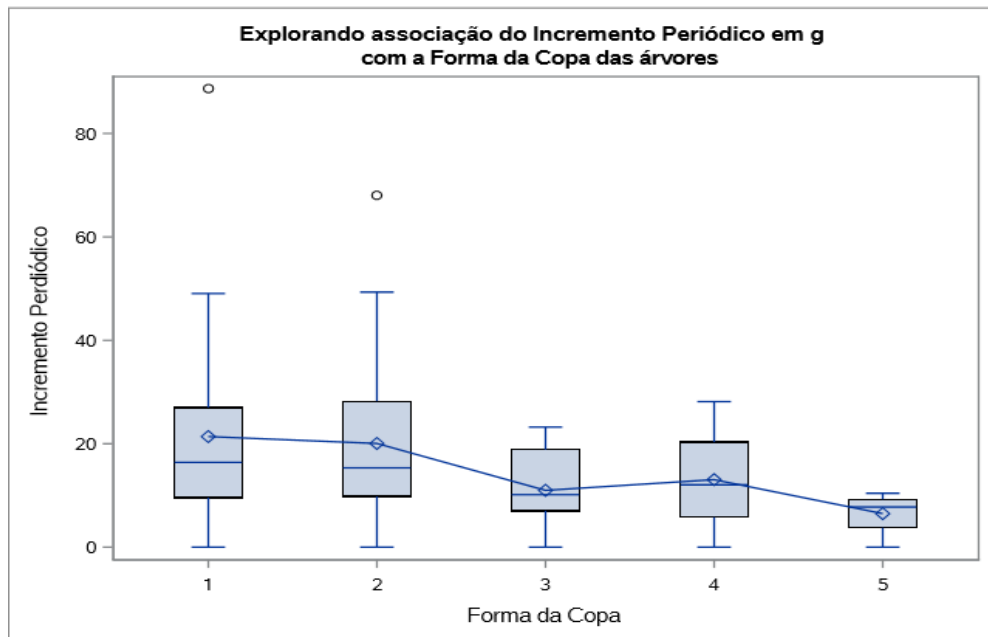


Figura 21. Associação do incremento periódico anual em área basal (IPAg/cm².ano⁻¹) das castanheiras com a forma da copa das árvores.

A sanidade do fuste, observada nas castanheiras, não apresentou uma associação significativa com o incremento periódico anual em área basal (IPAg/cm².ano⁻¹). Dentre todas as árvores, apenas em uma foi observado um ataque realizado por insetos, as demais não foram encontradas evidências de ataques realizados por insetos ou fungos (Figura 22).

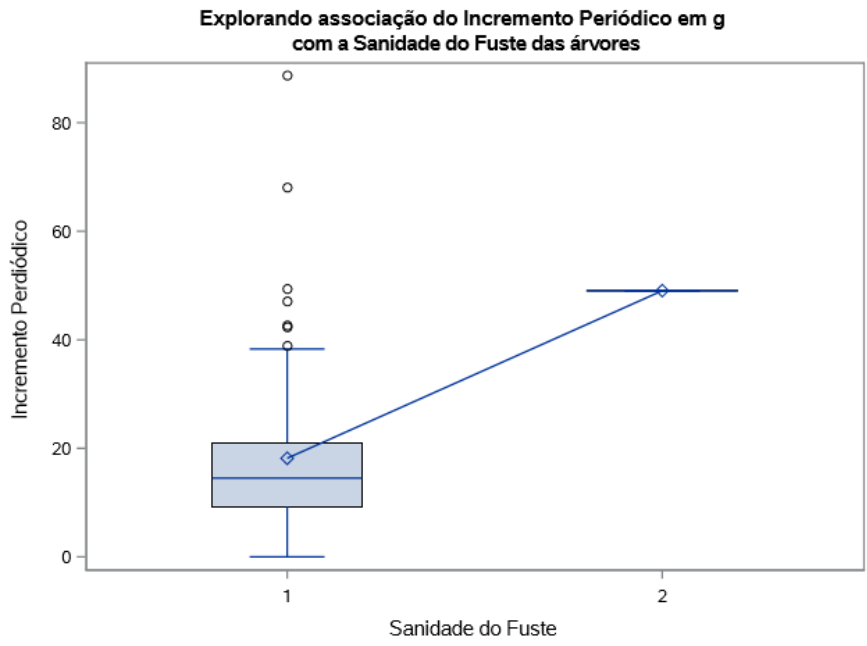


Figura 22. Associação do incremento periódico anual em área basal (IPAg/cm².ano-1) das castanheiras com a sanidade do fuste das árvores.

5 CONCLUSÕES

As castanheiras regenerantes do Seringal Cachoeira apresentaram uma maior taxa média de incremento em diâmetro na classe >30 até 40 cm de d (1,05 cm/ano), com uma menor média de incremento em diâmetro nas classes >10 até 20 cm (0,77cm/ano) e >20 até 30 cm de diâmetro (0,97 cm/ano). A idade apresentou grande variação entre as árvores, apresentando idades mínimas de 11 anos até 36 anos, consideradas relativamente jovens.

As características morfométricas das castanheiras demonstraram grande variação de crescimento em relação ao diâmetro das árvores, principalmente para proporção de copa e diâmetro de copa. Os aspectos morfométricos demonstraram castanheiras estáveis, com uma boa vitalidade e um bom potencial produtivo, mas que necessitam de liberação de espaço para um melhor desenvolvimento. A competição foi maior nas castanheiras com menor classe de diâmetro e os índices de competição que apresentaram uma maior influência no diâmetro foram o de Hegyi e Glover e Hool, sendo que o índice de BAL não influenciou no crescimento em diâmetro.

Segundo o modelo do incremento periódico as variáveis que influenciaram no crescimento do incremento periódico anual em área basal IPAg ($\text{cm}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$), dos últimos cinco anos de crescimento das castanheiras, foram o d e o índice de Glover e Hool. A classe de posição social dominante apresentou a maior média de incremento periódico anual em área basal decrescendo nas classes menores. A carga de lianas também influenciou na média do IPAg, onde as árvores que apresentaram nenhuma presença de lianas demonstraram o maior incremento periódico anual em área basal e as que apresentaram uma presença severa de lianas demonstraram pouco incremento médio anual.

Com isso, reforçamos que as castanheiras regenerantes necessitam da aplicação de tratamentos silviculturais para um melhor crescimento em diâmetro destas árvores, e uma das indicações de manejo seria a liberação das árvores que estão mais suprimidas por árvores vizinhas. Assim, estas práticas podem melhorar o seu desenvolvimento para o ingresso na classe de diâmetro de maturidade reprodutiva em um menor tempo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBIERO-JÚNIOR, A.; GONZÁLEZ, A. V.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; CAMARGO, J. L. C.; TOMAZELLO-FILHO, M. What is the temporal extension of edge effects on tree growth dynamics? A dendrochronological approach model using *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke trees of a fragmented forest in the Central Amazon. **Ecological Indicators**, v. 101, p. 133-142, June/2019.
- ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. 25. Oxford Forestry Institute, p. 124, 1992.
- ALIG, R. J.; PARKS, J. P.; FARRAR-JÚNIOR, M. R.; VASIEVCH, M. J. **Regional timber yield and cost information for the South: Modeling techniques**. Washington, USDA, pag. 28, 1984.
- ALVARADO, R. J. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, São Paulo, SP, 2009.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711-728, December, 2013.
- ALVES, L. F.; METZGER, J. P. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, Campinas, SP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, p. 1-26, Maio/2006.
- ANDRADE, Victor L. Caetano et al. Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. **PloS one**, Assam University, India, v. 14, n. 4, p.0214128, April/2019.
- ASSMANN, E. **Waldertargskunde**. München: **Bayr. Landw**, 490 p. 1961.
- BALÉE, W. L. **Footprints of the forest: Ka'apor ethnobotany-the historical ecology of plant utilization by an Amazonian people**. Columbia University Press, Pag. 35-57, 1994.
- BAYMA, M. M. A.; MALAVAZI, F. W.; SÁ, C. P.; FONSECA, F. L.; ANDRADE, E. P.; WADT, L. H. O. Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil, **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, PA, v. 9, n. 2, p. 417-426, maio-agosto, 2014. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/996473>>. Acesso em: 10, Abril, 2019.
- BENTOS, T. V.; NASCIMENTO, H. E. M.; WILLIAMSON, G. B. Tree seedling recruitment in Amazon secondary forest: Importance of topography and gap

- micro-site conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 287, p. 140–146, January/2013.
- BITTERLICH, W. Die Winkelzahlprobe. **Algemeine Forst und Holzwirtschaftliche Zeitung**, Wein, v.59, n.1/2, p.4-5, 1948.
- BOBROWIEC, P.; GRIBEL, R. Effects of different secondary vegetation types on bat community composition in Central Amazonia, Brazil. **Animal Conservation**, v. 13, n. 2, p. 204-216, March/2010.
- BONGIOLO, E. S.; KAINER, K. A.; WENDELL, C.; STAUDHAMMER, C. L.; WADT, L. H. O. Swidden fallow management to increase landscape-level Brazil nut productivity. **Forest Ecology and Management**, v. 464, n. 1, p. 256–267, May/2020.
- BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. de. A idade das árvores: importância e aplicação. Colombo: Embrapa Florestas, In: **Documentos 75**, Novembro, 2002, 25 p.
- BOWMAN, D. M. J. S.; BRIENEN, R. J. W.; GLOOR, E.; PHILLIPS, O. L.; PRIOR, L. D. Detecting trends in tree growth: not so simple. **Trends in plant science**, v. 18, n. 1, p. 11-17, January/2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Florestas do Brasil em resumo**. Serviço Florestal Brasileiro – Brasília, 2019. 207 p., il.; 9 x 12,5 cm.
- BREITSPRECHER, A.; BETHEL, J. S. Stem-Growth Periodicity of Trees in a Tropical Wet Forest of Costa Rica. **Ecology**, v. 71, n. 3, p. 1156–1164, June/1990.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 2, p. 481-493, November/2006a.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, v. 146, n. 1, p. 1, July/2005.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 226, n. 1, p. 256–267, May/2006b.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. **Oecologia**, v. 163, n. 2, p. 485-496, December/2010.
- BRIENEN, R. J.; LEBRIJA-TREJOS, E.; VAN BREUGEL, M.; PÉREZ-GARCÍA, E. A.; BONGERS, F.; MEAVE, J. A.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. The potential of tree rings for the study of forest succession in southern Mexico. **Biotropica**, v. 41, n. 2, p. 186-195, March/2009.
- BROSE, M. E. Cadeias produtivas sustentáveis no desenvolvimento territorial: a castanha na Bolívia e no Acre, Brasil. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 17, n. 1, p. 77-86, jan./mar. 2016.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of tropical ecology**, v.6, n. 1, p. 1-32, February/1990.
- BURGER, H. Baumkronen und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. d. Schweiz. Zentralbl. forstl. **Versuchswes. S**, p. 141-173, 1939.
- CAI, Z.; SCHNITZER, S. A.; BONGERS, F. Seasonal differences in leaf-level physiology give lianas a competitive advantage over trees in a tropical seasonal forest. **Oecologia**, v. 161, n. 1, p. 25-33, May/2009.

- CARDOSO JUNIOR, R. C.; FERREIRA, M. S. G.; JARDIM, F. C. S.; SILVA, M. F. F.; ESQUERDO, L. N. Silvicultural treatment and diameter increment of *Platonia insignis* Mart. (Clusiaceae) “bacurizeiro” on two secondary forests on Bragança, PA, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 889–898, Julho/2014.
- CASTRO, R. SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F. Competição em Nível de Árvore Individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Oeiras, Portugal, v. 22, n. 1, p. 43–66, jun. 2014.
- CAVALCANTE, M. C.; OLIVEIRA, F. F.; MAUÉS, M. M.; FREITAS, B. M. Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) trees in Central Amazon Rainforest. **Psyche: a journal of entomology**, v. 2012, Article ID 978019, 9 pages March/2012.
- CHOI, J.; LORIMER, C. G.; VENDERWERKER, J.; COLE, W.G.; MARTIN, J.L. A crown model for simulating long-term stand and gap dynamics in northern hardwood forests. **Forest Ecology and Management**, v. 152, n. 1, p. 235–258, 15 out. 2001.
- CLARK, D. A. Detecting Tropical Forests’ Responses to Global Climatic and Atmospheric Change: Current Challenges and a Way Forward. **Biotrópica**, v. 39, n. 1, p. 4-19, May/2007.
- CONDÉ, T. M.; DE LIMA, M. L. M.; DE LIMA NETO, E. M.; TONINI, H. Equações morfométricas das espécies Andiroba (*Carapa guianensis aubl*) e Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* hbk) em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, Universidade Estadual de Roraima, RR, v. 4, n. 1, pág. 71-84, Junho/2012.
- CONDÉ, T. M.; LIMA, M. L. M.; LIMA NETO E. M.; TONINI, H. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Agro@mbiente**, Universidade Federal de Roraima, RR, v. 7, n. 1, p. 18-27, Janeiro-Abril/2013.
- CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 11, p. 1939-1949, December/2011.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G; DA CUNHA, T. A. Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v. 9, n. 1, p. 110-116, 2014.
- 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, p. 28-35, July/2008.
- CUNHA, T. A. da; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* na Amazônia ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, AM, v. 43, n. 1, 3 abr. 2012.
- CUNHA, T. A. da; FINGER, C. A. G.; HASENAUER, H. Tree basal area increment models for Cedrela, Amburana, Copaifera and Swietenia growing in the Amazon rain forests. **Forest Ecology and Management**, v. 365, p. 174–183, April/2016.
- CUNHA, T. A. da. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em

- Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.
- DALY, D. C.; MITCHELL, J. D. Lowland vegetation of tropical South America. Imperfect balance: landscape transformation in the Pre-Columbian Americas, Columbia University Press, Nova York, p. 391-453, 2000.
- DAWKINS, H. C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. **The Commonwealth Forestry Review**, p. 318-333, 1963.
- DAWKINS, H. C. **The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda Oxford**: University of Oxford, Imperial Forestry Institute, 155 p, 1958.
- DINIZ, T. D.; BASTOS, T. X. Contribuição ao conhecimento do clima típico da castanha do Brasil. **Boletim Técnico IPEAN**, Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte (Brazil), v. 64, p. 59-71, 1974.
- DIONISIO, L. F. S.; CONDÉ, T. M.; GOMES, J. P.; MARTINS, W. B. R.; DA SILVA, M. T.; DA SILVA, M. W. Caracterização morfométrica de árvores solitárias de *Bertholletia excelsa* HBK no sudeste de Roraima. **Revista Agro@mbiente**, Universidade Federal de Roraima, RR, v. 11, n. 2, 163-173, 2017.
- DRUSZCZ, J. P.; NAKAJIMA, N. Y.; NETO, S. P.; JÚNIOR, M. Y. Comparação entre os métodos de amostragem de Bitterlich e de área fixa com parcela circular em plantação de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 739-754, out/dez. 2010.
- DUBOIS, J. C. L. **Preliminary management forest guidelines for the National Forest of Tapajós**. Belém, PA, 1976.
- DUCKE, A. Plantas de cultura pré-colombiana na Amazônia brasileira: notas sobre as espécies ou formas espontâneas que supostamente lhes teriam dado origem. **Boletim Técnico**, n. 8, Instituto Agrônômico do Norte, Belém, PA Junho/1946.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 8, n. 1, p. 55–66, 1998.
- DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, n. 2, p. 79-89, 2004.
- ECKSTEIN, D. E. D. SASS, U.; BAAS, P. **Growth periodicity in tropical trees**. (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995.
- EDWARDS, D. P. MASSAM, M. R.; HAUGAASEN, T.; GILROY, R. R. Tropical secondary forest regeneration conserves high levels of avian phylogenetic diversity. **Biological Conservation**, v. 209, p. 432-439, May/2017.
- FERNANDES, E. T. M. B; WADT, LH de O.; MARTINS, K. Diversidade morfológica e produção de *Bertholletia excelsa* HBK (Lecythidaceae) no sudeste do Estado do Acre-Brasil. **Anais**. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, Caxambu, MG, 2007.
- FERREIRA, R. R. M.; BARDALES, N. G.; SILVA, L. M. da.; MIQUELONI, D. P.; WADT, L. H. de O. Levantamento de solos semidetalhado sob crescimento de castanhal nativo na região leste do Acre. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, n. 57, Rio Branco, Acre, p. 30, 2017.

- FICHTLER, E.; CLARK, D. A.; WORBES, M. Age and long-term growth of trees in an old-growth tropical rain forest, based on analyses of tree rings and ^{14}C . **Biotropica**, v. 35, n. 3, p. 306-317, September/2003.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. de S.; RETSLAFF, F. de S.; SANTOS, T. L.; STEPKA, T. F. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucária angustifolia* no Paraná, **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, RJ, v. 24, 2017.
- FIorentin, L. D. MIRANDA, R. O. V. de.; JUVANHOL, R. S.; NETTO, S. P.; NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. do. A.; Método de amostragem de Bitterlich aplicado em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, MG, v.34, n.3, p.407-420, 2016.
- FONSECA, W.; REY BENAYAS, J. M.; ALICE, F. E. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 8, p. 1400–1408, 2011.
- GILROY, J. J.; FELICITY, P. W.; WHEELER, E. C.; BAPTISTE, B. L. G.; URIBE, C. A. M.; HAUGAASEN, T.; EDWARDS, D. P. Cheap carbon and biodiversity co-benefits from forest regeneration in a hotspot of endemism. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 6, p. 503–507, jun. 2014.
- GLOVER G. R.; HOOL, J. N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, Bethesda, v. 25, p. 275-282, jun. 1979.
- GOMÉZ, J. J. V.; QUISPE, E. D. A.; MUÑOZ, J. A. B.; CORCCA, J. C. C.; MAMANI, M. D. C. MORFOMETRÍA DE *Bertholletia excelsa* H.B.K., APLICACIONES EN LA SELECCIÓN DE ARBOLES SEMILLEROS EN UNA CONCESIÓN CASTAÑERA UBICADA EN EL CENTRO POBLADO PLANCHÓN – DISTRITO LAS PIEDRAS – TAMPOTA – MADRE DE DIOS. **EL CEPROSIMAD**, v. 3, n. 1, p. 23-25, 2015.
- GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest ecology and management**, v. 148, n. 1-3, p. 185-206, 2001.
- GUEDES, M. C., NEVES, E. D. S.; RODRIGUES, E. G.; PAIVA, P.; COSTA, J. B. P.; FREITAS, M. F.; de 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**, Belém, PA, v. 9, n. 2, p. 381-398, maio-ago. 2014. Disponível em: ><https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/998729/1/CPAFAP2014Castanhanarooca.pdf>>. Acesso em: 15, Março, 2019.
- GUPTA, R.; SHARMA, L. K. The process-based forest growth model 3-PG for use in forest management: A review. **Ecological Modelling**, v. 397, p. 55-73, April/2019.
- HASENAUER, H. **Sustainable forest management: Growth models for Europe**. Springer, Berlin. 389 pp, 2006.
- HAUGAASEN, J. M. T.; HAUGAASEN, T.; PERES, C. A.; GRIBEL, R.; WEGGER, P. Fruit Removal and Natural Seed Dispersal of the Brazil Nut Tree (*Bertholletia excelsa*) in Central Amazonia, Brazil. **Biotropica**, Nova Jersey - EUA, v. 44, n. 2, p. 205–210, 1 mar. 2012.
- HAUGAASEN, J. M. T.; HAUGAASEN, T.; PRES, C. A.; GRIBEL, R. Seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) by scatter-hoarding

- rodents in a central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 26, n. 03, p. 251–262, March/2010.
- HEGYI, F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. (Ed.), **Growth Models for Tree and Stand Simulation**. Royal College of Forestry; 1974, p: 74–90
- HÉRAULT, B.; BACHELOT, B.; POORTER, L.; ROSSI, V.; BONGERS, F.; CHAVE, J.; PAINE, C. E. T.; WAGNER, F.; BARALOTO, C. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. **Journal of ecology**, v. 99, n. 6, p. 1431-1440, November/2011.
- HOLDAWAY, M. R. **Modeling the effect of competition on tree diameter growth as applied in STEMS**. USDA Forest Service, General Technical Report NC-94. v. 94, p. 8, 1984.
- HOLMES, R. L.; Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, p. 69-78, 1983
- IMAFLORA. **Panorama nacional da cadeia de valor da castanha-do-brasil**, Piracicaba, SP, Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, 60p, 2016.
- IMAÑA ENCINAS, J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores, **Comunicação Técnicas florestais**, Brasília, DF, Universidade de Brasília, v.7, n.1, dezembro de 2005.
- JARDIM, F. C. S. Natural Regeneration in tropical forests. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, PA, v. 58, n. 1, p. 105-113, 2015.
- KAINER, K. A., WADT, L. H., GOMES-SILVA, D. A.; 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, March/2006.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, 20 out. 2007.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Testing a silvicultural recommendation: Brazil nut responses 10 years after liana cutting. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 3, p. 655-663, 2014.
- KANIESKI, M. R.; SANTOS, T. L.; NETO, J. G.; SOUZA, T.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C. V. Influência da precipitação e da temperatura no incremento diamétrico de espécies florestais aluviais em Araucária-PR. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 17-25, 2012.
- LAURANCE, S. G. LAURANCE, W. F.; NASCIMENTO, H. E. M.; ANDRADE, A.; FEARNSIDE, P. M.; REBELLO, E. R. G.; CONDIT, R. Long-term variation in Amazon forest dynamics. **Journal of Vegetation Science**, v. 20, n. 2, p. 323-333, March/2009.
- LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; FEARNSIDE, P. M.; LOVEJAY, T. E.; WILLIAMSON, G. B.; MESQUITA, R. C. G.; MEYER, C. F. J.; BOBROWIEC, P. E. D.; LAURANCE, S. G. W. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. **Biological Reviews**, v. 93, n. 1, p. 223–247, May/2018.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2ª ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009, 316 p.

- MARTINS, F B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 9, p. 1089-1098, Setembro/2011.
- MARTINS, L.; SILVA, Z. P. G. E.; SILVEIRA, B. C. Produção e comercialização da castanha do brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K) no estado do Acre-Brasil. In: XLVI CONGRESSO DA SOVIDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2008, Rio Branco, **Anais eletrônicos**. Disponível em: < <https://ageconsearch.umn.edu/record/109795/>> . Acesso em: 15 Novembro, 2019.
- MATTOS P.P.; BRAZ E.M. **Reunião técnica temática: anéis de crescimento e clima** [online]. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2012. Disponível em: > www.bibliotecaflorestal.ufv.br/brbitstream/handle/123456789/5425/Documentos_236.pdf >. Acesso em: 10 Dez. 2019.
- NASCIMENTO, M. R. G.; RODRIGUES DA, S. L. C.; DA SILVEIRA, S. B. L.; WOJCIECHOWSK, J. C.; PÉLLICO, N. S.; MACHADO, do A. S. Efeito da árvore marginal nos estimadores populacionais obtidos por métodos de amostragem de área variável. **Cerne**, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, v.21, n. 1, p. 125-131, 2015.
- MESQUITA, R. C. G.; GANADE, K. I. G.; WILLIAMSON, G. B. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. **Journal of Ecology**, v. 89, n. 4, p. 528–537, December/2001.
- MONSERUD, R. A.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 80, n. 1, p. 57–80, 1996.
- MONTGOMERY, R. A.; CHAZDON, A. B. Forest Structure, Canopy Architecture, and Light Transmittance in Tropical Wet Forests. **Ecology**, v. 82, n.10, p. 2707–2718, 2001.
- MORI, S. A.; PRANCE, T. G. Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). **Advances in Economic Botany**, v. 8, p. 130-150, January/1990.
- MOTZ, K.; STERBA, H.; POMMERENING, A. Sampling measures of tree diversity. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 11, p. 1985-1996, November/2010.
- MÜLLER, C. H. Castanha-do-brasil: estudos agrônômicos, **CPATU-Documento 1**, Centro de Pesquisa do Trópico úmido, Embrapa, Belém, PA, 25 p. Agosto/1981.
- 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, 2000.
- NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRAO, E. A. S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio (Sweden)**, v. 20, n. 6, p. 248-255, 1991.
- NEVES, E. de S.; WADT, L. H. de O.; GUEDES, M. C. Estrutura populacional e potencial para o manejo de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhais nativos do Acre e Amapá. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 44, n. 109, p. 19-31, março/2016.
- OLIVEIRA, L. C. de. **Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de**

- 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós.** 2005. 183 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, USP, Campinas, SP, 2005.
- OLIVEIRA, R. **Dinâmica da regeneração e estrutura genética de Castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em duas populações exploradas no Vale do Rio Acre.** 2011, 60 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo do Recursos Naturais). Rio Branco, Universidade Federal do Acre, 2011.
- PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest ecology and management**, v.261, n.3, p.508-514, February/2011.
- PEÑA-CLAROS, M.; BOOT, R. G. A.; DORADORA-LORA, J.; ZONTA, A. Enrichment planting of *Bertholletia excelsa* in secondary forest in the Bolivian Amazon: effect of cutting line width on survival, growth and crown traits. **Forest Ecology and Management**, v. 161, n. 1-3, p. 159-168, May/2002.
- PERES, C. A.; BAIDER, C.; Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in southeastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 4, p. 595-616, July/1997.
- PICKETT, S. T. A.; KOLASA, J. Structure of theory in vegetation science. In: **Progress in theoretical vegetation science**, v. 11, n 83, p. 7-15, March/1990.
- POSEY, D. A. Indigenous management of tropical forest ecosystems: the case of the Kayapó indians of the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 3, n. 2, p. 139-158, June/1985.
- PUTZ, F.E.; The natural history of lianas on Barro Colorado Island, Panama. **Ecology**, v. 65, n. 6, p.1713-1724, 1984.
- QUICKE, H. E.; MELDAHL, R. S.; KUSH, J. S. Basal area growth of individual trees: a model derived from a regional longleaf pine growth study. **Forest science**, v. 40, n. 3, p. 528-542, 1994.
- RIBEIRO, M. B. N. **Ecologia, manejo e sustentabilidade da exploração da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) pelos índios kayapó, Sudeste da Amazônia.** Tese (Doutorado em Ecologia) 2011. 155 p. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, 2011.
- RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P.; MAGNUSSON, W.; Brazil nut stock and harvesting at different spatial scales in southeastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 319, p. 67-74, May/2014.
- RINN, F. TSAP-Win. Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. Version 4. 6X for Microsoft Windows. **User reference**, 2013.
- ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 19, n. 4, p. 473-480, 30 dez. 2009.
- ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, v. 25, n. 1, p. 3-16, 1 fev. 2011.
- SALOMÃO, R. de P. Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. & B. ("Castanheira") nas regiões de Carajás e Marabá. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica**, Belém, PA, v. 7, n. 1, p. 47-68, 1991.
- SALOMÃO, R. de P.; VIEIRA, I. C. G.; BRIENZA JUNIOR, S.; AMARAL, D. D do.; SANTANA, A. C. Sistema capoeira classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do

- Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 3, n. 3, p. 297-397, set.-dez/2012.
- SAS/STAT. **User's guide** - release 9.1.3 edition. Cary N.C.: SAS Institute Inc. 2004.
- SCHNITZER, S.A; BONGERS, F.A. The ecology of lianas and their role in forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 17, n. 5, p. 223-230, May/2002.
- SCHÖNGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA-JÚNIOR, S. F.; HAUGAASEN, T. Age and Growth Patterns of Brazil Nut Trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 47, n. 5, p. 550-558, September/2015.
- SCOLES, R. Do Rio Madeira ao Rio Trombetas, novas evidências ecológicas e históricas da origem antrópica dos castanhais amazônicos. **Novos Cadernos NAEA**, v. 14, n. 2, p. 265-282, 11 abr. 2016.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. Human Influence on the Regeneration of the Brazil Nut Tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) at Capanã Grande Lake, Manicoré, Amazonas, Brazil. **Human Ecology**, v. 43, p:843–854, November/2015.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 265, p. 71–81, 1 fev. 2012.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. N. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, Pará v. 6, n. 3, p. 273-293, Set.-Dez/2011.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population structure of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) stands in two areas with different occupation histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 39, n. 4, p. 455-464, June/2011.
- SILVEIRA, B. D.; FLORIANO, E. P.; NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T.; ROSOT, N. C.; GRACIOLI, C. R. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia claussenii* em um fragmento de floresta semidecidual, RS. **Floresta**, Curitiba , PR, v. 45, n.2, p: 373-382, Abr.-Jun./2015.
- 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, May/2003.
- SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C.; REIS, M. S. Classificação da vegetação secundária em estágios de regeneração da Mata Atlântica em Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 3, p. 369–378, Julho/Setembro2013.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**, 2ª ed. Viçosa - MG, 2011, 272 p.
- SPATHELF, P.; NUTTO, L.; SELING, I. Condução do crescimento em diâmetro de *Eucalyptus grandis* com base em árvores individuais. SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, v. 1, 2000, **Anais**, Santa Maria – UFSM, p. 471-490, 2000.
- SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v. 489, n. 7415, p. 282–285, set. 2012.
- STERBA, H.; BLAB, A.; KATZENSTEINER, K. Adapting an individual tree growth model for Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in pure and mixed

- species stands. **Forest ecology and management**, v. 159, n. 1-2, p. 101-110, April/2002.
- SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; PUTZ, F. E. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. **Journal of tropical Ecology**, v. 3, n. 4, p. 359-366, November/1987.
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 7, p. 633-638, Julho/2005.
- TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P. da. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, 11 dez. 2008.
- TONINI, H.; PEDROZO, C. A. Variações anuais na produção de frutos e sementes de Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) em florestas nativas de Roraima. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p: 133-144, Fevereiro/2014.
- UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. **Journal of Ecology**, v. 76, n. 3, p. 663-681, 1988.
- VACCHIANO, G.; MAGNANI, F.; COLLALTI, A. Modeling Italian forests: state of the art and future challenges. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 5, n. 3, p. 113, April/2012.
- VATRAZ, S.; SILVA, J. N. M.; ALDER, D. COMPETIÇÃO VERSUS CRESCIMENTO DE ÁRVORES EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NO ESTADO DO AMAPÁ-BRASIL. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 28, n.3, 1118-1127, Julho/Setembro2018.
- VENTUROLI, F.; FRANCO, A. C.; FAGG, C. W. Tree diameter growth following silvicultural treatments in a semi-deciduous secondary forest in central Brazil. **Cerne**, Lavras, MG, v. 21, n. 1, p. 117-123, Março/2015.
- VETTER, R. E. **Untersuchungen über Zuwachsrhythmen an tropischen Bäumen in Amazonien**. PhD Dissertation, University of Freiburg, Freiburg, Germany, 1995.
- VIEIRA, I. C. G.; PROCTOR, J. Mechanisms of plant regeneration during succession after shifting cultivation in eastern Amazonia. **Plant Ecology**, v. 192, n. 2, p. 303-315, July/2007.
- WADT, L. H. O.; BALDONI, A. B.; SILVA, V. S.; CAMPOS, T.; MARTINS, K.; AZEVESO, V. C. R.; MATA, L. R.; BOTIN, A. A.; HOOGERHEID, E. S. S.; TONINI, H.; SEBBENN, A. M. Mating system variation among populations, individuals and within and among fruits in *Bertholletia excelsa*. **Silva e Genetica**, v. 64, n. 1-6, p. 248-259, 2015.
- WADT, L. H. de O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n. 1, p. 332-346, January/2008. Disponível em: >
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320707004132> >.
 Acesso em: 23, Outubro, 2019.
- WADT, L. H. de 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, 1 May/2018.

- WADT, L. H. de 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.
- WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; JUNIOR, J. A. K.; VANCLAY, J. K. **Forest growth and yield modeling**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.
- WESSELINGH, F. P.; HOORN, C.; KROONENBERG, S. B.; ANTONELLI, A.; LUNDBERG, J. G.; VONHOF, H. B.; HOOGHMSTRA, H. **On the origin of Amazonian landscapes and biodiversity: a synthesis**, Chichester, p: 421-431, 2010.
- WORBES, M.; How to measure growth and dynamics in tropical trees. **IAWA Journal**, v.16, n. 4, p. 357-351, January/1995.
- WYKOFF, W. R. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. **Forest science**, v. 36, n. 4, p. 1077-1104, December/1990.
- ZUIDEMA P. A; BRIENEN R. J.; SCHÖNGART J. Tropical forest warming: looking backwards for more insights. **Trends in Ecology and Evolution**. v.27, n.4, p: 193-194, 2012.
- ZUIDEMA, P. A. **Ecology and management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Series 6, Riberalta - Bolívia, 2003, 112 p.

Apêndice

Apêndice A – Registro de informações das capoeiras.

REGISTRO DE DADOS DA CAPOEIRA		
MESTRATO CIENTIA FLORESTAL	INFORMAÇÕES PRESTADAS PELOS MORADORES	
	Responsável.....	Área (ha):Idade:.....Densidade de castanheiras (ind/ha):.....
	Capoeira:.....	Classe de sucessão:
Comunidade:	Data:.././.....	
HISTÓRICO DE USO DA CAPOEIRA		

Apêndice B - Registro das medições de variáveis dendrométricas, posição social, carga de lianas, forma da copa e sanidade do fuste.

SERINGAL CACHOEIRA - COLETA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS														
Responsável:.....			Data:...../...../.....			Comunidade:.....Capoeira:.....								
Nº ARVORE	DAP (cm)	ALTURA TOTAL (m)	COP. COPA (m)	POSIÇÃO SOCIAL (A)	INFESTAÇÃO LIANA (B)	FORMA DA COPA (C)	SANIDADE (D)	COORDENADA UTM	DIÂMETRO DA COPA (m)					
									1	2	3	4	Média	

- A) 1. DOMINANTE, 2. CO-DOMINANTE, 3. DOMINADA, 4. SUPRIMIDA
- B) 1. LIVRE DE LIANA, 2. PRESENÇA NO FUSTE E COPA, 3. PRESENÇA NO FUSTE E COPA SEVERA
- C) 1. PERFEITA, 2. BOA, 3. TOLERÁVEL, 4. POBRE, 5. MUITO RUIM
- D) 1. FUSTE LIVRE DE ATAQUE, 2. FUSTE COM ATAQUE DE INSETOS, 3. FUSTE COM ATAQUE DE FUNGO, 4. FUSTE COM ATAQUE DE INSETOS E FUNGO

Apêndice C – Registro do levantamento das árvores competidoras.

REGISTRO DE ÁRVORES COMPETIDORAS	
MESTRATO CIENCIA FLORESTAL	DADOS DA ARVORE - OBJETO
	Responsável.....
	Capoeira:.....
	Comunidade:.....

ARVORE Nº	NOME COMUM / ESPECIE	DAP (cm)	DISTÂNCIA HORIZONTAL L (m)	OBSERVAÇÃO
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Apêndice D - Coeficientes de correlação de Pearson entre o diâmetro a altura de 1,30 m (d) e as variáveis morfométricas, qualitativas e os índices de competição de todas as castanheiras levantadas nas áreas de capoeiras do Seringal Cachoeira, Xapuri – Acre.

Variáveis	r
h	0,9030**
h1	0,8774**
Posição social	-0,7055**
Forma da copa	-0,5120**
Carga de lianas	0,1204 ^{ns}
Sanidade do fuste	0,1653 ^{ns}
DC	0,8356**
CC	0,7167**
PC	-0,1442 ^{ns}
GE	-0,6428**
IS	-0,5653**
IA	-0,2692**
FC	-0,1239 ^{ns}
BAL	0,1495 ^{ns}
HEG	-0,4465**
GLH	0,8457**
(nº anéis)	0,8306**

r: coeficiente de correlação linear de Pearson; h: altura total; h1: altura comercial; DC: diâmetro da copa; CC: comprimento da copa; PC: proporção da copa; GE: grau de esbeltez; IS: índice de saliência; IA: índice de abrangência; FC: forma de copa; BAL: índice *basal área larger*; HEG: índice de Hegyi; GLH: índice de Glover e Hool; ^{ns}: valor de r não significativo; **: valores de r significativos a 0,01 de probabilidade.