

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS**

**ESTIMATIVA DA ÁREA DA FOLHA E CARACTERÍSTICAS
MORFOMÉTRICAS DE CASTANHEIRA-DO-BRASIL NO NORTE DO
ESTADO DO MATO GROSSO**

Luana Bouvié
Engenheira Florestal

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

**ESTIMATIVA DA ÁREA DA FOLHA E CARACTERÍSTICAS
MORFOMÉTRICAS DE CASTANHEIRA-DO-BRASIL NO NORTE DO
ESTADO DO MATO GROSSO**

Luana Bouvié

Orientara: Prof^a. Dr^a. Andréa Carvalho da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Adilson Pacheco de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Agronomia.

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B782e Bouvié, Luana.
ESTIMATIVA DA ÁREA DA FOLHA E CARACTERÍSTICAS
MORFOMÉTRICAS DE CASTANHEIRA-DO-BRASIL NO NORTE DO ESTADO
DO MATO GROSSO / Luana Bouvié. -- 2014
77 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Andréa Carvalho da Silva.

Co-orientador: Adilson Pacheco de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Sinop, 2014.

Inclui bibliografia.

1. Modelos matemáticos. 2. análise de regressão. 3. ndicativos estatísticos. 4. Bertolethia excelsa. 5. Floresta Nativa. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Avenida Alexandre Ferronato, 1200 - Reserva 35/Distrito Industrial - Cep: 78557267 - Sinop/MT
Tel : (66) 3531-1663/ramal - Email : ppgasinop@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO :

AUTOR : Mestrando(a) Luciana Baurie

Dissertação defendida e aprovada em 16/02/2017.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador Instituição : <u>UFMT - Sinop</u>	Doutor(a)	Colocar nome e assinar <u>Andréa Carvalho da Silva</u>
Coorientador Instituição :	Doutor(a)	Colocar nome e assinar
Examinador Interno Instituição : <u>Empresa Agropecuária</u>	Doutor(a)	Colocar nome e assinar <u>Amir Roberto Baldoni Tardin</u>
Examinador Externo Instituição : <u>IFRR - Campus Palmas</u>	Doutor(a)	Colocar nome e assinar <u>GMI RAINIERES LORENZETTI</u>

SINOP, 16/02/2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUANA BOUVIÉ, nasceu em 22/06/1992, em Tangará da Serra – MT, onde cursou o ensino médio na Escola Estadual 13 de Maio de 2005 a 2008.

Em 2009 iniciou a graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* universitário de Sinop.

Obteve o título de bacharel em Engenharia Florestal em outubro de 2014 e em março de 2015 matriculou-se no curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia na Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* universitário de Sinop. Atuou como representante discente no Colegiado de Curso de pós-graduação em Agronomia no período de 2015/1 a 2016/2.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE FIGURAS	13
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	15
Introdução	15
Castanheira do Brasil.....	17
Crescimento de plantas	20
Área foliar.....	22
Referências bibliográficas	23
CAPÍTULO 2 - Estimativa da área foliar com base nas dimensões lineares da Castanheira-do-Brasil.....	30
Introdução	31
Material e Métodos.....	33
Resultados e Discussão.....	37
Conclusão	45
Referências Bibliográficas.....	45
CAPÍTULO 3 - Características Morfométricas de Castanheira em duas condições ambientais no norte do Estado do Mato Grosso	51
Introdução	52
Metodologia	54
Resultados	56
Discussão	65
Conclusão	72
Referências Bibliográficas.....	72

ESTIMATIVA DA ÁREA DA FOLHA E CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE CASTANHEIRA-DO-BRASIL NO NORTE DO ESTADO DO MATO GROSSO

Resumo: A semente da Castanha-do-Brasil é apreciada pelo seu sabor e suas qualidades nutricionais além de ser símbolo do desenvolvimento sustentável e estratégico para a conservação da Amazônia. Assim, o conhecimento da ecologia ambiental em que a espécie *B. excelsa* se encontra é de grande importância para investigação detalhada das suas interações ecofisiológicas. Nesse contexto, objetivou-se calibrar e validar modelos de estimativa da área da folha da espécie *Bertholletia excelsa* a partir das medidas lineares, em árvores de diferentes idades. Para tanto, coletou-se 750 folhas em Árvores Jovens - AJ (aquelas que ainda não iniciaram ciclos reprodutivos) e Adultas - AA (indivíduos com presença de resquícios de estruturas reprodutivas abaixo das copas, sendo cada árvore uma repetição (Capítulo 2) e também entender a influência das mudanças ambientais na arquitetura de árvores adultas da Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa*), caracterizou-se a morfometria de populações em dois sítios produtores de amêndoas, ecologicamente distintos: área de mata nativa (sob exploração de baixo impacto) e árvores isoladas em área de lavoura (desmatada) (Capítulo 3). Para calibrar as equações de área foliar, Separou-se as amostras em três classes pela distribuição de frequência da AFR e determinou-se a estatística descritiva das dimensões lineares e da área foliar. Utilizou-se regressões lineares que consideram a área foliar real (AFR) como variável dependente, e as dimensões lineares como variável independente; com a ferramenta Solver do Microsoft Excel calculou-se os coeficientes ajustados das equações. Avaliou-se o desempenho dos modelos por meio dos indicadores estatísticos: *MBE*; *RMSE* e o *dw*. A área foliar da Castanheira-do-Brasil, tanto em árvores jovens quanto em árvores adultas, pode ser mensurada de usando-se as equações $AF = (a1 \cdot C \cdot L) + a2$; $AF = a1 \cdot [(C \cdot L)^b]$; que apresentaram MBA igual a -2,0717 e -2,3176 cm²; *RMSE* de 14,3645 e 14,4092 cm e *dw* igual à 0,9999 para ambas. A espécie *Bertholletia excelsa* não apresenta polimorfismo foliar. As medidas do comprimento e da largura no centro da folha são suficientes para estimar a área do limbo. Conclui-se que nas estimativas com base em uma medida, aplica-se as seguintes equações: $AF = (0,7705 \cdot C \cdot L) + 1,8135$; $AF = (0,7544 \cdot C \cdot L) + 5,1624$; $AF = 0,7997 \cdot [(C \cdot L)^{0,9949}]$ e $AF = 0,9334 \cdot [(C \cdot L)^{0,9674}]$. E para caracterização morfométrica de matrizes características morfométricas da arquitetura de árvores adultas da Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.). Durante o mês de junho do ano 2016, amostrou-se 100 matrizes de *B. excelsa* na região sul da Amazônia, inventariadas em área de Floresta (FN) (11°34' S; 94°55'17' W), área está explorada em 2002 conforme princípios atuais do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS – Decreto Nº 1.282/1994); e outras cem árvores isoladas em área de lavoura (AA). Aferiu-se o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total e comercial (até inserção do primeiro galho), Para cada árvore-amostra foi calculado a área basal (g), a área de projeção da copa (APC), a percentagem de copa, o grau de esbeltez (GE), o índice de abrangência (IA), o índice de saliência (IS) e o índice de espaço vital (IEV).

Categorizou-se a idade das árvores de forma indireta e não destrutiva, em classes diamétricas em função da distribuição de frequência dos DAPs em cada condição fitossociológica. Calculou-se a estatística descritiva, análise de variância e gerou-se as curvas de distribuição. A estratificação dos dados em classes diamétricas para análise dos padrões morfométricos foi adequada, e encontrou-se diferença entre as condições ambientais. O diâmetro a altura do peito (168,47 cm) e a área basal (2,241 m²) são maiores na lavoura. A diferença no ambiente de crescimento não influencia na altura da copa das árvores; O diâmetro de copa médio é maior em espécimes encontrada na Floresta (33,3), apenas quando consideradas as castanheiras mais velhas (com DAP maior que 1 m). O diâmetro de copa, independente da idade da árvore e da condição ambiental, é diretamente proporcional ao diâmetro do fuste. Maiores grau de esbeltez (64,35; 39,54; 27,84 para as classes 1, 2 e 3), índices de abrangência (0,58; 0,65; 0,79 para as classes 1, 2 e 3), índices de espaço vital (1253,35; 631,02 e 456,40 para as classes 1, 2 e 3), e saliência (34,42; 24,77 e 21,24 para as classes 1, 2 e 3), ocorrem em indivíduos crescidos no ambiente da floresta. O índice de sobrevivência é maior em castanheiras de menor diâmetro (qual), tanto no ambiente lavoura quanto no da Floresta.

Palavras-chave: Modelos matemáticos, análise de regressão, indicativos estatísticos, *Bertolothia excelsa*, Floresta Nativa.

LEAF AREA ESTIMATION AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF BRAZILIAN CHESTNUT IN NORTH OF MATO GROSSO STATE

Abstract: The Brazil nut seed is appreciated for its flavor and nutritional qualities as well as being a symbol of sustainable and strategic development for the Amazonian conservation. Thus, the knowledge of the environmental ecology in which the *B. excelsa* species is found is of great importance for detailed investigation of their ecophysiological interactions. In this context, the objective was to calibrate and validate models of estimation of leaf area of the species *Bertholletia excelsa* from linear measurements, in trees of different ages. For this purpose, 750 leaves were collected in Young Trees (AJ) and Adults (AA) (individuals with remnants of reproductive structures below the crowns, each tree being a repeat (Chapter 2) and To understand the influence of environmental changes on the architecture of adult trees of the Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa*), the morphometry of populations in two ecologically distinct almond producing sites was characterized: native forest area (under low impact exploitation) and trees (Table 3). In order to calibrate the leaf area equations, the samples were divided into three classes by the frequency distribution of the AFR and the descriptive statistics of linear dimensions and leaf area were determined. Linear regressions were used, considering the real leaf area (AFR) as the dependent variable, and the linear dimensions as independent variables, with the Solver tool of Microsoft Excel, the adjusted coefficients of the equations were calculated. The performance of the models was evaluated through statistical indicators: MBE; RMSE and dw. The leaf area of Castanheira-do Brasil, in both young trees and adult trees, can be measured using the equations $AF = (a_1 * C * L) + a_2$; $AF = \alpha * [(C * L) \alpha b]$; Who had an MBA of -2.0717 and -2.3176 cm²; RMSE of 14.3645 and 14.4092 cm and dw equal to 0.9999 for both. The species *Bertholletia excelsa* does not present foliar polymorphism. Measurements of the length and width at the center of the leaf are sufficient to estimate the area of the limbus. It is concluded that in the estimations based on a measure, the following equations apply: $AF = (0.7705 * C * L) + 1.8135$; $AF = (0.7544 * C * L) + 5.1624$; $AF = 0.7997 * [(C * L) = 0.9949]$ and $AF = 0.9334 * [(C * L) = 0.9674]$. And for morphometric characterization of morphometric matrices of the adult tree architecture of the Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.). During the month of June of the year 2016, 100 matrices of *B. excelsa* were sampled in the southern region of Amazonia, inventoried in Floresta (FN) area (11 ° 34 'S, 94 ° 55 ' 17' W), area Exploited in 2002 according to the current principles of the Sustainable Forest Management Plan (PMFS - Decree No. 1.282 / 1994); And another hundred isolated trees in a planted area (AA). For each sample tree, the basal area (g), the crown projection area (APC), and the total height of the crown were measured. (IA), salience index (SI) and living space index (VFI). In the present study, the spatial distribution of the spatial variability of the spatial distribution of the spatial variability of the spatial variability of the spatial distribution of spatial variability was studied. The age of the trees was indirectly and non-destructively categorized according to the frequency distribution of DAPs in each phytosociological condition. The descriptive statistics, variance analysis and the distribution curves were calculated. The stratification of the data in diametric classes to analyze the morphometric patterns was adequate, and a difference was found between the environmental conditions. The diameter at the chest height (168.47 cm) and the basal

area (2,241 m²) are larger in the crop. The difference in the growth environment does not influence the height of the canopy; The mean crown diameter is higher in specimens found in the Forest (33.3), only when considering the older chestnut trees (with DBH greater than 1 m). The canopy diameter, regardless of tree age and environmental condition, is directly proportional to the stem diameter. The highest degree of slenderness (64.35, 39.54, 27.84 for classes 1, 2 and 3), comprehensiveness indexes (0.58, 0.65, 0.79 for classes 1, 2 and 3) , Living space indices (1253.35, 631.02 and 456.40 for classes 1, 2 and 3), and salience (34.42, 24.77 and 21.24 for classes 1, 2 and 3) , Occur in individuals grown in the forest environment. The survival rate is higher in Brazilians with smaller diameter (both), both in the forest environment and in the forest.

Palavras-chave: Mathematical models, regression analysis, statistical indices, *Bertolethia excelsa*, Native Forest.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Diâmetro a altura do peito – DAP (cm); altura até a inserção do primeiro galho – HC (m); altura total – HT (m) e coordenadas geográficas das matrizes de <i>Bertholletia excelsa</i> . Sinop-MT, 2016.....	34
Tabela 2. Modelos analíticos gerados e validados para a estimativa da área de folhas de árvores jovens e adultas de <i>Bertholletia excelsa</i> a partir de dimensões lineares do limbo foliar. Sinop-MT, 2016.....	36
Tabela 3. Dimensões lineares das folhas de <i>Bertholletia excelsa</i> em árvores jovens (AJ), para geração e validação dos modelos da estimativa da área do limbo da folha. Sinop-MT, 2016.....	38
Tabela 4. Dimensões lineares das folhas de <i>Bertholletia excelsa</i> em árvores adultas (AA), para geração e validação dos modelos de estimativa da área do limbo da folha. Sinop-MT, 2016.....	39
Tabela 5. Coeficientes ajustados (B), Erro, coeficiente de determinação (R^2) e Desvio Padrão (DP) das Regressões lineares entre AF estimada com Lc e LM para Árvores Jovens e Adultas da Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>). Sinop-MT, 2016.....	40
Tabela 6. Coeficientes ajustados (a1, a2, b) e de determinação (r^2) para os modelos de estimativa da área da folha de <i>Bertholletia excelsa</i> em diferentes estádios de desenvolvimento. Sinop-MT. 2016.....	41
Tabela 7. Indicativos estatísticos MBA; RMSE; dw e r das equações da estimativa da área foliar para Árvores Jovens e Adultas de <i>Bertholletia excelsa</i> . Sinop-MT. 2016.....	43
Tabela 8. Valor ponderado (vp) dos indicativos estatísticos MBE; RMSE; dw e r das equações de estimativa de área foliar para Árvores Jovens e Adultas de Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>). Sinop-MT, 2016.....	44

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Diâmetro a altura do peito – DAP (cm); área basal - g (m^2); altura total – HT (m); altura do fuste – HF (m); altura da copa - HC (m); diâmetro de copa médio – DC (m); área de projeção de copa - APC (m^2); porcentagem de copa – PC (%); grau de esbeltez GE; Índice de abrangência - IA; Índice de saliência - IS; Índice de espaço vital – IEV das populações de <i>Bertholletia excelsa</i> em diferentes condições	
---	--

fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA) em três classes diamétricas. 2016.....64

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1. À esquerda Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) adulta - AA sua copa, ritidoma e base; e à direita Jovem AJ sua copa, ritidoma e base. Sinop-MT, 2016.34
- Figura 2. Folhas completamente expandidas de diferentes tamanhos de *Bertholletia excelsa*). Sinop-MT, 2016.35
- Figura 3. Representação das mensurações Lineares: C - comprimento; LA - largura do ápice; LM - largura no centro e LB - largura da base da folha de *Bertholletia excelsa*. Sinop-MT, 2016.35

CAPÍTULO 3

- Figura 1. Localização da Área experimental, Floresta Nativa - **FN**: Fazenda Continental em Cláudia – MT (**A**); Área Antropizada - **AA**: Fazenda Agropecuária Castanheira, Itaúba-MT (**B**). 2016.55
- Figura 2. Distribuição de frequência do diâmetro à altura do peito – DAP (cm) de populações de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.57
- Figura 3. Distribuição de frequência do diâmetro à altura do peito – DAP (cm) e da área basal – g (m^2) para três classes diamétricas da população de *Bertholletia excelsa* nas condições fitossociológicas: Floresta Nativa(FN) e Área Antropizada (AA). 2016.58
- Figura 4. Distribuição de frequência da altura total (m) e da altura do fuste (m) para as três classes diamétricas da população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.59
- Figura 5. Distribuição de frequência da altura de copa – HC (m) e do diâmetro de copa médio – DC (m) para três classes diamétricas na população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.60
- Figura 6. Distribuição de frequência da área de projeção de copa – APC (m^2) e da porcentagem de copa – PC (%) para três classes diamétricas de população de

Bertholletia excelsa em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.	61
Figura 7. Distribuição de frequência do grau de esbeltez – GE e do índice de abrangência – IA, para três classes diamétricas da população de Bertholletia excelsa em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.....	62
Figura 8. Distribuição de frequência do índice de saliência – IS e do índice de espaço vital – IEV para três classes diamétricas da população de Bertholletia excelsa em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.....	63

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

Introdução

A castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. - Lecythidaceae) produz sementes comestíveis, muito apreciadas pelo seu sabor e valor nutricional, ricas em proteínas e selênio (WADT e KAINER, 2009). Seu fruto tem uso múltiplo, com potencial para produção de carvão (FAUSTINO e WADT, 2014), substrato agrícola e adubo orgânico (MENDES et al., 2007; BOUVIÉ et al., 2016). Além disso, o óleo fixo extraído de suas sementes é de interesse da indústria cosmética e farmacêutica (BAYMA et al., 2014).

A espécie ocorre em matas de terra firmes da bacia amazônica e das Guianas, em agrupamentos denominados de castanhais e, no Brasil destaca-se socialmente e economicamente como símbolo da produção florestal não madeireira e do desenvolvimento sustentável e estratégico para a conservação da floresta (DUCHELLE et al., 2011).

Diante da preocupação com o manejo da diversidade genética, com a sustentabilidade das áreas de cultivo/coleta e com a certificação do produto para o mercado internacional, *B. excelsa* tornou-se alvo de estudo no âmbito de sua fenologia, desenvolvimento, recrutamento e regeneração de plântulas (ZUIDEMA e BOOT, 2002; WADT et al., 2008).

Peres et al. (2003) analisaram 23 populações de castanheira (*Bertholletia excelsa*) espalhadas pela amazônia brasileira, peruana e boliviana. Os autores mostraram que a intensidade da exploração das sementes são os principais determinantes da estrutura e do tamanho da população e que a exploração tornou o recrutamento juvenil insuficiente para manter as populações a longo prazo.

Cotta et al. (2008) estudando a regeneração de castanheiras em duas áreas de uso múltiplo no Acre, concluíram que a altura e o diâmetro dos indivíduos jovens de *B. excelsa* foram positivamente relacionados à disponibilidade de luz e sugeriram que os ambientes em pousio podem proporcionar condições favoráveis para a regeneração de *B. excelsa*.

Ribeiro et al. (2014) utilizaram imagens de satélite de alta resolução para acompanhar a abundância de castanheiras no sul da Amazônia, dentro dos territórios de três comunidades indígenas *Kayapós*. A partir disso, os autores pretenderam estimar a quantidade de árvores adultas e o estoque de sementes nas reservas.

No entanto, estudos com o objetivo de modelar matematicamente o crescimento e o desenvolvimento da espécie, em escala temporal, são cruciais para explicar sua dinâmica na floresta. Nesse contexto, a análise de crescimento é uma ferramenta científica eficiente para traduzir em números como o “ambiente” influência a assimilação de carbono e condiciona a partição dos fotoassimilados no vegetal. A análise de crescimento pode ser destrutiva ou não e consiste na quantificação dos órgãos da planta.

As folhas são órgãos considerados inicialmente como dreno e posteriormente como fonte, destacam-se por possuir uma forte atividade metabólica, sendo responsáveis pela fotossíntese e transpiração, fenômenos de superfície primários, para o incremento de biomassa e altamente influenciados pelas mudanças ambientais a sua volta.

Estudos em plantas de castanheira-do-brasil dentro de florestas maduras ou em áreas em regeneração, associados aos baixos índices de velocidade e percentual de germinação (BONIFÁCIO e FREDERICKEN, 1999) inviabilizam a destruição de plantas ao longo do tempo. Nesse contexto o segundo capítulo dessa dissertação propõe modelos matemáticos para a determinação da área foliar de forma não destrutiva, com baixo custo e eficácia tanto para plantas adultas quanto para jovens de *B. excelsa*.

A sazonalidade dos fatores climáticos como precipitação, radiação, umidade relativa do ar, temperatura e umidade do solo interferem diretamente na fenologia e no desenvolvimento das plantas, variando consideravelmente em função da região (WAGNER et al., 2014).

Os castanhais distribuem-se amplamente pela Amazônia brasileira (DUCHELLE et al., 2011), dessa forma os centros de origem das amêndoas podem ter diferentes condições microclimáticas. É evidente que sutis variações do albedo, do coeficiente de extinção da radiação solar, do regime hídrico, e da fitossociologia refletem-se nas características morfométricas e fenológicas das matrizes produtoras.

Assim, descrever o povoamento dos castanhais é necessário para propor mecanismos que caracterizem os sítios de exploração das amêndoas, já que a arquitetura do fuste de castanheiras nativas de diferentes classes de idades é influenciada pelos balanços de água e energia (COSTA; FINGER; FLEIG, 2016). Diante disso, o terceiro capítulo visa descrever as diferenças morfológicas entre um povoamento de *Bertholletia excelsa* localizado dentro da floresta nativa sob exploração de impacto reduzido e outro remanescente em área altamente antropizada com árvores isoladas da mata.

A regeneração dos castanhais é lenta, e pode ser prejudicada pela própria recalitrância das sementes e pela super predação das sementes pelas cutias e (BONIFÁCIO e FREDERICKEN, 1999).

A regeneração de castanheiras é limitada pela recalitrância das sementes, pela alta predação dos roedores e pelo extrativismo. Além disso, o estabelecimento de novos indivíduos é condicionado por fatores abióticos como disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, temperatura e radiação solar.

É notório que as plantas possuem uma evoluída matriz de receptores para monitorar a luminosidade do ambiente (da qual fazem parte os fitocromos) pois além de converter a energia solar fluida em energia química para produzir compostos de carbono, percebem a quantidade, qualidade e direção da luz, e através de sua surpreendente plasticidade fenotípica, adaptam seu crescimento e arquitetura para lidar com condições ambientais específicas (de WIT; GALVÃO; FANKHAUSER, 2016; BRACHER et al., 2017;).

Nesse sentido, o último capítulo aborda os efeitos de distintas condições de sombreamento sobre o crescimento inicial de mudas de diferentes idades de *Bertholletia excelsa* (Castanha do Brasil), através de análises de crescimento.

Castanheira do Brasil

Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl. destaca-se ecológica, econômica e socialmente, como símbolo da produção florestal não madeireira e do desenvolvimento sustentável e estratégico para a conservação da floresta. É conhecida popularmente como Castanheira-da-amazônia, Castanha-do-pará ou

Castanha-do-brasil, pertence à família das Lecythidaceae, que abrange em torno de 200 espécies com ampla distribuição na região Neotropical (MORI, 1992; FERREIRA et al., 2015). Ocorre naturalmente em matas de terra firmes da bacia amazônica e das Guianas (em agrupamentos denominados de castanhais) (DUCHELLE et al., 2011).

A castanheira-do-brasil é uma árvore dominante, que influencia na dinâmica de clareiras e na sucessão ecológica na Amazônia, comumente emerge acima do dossel da floresta por atingir até 50 m de altura e 3 m de diâmetro. Seus grandes frutos (ouriços) caem no chão durante a estação chuvosa, onde são abertos por coletores humanos ou pela cutia (*Dasyprocta* spp.) (ORTIZ, 2002; DUCHELLE et al., 2011).

A *B. excelsa* é uma espécie considerada de uso múltiplo, as sementes comestíveis são o principal produto, no entanto, pode-se utilizar a madeira para construções naval e civil; o ouriço para fazer carvão e a indústria de cosméticos também se interessa muito pelo óleo da amêndoa (BAYMA et al., 2014). O beneficiamento das sementes de *B. excelsa* gera grande quantidade de biomassa, de forma que para cada tonelada de amêndoas 1,4 toneladas de resíduos são gerados (DIAS et al., 2012). Tratam-se de estruturas lignificadas e de composição complexa, com potencial para aproveitamento em artesanatos e energia (FAUSTINO et al., 2014).

A flor da espécie *B. excelsa* apresenta um conjunto de estaminódios e uma pétala recurvada que se fundem e bloqueiam o acesso dos visitantes florais aos estames e estigma, e a robustez dessa estrutura demanda polinizadores com vigor físico para levantar esse 'capuz' e alcançar os recursos florais (MORI e PRANCE, 1990). A polinização cruzada é realizada por abelhas dos gêneros *Bombus*, *Centris*, *Xylocopa*, *Epicharis*, *Eulaema* e *Eufriesea* (HOMMA; MENEZES; MAUÉS 2014).

As frutas lenhosas da castanheira do Brasil são dispendidas durante a estação chuvosa contendo de 15 á 25 sementes (ORTIZ, 2002), que permanecem intactas até a intervenção das cutias. Dispersores foram observados levando sementes de *B. excelsa* até 100 m de distância da árvore-mãe, mas a maioria é dispersa em um raio de 25 m (PERES e BAIDER, 1997). As sobras dos frutos podem ser transportados por dispersão secundária, quando as sementes são desenterradas por predadores de sementes e re-enterradas ainda mais distante da árvore adulta (MORI; PRANCE, 1990).

A castanha, sua semente oleaginosa é muito apreciada pelo seu sabor e valor nutricional, constituindo-se de 60 a 70% de lipídeos (expressivamente de ácidos graxos poli-insaturados) e cerca de 15 a 20% de proteínas de alto valor biológico (CARDARELLI; OLIVEIRA, 2000). Contém minerais importantes para o metabolismo humano, como fósforo, cálcio, magnésio, potássio, zinco, manganês e cobre (GONÇALVES et al., 2002), também é fonte de selênio e vitaminas do complexo B (SOUZA; MENEZES, 2004).

A amêndoa de *B. excelsa*, mundialmente conhecida como *Brazil nut*, é comercializada no mercado nacional e internacional. Nos últimos dez anos os principais compradores têm sido Bolívia, Estados Unidos da América, China, União Europeia e Peru (BAYMA et al., 2014). As exigências do mercado internacional quanto a certificação e a perda na participação da exportação para a Bolívia (que vem ocorrendo gradualmente desde a década de 1990) fomentam a criação de medidas que fortaleçam a cadeia produtiva do Castanha-do-brasil (SANTOS et al., 2010).

No Brasil, os principais estados produtores são: Acre, Amazonas e Pará (BAYMA et al., 2014), sua coleta é a mais importante atividade econômica para várias comunidades extrativistas dessas regiões. Dessa forma, o transporte, comercialização e processamento dos frutos e sementes contribuem para a geração de renda e empregos (SOUZA; FERREIRA, 2006).

O grande desafio para a região amazônica é conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação dos recursos naturais. Nesse contexto, devido à sua relevância ambiental e socioeconômica, a cadeia produtiva da castanha-do-Brasil foi uma das primeiras a serem implementadas no PNPSB - Plano Nacional de Promoção das Cadeias de Produtos da Sociobiodiversidade. O Governo Federal do Brasil lançou o PNPSB, para fortalecer a cadeia produtiva de alguns Produtos Florestais não-madeireiros, por meio da integração de ações que visam à construção de mercados sustentáveis (FAUSTINO et al., 2014).

Mesmo com a proibição do corte da castanheira do Brasil (decreto número 1282/9419 de outubro de 1994), informações acerca da perpetuação natural da população ainda são necessários, visto que, o desenvolvimento e maturação dos frutos, bem como a regeneração de castanhais são lentos e altamente dependente de características bióticas e abióticas específicas podendo ser prejudicada pela falta de

minerais nos solos, super exploração das amêndoas, uso múltiplo da paisagem e pela própria recalcitrância das sementes (KAINER et al., 1998, BONIFÁCIO; FREDERICKEN, 1999; MAUÉS, 2002; ZUIDEMA, 2003; CAMPOS et al., 2013).

Além disso, o período de desenvolvimento e maturação dos frutos dura, em média, 14 meses e o recrutamento é altamente dependente de dispersores primários. A regeneração dessa espécie em florestas maduras e em pousios também pode depender da densidade e da proximidade de adultos reprodutores (MAUÉS, 2002; CAMPOS et al., 2013; JANZEN, 1970). A madeira da Castanheira possui elevado valor econômico e apresenta boas características de produção em áreas de floresta nativa e altas taxas de crescimento, quando plantada sob sistemas agroflorestais ou povoamentos homogêneos (TONINI et al., 2008; FERREIRA et al., 2012).

Crescimento de plantas

O ritmo circadiano das plantas é complexo, pois compreende o crescimento e a diferenciação, envolvendo fatores externos e internos. O crescimento vegetal consiste no aumento irreversível de algum atributo físico, especialmente do material protoplasmático. Nem sempre significa um aumento de tamanho, uma vez que alguns organismos utilizam reservas para produzir novas células, havendo multiplicação celular por vacuolização. O desenvolvimento é o crescimento do tecido somado a mudanças na forma da planta, no decorrer das diferentes etapas do ciclo de vida do vegetal (germinação, juvenilidade, maturação, reprodução, senilidade e morte). Dessa forma, crescimento reflete incremento em tamanho e massa, sendo um processo quantitativo. Por último a diferenciação é um processo qualitativo constituído por modificações internas e externas na forma e posição dos órgãos da planta durante seu ciclo de vida (PEIXOTO et al., 2011).

O controle do tamanho e forma durante o desenvolvimento de organismos multicelulares é importante para a biologia do desenvolvimento. Entender as regras básicas do crescimento celular e como os fatores ambientais o condicionam é essencial para compreender o desenvolvimento da forma dos órgãos das plantas.

As células vegetais que compõem um tecido não podem se mover em relação umas às outras, uma vez que são envoltas em uma parede celular rígida composta de polissacarídeos e proteínas, como resultado, a deformação global de um tecido

durante o seu desenvolvimento é o efeito acumulado de todas as deformações sofridas por cada uma das suas células (WOLF et al., 2012). A interação entre genes e morfologia não é direta, dessa forma, para controlar as mudanças na geometria, às redes moleculares devem interferir de alguma forma com os elementos estruturais físicos das células e tecidos (ALI et al., 2014).

Os recentes avanços técnicos e conceituais permitiram incorporar abordagens biofísicas na análise do crescimento e desenvolvimento de plantas (BURGERT, 2006), gerando conjuntos de dados complexos demais para simples análises visuais e qualitativas. Dessa forma, a modelagem matemática está desempenhando um papel cada vez mais importante na biologia tornando-se crucial para a interpretação dos dados disponíveis (GEITMANN; ORTEGA, 2009).

Produzir modelos físicos de organismos vivos é desafiador para a ciência, pois contêm muitos componentes, e envolve as trocas de massa e energia com o ambiente. Há necessidade de modelos que integrem não só aspectos bioquímicos e geométricos, mas também as propriedades físicas (ALI et al., 2014).

O crescimento e o desenvolvimento das plantas são descritos por várias taxas, calculadas através da mensuração de características como: área foliar, massa fresco, seca e altura da planta. Os modelos de regressão não-lineares são úteis para descrever o crescimento ao longo do tempo, pois utilizam parâmetros de interpretação biológica que facilitam a análise.

A análise do crescimento vegetal infere as possíveis respostas das plantas às mudanças ambientais. Alguns componentes da aptidão biológica, como sobrevivência, capacidade competitiva e desempenho reprodutivo, estão relacionados ao tamanho e ao crescimento das plantas (OLIVEIRA e PEREZ, 2012). A análise do crescimento vegetal é uma das ferramentas utilizadas para avaliar as alterações metabólicas nas plantas transcorridas das mudanças na radiação solar e nível de energia. Os demais fatores microclimáticos, como temperatura, umidade e velocidade do vento, estão interconectados com a radiação, podendo afetar o crescimento das plantas de forma complexa (SILVA et al., 2007; CANTU et al., 2013; SANTELICES; ESPINOZA; CABRERA, 2015).

O sombreamento artificial proporciona uniformidade e permite isolar e quantificar a luz, a fim de que se possam avaliar os requisitos de luz de várias espécies

durante seus estágios iniciais de desenvolvimento (LENHARD et al., 2013). Tais pesquisas permitem verificar a tolerância das espécies à quantidade de luz recebida, e sua capacidade de adaptar-se às condições de luminosidade (MIELKE; SCHAFFER, 2010; BORGES et al., 2014).

As plantas têm capacidade de modificar a sua expressão genética e seu modelo de desenvolvimento em resposta ao ambiente luminoso. No entanto, a natureza das respostas varia entre as espécies, de acordo com sua capacidade de aclimação e a quantidade ou qualidade de luz (LIMA et al., 2008; MIELKE; SCHAFFER, 2010).

Área foliar

As folhas, dentro dos ecossistemas terrestres, interceptam a luz solar e a convertem em energia bioquímica (BLANCO; FOLEGATTI, 2005). Além de ter importância fisiológica para o estudo do potencial fotossintético e do metabolismo primário em plantas (BALAN, 2010), contribuem para identificação e caracterização botânica (COPE et al., 2012); para a avaliação nutricional e do estresse à fatores abióticos (JIVAN; SALA, 2014); para a análise de relações simbióticas, não simbióticas ou competitivas em plantas (MERCIER; LINDOW, 2000).

A área da folha é o parâmetro para o cálculo de várias taxas do crescimento de plantas, como o Índice de área foliar - IAF, definido como a razão da área foliar de uma população de plantas para a área do solo que ocupa. Indica o efeito do surgimento e expansão das folhas e interação com a entrada de CO₂ e fluxo de energia, afetando diretamente o acúmulo da biomassa, transpiração e trocas gasosas nas copas (JONCKHEERE et al., 2004, KANDIANNAN et al., 2009).

A área foliar pode ser determinada através do desprendimento foliar, por métodos: planimétrico, gravimétrico, etc... e também por métodos não destrutivos baseados nas dimensões lineares ou em imagens - método de cálculo, método de varredura, método de imagem, etc. (BEHERA et al., 2010).

A Área Foliar pode ser determinada de forma direta e não-destrutiva através da relação entre a largura e o comprimento da folha (SHABANI e SEPASKHAH, 2016). A análise da regressão é comumente usada para determinar a relação entre a área da folha e suas dimensões lineares. Modelos não-lineares também são utilizados,

principalmente quando a relação entre a variável resposta e os preditores segue uma função particular, mas nesses um bom fator de correção deve ser utilizado para garantir a precisão do modelo (BATES e WATTS, 2007).

O crescimento das folhas em plantas pode ocorrer juntamente com as alterações na forma das folhas ou juntamente com as mudanças no tamanho das folhas. Assim, mais de uma equação para a relação entre a área foliar e as dimensões foliares podem ser necessárias ao longo do ciclo de vida da planta (SHABANI et al., 2013).

A utilização de métodos rápidos, simples, não destrutivos, e bastante precisos, com baixos custos para medir a área foliar em plantas é muito útil, particularmente no caso de um grande número de medições ou de análise repetitiva na mesma planta ao longo do tempo, sendo especialmente usado em experimento em vaso, ou em viveiros, quando o número de folhas é baixo (SALA et al., 2015)

Referências bibliográficas

ALI, O.; MIRABET, V.; GODIN, C.; TRAAS, J.A.N. Physical Models of Plant Development. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 30, p. 59–78, 2014.

AUGSPURGER, C.K. 1984. Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light-gaps, and pathogens. **Ecology**, v. 65, n. 6, p. 1705-1712.

BALAN, V. Methods of foliar surface determination along the ontogenetic cycle on apple trees. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**. v. 38, n. 3, p. 219–222, 2010.

BATES, D.M., WATTS, D.G. **Nonlinear Regression Analysis and its Applications**. John Wiley & Sons Inc., New York. 2007.

BAYMA, M.M.A.; MALAVAZI, F.W.; SÁ, C. P. De; FONSECA, F.L.; ANDRADEI, E.P.; WADT, L.H. de O. Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil. Brazil nut productive chain aspects in the state of Acre, Brazil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém. Nat. v. 9, n. 2, p. 417-426, 2014.

BEHERA, S.K., SRIVASTAVA, P., PATHRE, U.V., TULI, R. An indirect method of estimating leaf area index in *Jatropha curcas* L. using LAI-2000 Plant canopy analyzer. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 307–311, 2010.

BLANCO, F.F., FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricola**, v. 62 n. 4, p. 305–309, 2005.

BONIFACIO, M.C.; FREDERICKEN, T.S. Regeneration status of important tropical forest tree species in Bolivia: assessment and recommendations. **Forest Ecology and Management**, v. 124, p.263-273, 1999.

BORGES, V. P.; COSTA, M. A. P. DE C.; RIBAS, R. F. Emergência e crescimento inicial de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo em ambientes contrastantes de luz. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.3, p. 523-531, 2014.

BOUVIE, L.; BORELLA, D. R.; PORTO, P. A. de O.; SILVA, A. C. Da; LEONEL, S. Caracterização físico-química dos frutos de castanheira do Brasil. **Nativa**, v.4, n.2, p.107-111, 2016.

BRACHER, A.; WHITNEY, S. M.; HARTL, F. U.; HAYER-HARTL, M. Biogenesis and Metabolic Maintenance of Rubisco. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, n. 6, p. 1–6, 2017.

BURGERT I. Exploring the micromechanical design of plant cell walls. **American Journal of Botany**, v. 93, n. 10, p. 1391–401, 2006.

CAMPOS, A. L.; FREITAS, J. L.; SANTOS, E.S.; SILVA, R.B.L. Fenologia reprodutiva de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em floresta de terra firme em Mazagão. **Biota Amazônia**, Amapá v. 3, n. 1, p. 1-8. 2013.

CANTU, R. R. et al. Uso de malhas pigmentadas e mulching em túneis para cultivo de rúcula: efeito no ambiente e nas plantas modelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 810-815, 2013.

CARDARELLI, H. R.; OLIVEIRA, A. J. Conservação do leite de castanha-do-Pará. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 617- 622, 2000.

CAVALCANTE, M. C.; OLIVEIRA, F. F.; MAUÉS, M. M.; FREITAS, B. M. Pollination requirements and the foraging behaviour of potential pollinators of cultivated Brazil nut (*Bertholletia excels* Bonpl.) trees in Central Amazon rainforest. **Psyche**, p.1-9, 2011:

COPE, J.S., CORNEY, D., CLARK, J.Y., REMAGNINO, P., WILKIN, P. Plant species identification using digital morphometrics: a review. *Expert Systems with Applications*. v. 39, n. 8, p. 7562–7573, 2012.

COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D. INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO SOCIAL NAS RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS DE *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 225-234, 2016.

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, p. 28–35, 2008.

DENEVAN, W.M. The pristine myth: The landscape of the Americas in 1492. **Annals of the Association of American Geographers**. v. 82, n. 3, p. 369-385, 1992.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M. ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 1.ed. Brasília, Distrito Federal: Embrapa Agroenergia, 2012. 130 p.

DUCHELLE, A. E.; CRONKLETON, P.; KAINER, K. A.; GUANACOMA, G.; GEZAN, S. Resource theft in tropical forest communities: implications for non-timber management, livelihoods, and conservation. **Ecology. Society**. v. 16, n. 1, 2011.

DUCHELLE, A. E.; GUARIGUATA, M. R.; LESS, G.; ALBORNOZ, M. A.; CHAVEZ, A.; MELO, T. Evaluating the opportunities and limitations to multiple use of Brazil nuts and timber in Western Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 268 p. 39–48, 2012.

FAUSTINO, C. de L.; WADT, L. de O. Resistência mecânica do pericarpo de frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae). **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 1, p. 25-33, 2014.

FAUSTINO, C. L.; WADT, L. H. O. Resistência mecânica do pericarpo de frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae). **Ciência da Madeira**. v. 5, n. 1, p. 25-33, 2014.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAZ J. B. S.; CORRÊA, V. M. Características nutricionais de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. sob tratamentos de fertilização em área degradada na Amazônia. Nutritional traits of young *Bertholletia excelsa* Bonpl. Plants under fertilization treatments in a degraded area in Amazonia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 863-872, 2015.

GEITMANN, A.; ORTEGA, J. K. E. Mechanics and modeling of plant cell growth. **Trends Plant Science**. v. 14, n. 9, p. 467–78, 2009.

HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A. De; MAUÉS, M. M. Castanheira-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. Brazil nut tree: the challenges of extractivism for agricultural plantations. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, v. 9, n. 2, p. 293-306, 2014.

JANZEN, D.H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. **The American Naturalist**, v. 104, p. 501-528, 1970.

JIVAN, C., SALA, F. Relationship between tree nutritional status and apple quality. **Horticultural Science – Prague**, v. 41, n. 1, p. 1–9, 2014.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 121, p. 19–35, 2004.

KAINER, K.A., DURYEA, M.L., DE MACEDO, N.C., WILLIAMS, K. Brazil nut seedling establishment and autecology in extractive reserves of Acre. **Journal Of Applied Ecology**. v. 8, p. 397–410, 1998.

KANDIANNAN, K.; PARTHASARATHY, U.; KRISHNAMURTHY, K.S.; THANKA, MANI, C.K.; SRINIVASAN, V. Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, p. 532–537, 2009.

LENHARD, N. R.; PAIVA NETO V. B.; de, SCALON, S. de P. Q.; ALVARENGA, A. A. De. Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 178-186, 2013.

LIMA, J. D.; SILVA, B. M. DA S. e MORAES, W. DA S.; DANTAS, V. A. V.; ALMEIDA, C. C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia férrea* Mart. (ExTul. Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazonica**, v.38, n.1, p.5-10, 2008.

MENDES, A.; MORAES, G. L.; SENA, L. S. Aproveitamento de casca e ouriço de castanha-do-brasil como adubo orgânico. In: **ANAIS DA 47ª Reunião Da Associação Brasileira De Química**, 2007, Natal - RN.

MERCIER, J.; LINDOW, S.E. Role of leaf surface sugars in colonization of plants by bacterial epiphytes. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 66, n. 1, p. 369–374, 2000.

MIELKE, M. S.; SCHAFFER, B. Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. **Environmental and Experimental Botany**, v.68, n.2, p.113-121, 2010.

MORI, S. A. The Brazil nut industry - past, present, and future. In: PLOTKIN, M.; FAMOLARE, L. (Eds.). **Sustainable Harvest and Marketing of Rain Forest Products**. Washington: Island Press, 1992. p. 241-251.

OLIVEIRA, A. K. M.; PEREZ, S. C. J. G. A. Crescimento inicial de *Tabebuia aurea* sob três intensidades luminosas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 263-273, 2012.

ORTIZ, E., 2002. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). In: Shanley, P., Pierce, A.R., Laird, S.A., Guillén, A. (Eds.), *Tapping the Green Market: Certification and Management of Non-Timber Forest Products*. Earthscan, London, pp. 61–74.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V. Da; PEIXOTO, M. de F. da S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.7, n.13, p. 51 – 76, 2011.

PERES, C. A.; BAIDER, C. Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazilnut trees (*Bertholletia excelsa*) in southern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 13, n. 4, p. 595-616, 1997.

PERES, C.A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P.A.; WADT, L.H.O.; KAINER, K.A.; GOMES-SILVA, D.A.P.; SALOMAO, R.P.; SIMOES, L.L.;FRANCIOSI, E.R.N.; VALVERDE, F.C.; GRIBEL, R.; SHEPARD JR., G.H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D.W.; WATKINSON, A.R.; FRECKLETON, R.P.; Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, p. 2112–2114, 2003.

RIBEIRO, M. B. N.; ROBER, A. J. P. DE; MAGNUSSON, W. E. Brazil nut stock and harvesting at different spatial scales in southeastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**. v. 319, p.67–74, 2014.

SALAA, F.; ARSENEA, G. G.; IORDANESCUA, O.; BOLDEAA, M. Leaf area constant model in optimizing foliar area measurement in plants: A case study in apple tree. **Scientia Horticulturae**. v. 193, p. 218–224, 2015.

SANTELICES, R.; ESPINOZA, S.; CABRERA, A. M. Effects of shading and slow release fertilizer on early growth of *Nothofagus leonii* seedlings from its northernmost distribution in Central Chile. **Bosque**, Valdivia, v. 36 n. 2, p. 179-185, 2015.

SANTOS, J. C.; SENA A. L. S.; ROCHA, C. I. L. Competitividade brasileira no comércio internacional de castanhado- brasil. **Anais** do Congresso Brasileiro da Sociedade de Economia, Administração e Sociologia Rural, v. 48, p 1-14, 2010.

SHABANI, A., SEPASKHAH, A.R. **Leaf area estimation by a simple andnon-destructive method**. Iran Agric. Res. v. 36, n. 1, 2016.

SHABANI, A.; SEPASKHAH, A. R.; KAMKAR-HAGHIGHI, A. A. Growth and physiologicresponse of rapeseed (*Brassica napus* L.) to deficit irrigation, water salinity andplanting method. **International Journal of Plant Production**. v. 7, n. 3, p. 569–596, 2013.

SILVA, B. M. S. et al. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007.

SOUSA, W. P.; FERREIRA, L. A. Os sistemas agrários com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) na região sul do Estado do Amapá. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 2, n. 3, p. 217-246, 2006.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-Brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.

TONINI, H.; COSTA, P.; KAMINSKI, P. E. Manejo de produtos florestais não madeireiros na Amazônia - (Castanheira-do-Brasil) Resultados da pesquisa. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2**. Boa Vista: Embrapa Roraima. 2008. 31 p.

VIANA, V. M.; MELLO, R. A.; MORAES, L.M.; MENDES, N.T. **Ecologia e manejo de populações de castanha-do-pará em reservas extrativistas Xapuri**, Estado do Acre. Instituto Nacional de Pesquisa Amazônia, Manaus, Brasil, p. 277–292, 1998.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A. Domesticação e melhoramento de castanheira. **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009, 321 p.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C; SERRANO, R. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**. v. 141, n. 1, p. 332-346, 2008.

WAGNER, F.; ROSSI, V.; AUBRY-KIENTZ, M.; BONAL, D.; DALITZ, H. Pan-tropical analysis of climate effects on seasonal tree growth. **Plos one Journal**. v. 9, p. 1-15, 2014.

WIT, M. de; GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Light-Mediated Hormonal Regulation of Plant Growth and Development. **Annual Review of Plant Biology**. v. 67, n. 22 p. 1–22, 2016.

WOLF, S.; H'EMATY, K.; H" OFTE, H. Growth control and cell wall signaling in plants. **Annual Review of Plant Biology**. v. 63, n. 1, p. 381–407, 2012.

ZUIDEMA, P. A.; BOOT, R. G. A. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal Tropical Ecology**. v. 18, p.1–31, 2002

ZUIDEMA, P.A. Ecology and Management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*). **PROMAB Scientific Series 6**, PROMAB, Riberalta, Bolivia. 2003.

CAPÍTULO 2 - Estimativa da área foliar com base nas dimensões lineares da Castanheira-do-Brasil

RESUMO - Objetivou-se calibrar e validar modelos de estimativa da área da folha da espécie *Bertholletia excelsa* a partir das medidas lineares, em árvores de diferentes idades. Para tanto, coletaram-se 750 folhas em Árvores Jovens - AJ (não iniciaram ciclos reprodutivos) e Adultas - AA (indivíduos com presença de resquícios de estruturas reprodutivas abaixo das copas) sendo cada árvore uma repetição, onde 250 folhas foram usadas para a validação e 500 para a calibração dos modelos da estimativa da área por tratamento. Aferiu-se o comprimento - C (do maior eixo), largura do centro da folha - LC, da base - LB e do ápice - LA em centímetros (cm), com auxílio de régua e fita milimétricas, e determinou-se a área foliar real (AFR) em cm², através do medidor fotoelétrico. Separou-se as amostras em três classes pela distribuição de frequência da AFR e determinou-se a estatística descritiva das dimensões lineares e da área foliar. Utilizaram-se regressões lineares que consideram a área foliar real (AFR) como variável dependente, e as dimensões lineares como variável independente; com a ferramenta Solver do Microsoft Excel calculou-se os coeficientes ajustados das equações. Avaliou-se o desempenho dos modelos por meio dos indicativos estatísticos: *MBE*; *RMSE* e o *dw*. A área foliar, tanto em árvores jovens quanto em árvores adultas, pode ser mensurada de usando-se as equações $AF = (a_1 * C * L) + a_2$; $AF = a_1 * [(C * L)^b]$; que apresentaram *MBA* igual a -2,0717 e -2,3176 cm²; *RMSE* de 14,3645 e 14,4092 cm e *dw* igual à 0,9999 para ambas. A espécie não apresenta polimorfismo foliar. As medidas do comprimento e da largura no centro da folha são suficientes para estimar a área do limbo. Conclui-se que nas estimativas com base em uma medida, aplica-se as seguintes equações: $AF = (0,7705 * C * L) + 1,8135$; $AF = (0,7544 * C * L) + 5,1624$; $AF = 0,7997 * [(C * L)^{0,9949}]$ e $AF = 0,9334 * [(C * L)^{0,9674}]$;

Palavras-chave: *Bertholletia excelsa*, Modelos matemáticos, análise de regressão, indicativos estatísticos.

Estimates of leaf area of Castanheira-do-Brasil using linear dimensions of the leaf blade

ABSTRACT - The objective of this study was to generate and validate models of estimation of the leaf area of *Bertholletia excelsa* using linear measures that are easy to obtain in young and adult trees. For that, 750 leaves were collected in Young Trees (AJ) and Adult (AA) trees, Each tree one repetition, Where 250 leaves were used for the validation and 500 for the estimation of the area by treatment. The length - C, width of leaf center - LC, base - LB and apex - LA and the real leaf area (AFR) in cm² were measured, Through the photoelectric meter. The samples were divided into three classes by the AFR frequency distribution and the descriptive statistics of linear dimensions and leaf area were determined. Linear regressions were used that consider the real leaf area (AFR) as a dependent variable, and linear dimensions as

independent variables; With the Solver tool of Microsoft Excel the adjusted coefficients of the equations were calculated. The performance of the models with the statistical indicative: MBE; RMSE; Dw and r (correlation coefficient). The species *Bertholletia excelsa* does not present foliar polymorphism. The length and width at the center of the leaf are sufficient to estimate the area of the limbus. In estimates based on only one measure, one should apply the equations: $(0,7705 \cdot C \cdot L) + 1,8135$; $AF = (0,7544 \cdot C \cdot L) + 5,1624$; $AF = 0,7997 \cdot [(C \cdot L)^{0,9949}]$ e $AF = 0,9334 \cdot [(C \cdot L)^{0,9674}]$; Where C is the length of the largest axis and L is the width of the center of the sheet.

Key-words: *Bertholletia excelsa*, Mathematical models, Regression analysis, Statistical information.

Introdução

A castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. - Lecythidaceae) produz sementes comestíveis, muito apreciadas pelo seu sabor e valor nutricional, ricas em proteínas e selênio (WADT e KAINER, 2009). Seu fruto tem uso múltiplo, com potencial para produção de carvão (FAUSTINO et al., 2014), substrato orgânico (MENDES et al., 2007; BOUVIÉ, et al., 2016) e óleo de interesse da indústria cosmética e farmacêutica (BAYMA et al., 2014).

B. excelsa destaca-se ecológica, econômica e socialmente, como símbolo da produção florestal não madeireira e do desenvolvimento sustentável e estratégico para a conservação da floresta. Ocorre naturalmente em matas de terra firmes da bacia amazônica e das Guianas (em agrupamentos denominados de castanhais); é uma árvore dominante que influencia na dinâmica das clareiras e na sucessão ecológica na Amazônia (DUCHELLE et al., 2011). A espécie apresenta altas taxas de crescimento inicial em sistemas agroflorestais ou em plantios homogêneos para recuperação e/ou reposição florestal (SCOLES et al., 2011; FERREIRA et al., 2015).

Mesmo com a proibição do corte da castanheira-do-brasil (decreto número 1282/9419 de outubro de 1994), informações acerca da perpetuação natural da população ainda são necessárias, visto que, o desenvolvimento e a maturação dos frutos, bem como a regeneração dos castanhais, são lentos e altamente dependentes de características bióticas e abióticas específicas (KAINER et al., 1998; MYERS et al., 2000; ZUIDEMA, 2003; BONIFÁCIO; FREDERICKEN, 1999; MAUÉS, 2002; CAMPOS et al., 2013).

Surgiu uma demanda de informações acerca da fenologia e do desenvolvimento da espécie, para subsidiar tanto o cultivo/coleta quanto o manejo da diversidade genética (RIBEIRO et al., 2014). Existe interesse no recrutamento e na regeneração de plântulas de *B. excelsa* mediante a importância da colheita ao longo prazo e da sustentabilidade (VIANA et al., 1998; ZUIDEMA; BOOT, 2002; PERES et al., 2003; WADT et al., 2008; KAINER et al., 1998; AUGSPURGER, 1984; DENEVAN, 1992; HECKENBERGER et al., 2003).

Quantificar o crescimento e o desenvolvimento da planta em escala temporal, é um dos primeiros passos para entender o comportamento de qualquer espécie, pois explica como a ambiente influência no incremento de massa seca e bem como condiciona a partição dos fotoassimilados. Dentre os parâmetros quantitativos do crescimento, a mensuração da área foliar, encontra-se como um dos mais importantes, visto que o processo de fotossíntese ocorre na superfície da folha, pois a assimilação do carbono está relacionada linearmente com a área de interceptação dos fótons (PARTELLI et al., 2006; LAWLOR 1993; AMARAL et al., 2009; JESUS et al., 2001). Além disso, a folha é o órgão responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente, logo, a área foliar possibilita a estimativa da perda de água por transpiração e da irrigação (FAVARIN et al., 2002; BLANCO; FOLLEGATTI 2005).

A superfície foliar é útil para a determinação e avaliação de técnicas culturais como poda, adubação e densidade de plantio (ASSIS et al., 2015; BLANCO; FOLLEGATTI, 2005; OLIVEIRA et al., 2015). Este índice também é útil na avaliação dos danos causados por doenças e pragas foliares (MONTEIRO et al., 2005; FAVARIN et al., 2002) e para determinar o volume da calda de defensivos agrícolas (FERREIRA et al., 2010).

Nesse contexto, estimar a área foliar durante o desenvolvimento da castanheira torna-se útil e informativo para diversos estudos agronômicos, ecológicos e biológicos. Entretanto, estudos dentro das florestas maduras ou em áreas de regeneração, associados aos baixos índices de velocidade e percentual de germinação da espécie (BONIFÁCIO; FREDERICKEN, 1999) tornam-se inviáveis por métodos destrutivos. Não obstante, o método não destrutivo permite avaliações sucessivas do crescimento e da expansão foliar da mesma planta até o final do ciclo ou do ensaio, além de ser

rápido e de menor custo (ZUCOLOTO et al., 2008; NESMITH, 1992; BENINCASA, 2003; AMARAL et al., 2009).

A quantificação não-destrutiva da área da folia requer equipamentos caros, como o planímetro e o integrador de área foliar portáteis. Equações matemáticas desenvolvidas especificamente para cada espécie, que utilizam as dimensões lineares das folhas, podem estimar a área do limbo foliar de forma indireta e não destrutiva. Esses modelos devem apresentar boas correlações com a superfície foliar real (SCHMILDT et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016).

Trabalhos comprovaram por meio da utilização das medidas reais através de aparelhos integradores de área foliar, que a modelagem a partir de medidas lineares do limbo estima satisfatoriamente a área da folha em substituição à análise destrutiva, apresentando boa precisão e alta acurácia (SACHET et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016; CAMPOSTRINI; YAMANISHI, 2001; BIANCO et al., 2003). Equações para estimar a área do limbo da folha tem sido largamente usadas para espécies arbóreas como pinheiro (SILVA et al., 2004), laranjeira (MAZZINI et al., 2010), mangueira (LIMA et al., 2012) e Jatobá (SANTOS et al., 2016).

O formato geométrico do limbo foliar é uma característica morfológica específica de cada espécie vegetal, e a relação entre as dimensões lineares e a área foliar depende da quantidade de recortes na borda do limbo foliar (PINTO et al., 2008). Dessa forma, é necessária a geração de modelos específicos de estimativa da área foliar para cada espécie vegetal (CARGNELUTTI FILHO et al., 2015). Além disso, para determinadas espécies, diferentes modelos podem ser necessários de acordo com a diferenciação morfológica existente entre diferentes idades da planta .

A determinação de uma metodologia de medição de área foliar de baixo custo, eficiente e não destrutiva, é imprescindível para a ampliação das pesquisas ecofisiológicas com a Castanheira-do-Brasil. Assim, o objetivo deste trabalho foi calibrar e validar modelos matemáticos para a estimativa da área de folhas da espécie *Bertholletia excelsa* em diferentes estádios de desenvolvimento, por meio de medidas lineares em folhas de árvores jovens e adultas.

Material e Métodos

A coleta dos dados ocorreu em agosto de 2016 no município de Sinop (11°51'08"S; 55°30'56"W; 376 m acima do nível do mar), localizado na região norte do Estado do Mato Grosso (Transição Cerrado-Amazônia). A classificação climatológica, segundo Köppen, é Aw, tipo tropical quente e úmido, possuindo duas estações bem definidas: a chuvosa (entre os meses de outubro e abril) e a “seca” (de maio a setembro) e apresentar baixa amplitude térmica anual (médias mensais entre 24 e 27 °C) e precipitação média anual de 1970 mm (SOUZA *et al.*, 2013).

Selecionou-se matrizes da espécie *Bertholletia excelsa* que possuíam bom estado fitossanitário. As árvores foram classificadas em: Árvores Jovens – AJ (que não haviam iniciado seu ciclo reprodutivo) e Árvores Adultas – AA (que completaram ciclos reprodutivos) (Figura 1 e Tabela 1), em função do diâmetro à altura do peito – DAP, e da presença/ausência dos resquícios das estruturas reprodutivas abaixo das copas.



Figura 1. À esquerda *Castanheira-do-Brasil* (*Bertholletia excelsa*) adulta - AA sua copa, ritidoma e base; e à direita Jovem AJ sua copa, ritidoma e base. Sinop-MT, 2016.

As árvores de diferentes idades, (Figura 1) foram consideradas os tratamentos, que compreenderam três indivíduos de cada idade (Tabela 1). Para cada tratamento coletaram-se 750 folhas completamente expandidas, não danificadas, sem deformações e de diferentes tamanhos, para permitir a maior variabilidade quanto às dimensões e formas das folhas em pleno desenvolvimento vegetativo (Figura 2).

Tabela 1. Diâmetro a altura do peito – DAP (cm); altura até a inserção do primeiro galho – HC (m); altura total – HT (m) das matrizes de *Bertholletia excelsa*. Sinop-MT, 2016.

Matriz	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)
--------	----------	--------	--------

1	30,88	-	10,9
2	18,08	-	8,8
3	9,87	-	8,8
1	27,06	7,9	28,6
2	35,33	7,9	19,1
3	27,69	6,9	14,9



Figura 2. Folhas completamente expandidas de diferentes tamanhos de *Bertholletia excelsa*). Sinop-MT, 2016.

Com auxílio da régua milimetrada e da fita métrica (cm), aferiu-se as medidas lineares das folhas: comprimento - C, largura do centro - LC, da base - LB e do ápice - LA (dois centímetros antes da extremidade do limbo foliar) (Figura 3). Após as aferições dos parâmetros lineares, determinou-se a área foliar real (AFR) em cm², com o medidor fotoelétrico, previamente calibrado a partir da área conhecida de uma folha de papel A4.

O conjunto das folhas de cada tratamento (AA e AJ) foi separado em três classes pela distribuição de frequência da AFR, para minimizar o desvio padrão das medidas lineares e da área do limbo foliar.

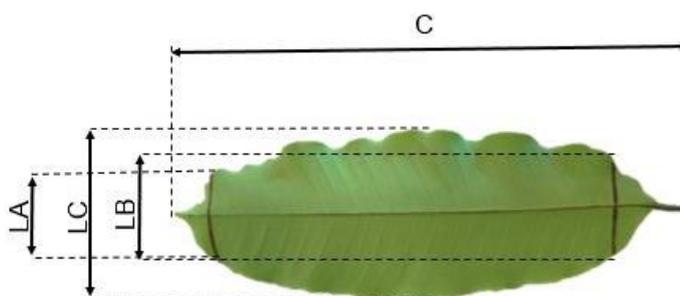


Figura 3. Representação das mensurações Lineares: C - comprimento; LA - largura do ápice; LM - largura no centro e LB - largura da base da folha de *Bertholletia excelsa*. Sinop-MT, 2016.

A partir das medidas lineares provenientes de cada folha analisada, foram calibrados e validados doze modelos analíticos de estimativa (Tabela 2), sendo que 500 folhas destinaram-se à geração dos modelos, e 250 folhas à validação (cálculos dos indicadores estatísticos).

Para calibração dos modelos, foram realizadas regressões lineares as quais consideraram a área do limbo da folha real (AFR) como variável dependente e as dimensões lineares como variável independente; para isto, utilizou-se a ferramenta Solver do Microsoft Excel, os coeficientes ajustados das equações foram calculados de forma a maximizar o coeficiente de determinação (R^2). Realizou-se o teste F entre os valores de AFR observados para se verificar a homogeneidade dos dados.

As equações que consideraram a largura da folha (nº 4 à 12; Tabela 2) foram ajustadas duplamente. Primeiramente considerando o valor do LC (largura medida no centro da folha) e posteriormente com a largura média – LM, que consistiu na média aritmética dos três valores de LC, LB e LA. Em seguida calculou-se a regressão linear, tendo a AFE estimada com LM no eixo das ordenadas e a AFE estimada com LM no eixo das abscissas.

Tabela 2. Modelos analíticos gerados e validados para a estimativa da área de folhas de árvores jovens e adultas de *Bertholletia excelsa* a partir de dimensões lineares do limbo foliar. Sinop-MT, 2016.

Nº	Modelo Analítico	Nº	Modelo Analítico
1	$a1 \cdot C$	7	$a1 \cdot C \cdot L$
2	$(a1 \cdot C) + a2$	8	$(a1 \cdot C \cdot L) + a2$
3	$a1 \cdot (C^b)$	9	$a1 \cdot (C + L)$
4	$a1 \cdot L$	10	$[a1 \cdot (C + L)] + a2$
5	$(a1 \cdot L) + a2$	11	$a1 \cdot [(C \cdot L)^b]$
6	$a1 \cdot (L^b)$	12	$a1 \cdot [(C + L)^b]$

Para avaliar o desempenho dos modelos gerados e permitir sua indicação por meio da estimativa da AF, foram calculados os indicativos estatísticos: *MBE* (*means bias error* – erro médio relativo, equação 1); *RMSE* (*root mean square error* – raiz quadrada do quadrado médio do erro, equação 2); *dw* (índice de ajustamento de Willmott, equação 3) (WILLMOTT, 1981; LEITE; ANDRADE, 2002).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (2)$$

$$dw = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O_i|)^2} \quad (3)$$

Em que: E_i : valores estimados; O_i : valores observados; n : número de observações; E : média dos valores estimados e O : média dos valores observados. O parâmetro MBE fornece um indicativo a respeito do desempenho do modelo relativo

à sua superestimação (valores positivos) ou subestimação (valores negativos), apresentando a desvantagem de anular um valor positivo por um negativo, sendo que quanto menor seu valor absoluto, melhor é considerado o modelo (STONE, 1993; SOUZA et al., 2011). O RMSE informa a respeito do espalhamento, estimando o erro sistemático produzido pelo modelo, desta forma, quanto menor seu valor, menor é a dispersão dos dados em relação ao modelo. Possui a desvantagem de apresentar um aumento significativo na amplitude mediante a poucos valores discrepantes (STONE, 1993).

O índice de concordância de Willmott (dw), que expressa a exatidão do modelo, apresenta valores que variam de 0 a 1, onde zero refere-se a nenhuma concordância, e um à concordância perfeita (WILLMOTT, 1981).

O coeficiente de correlação “ r ”, que varia de -1 a +1, indica o nível de associação entre duas ou mais variáveis e desta forma, quanto maior for seu valor absoluto, maior a adesão entre valores estimados e observados (SCHNEIDER, 1998; LEITE; ANDRADE, 2002).

Considerando os indicativos e no intuito de analisar com maior restrição o desempenho dos modelos gerados, empregou-se o método dos valores ponderados dos indicativos estatísticos (V_p) de acordo com Monteiro *et al.* (2014). Na obtenção do V_p , atribuiu-se pesos de 1 a “ n ” para cada indicador estatístico em cada modelo, onde “ n ” corresponde ao número de modelos testados. Ao final, o melhor modelo considerado foi aquele que apresentou o menor somatório de pesos (menor V_p acumulado).

O método do V_p permitiu classificar e definir o melhor modelo para a estimativa da área foliar para as espécies estudadas, tendo em vista que considerou as informações e particularidades correspondentes a todos os indicativos estatísticos calculados, fornecendo, portanto, um resultado confiável (MONTEIRO *et al.*, 2014).

Resultados e Discussão

Pela distribuição da frequência de AFR as folhas foram separadas nas Classes: I (AFR menor que 150 cm²), II (AFR maior que 150 cm² e menor 300 cm²) e III (AFR

menor que 300 cm²). O desvio padrão das medidas lineares foi no máximo 5,3 cm, e da área da folha 69,9 cm² (Tabela 2).

Tabela 3. Dimensões lineares das folhas de *Bertholletia excelsa* em árvores jovens (AJ), para geração e validação dos modelos da estimativa da área do limbo da folha. Sinop-MT, 2016.

Árvores Jovens								
Geração				Validação				
LS	M	LI	DV	LS	M	LI	DV	
Classe I								
C	5,3	16,1	25,3	4,3	6,4	18	32,9	5,3
LB	1,0	4,3	7,1	1,2	2,6	4,8	7,2	1
LC	1,5	5,9	10	1,8	3	6,6	9,5	1,5
LA	0,7	4,7	8,5	1,4	2,6	5,2	8,7	1,1
LM	1,1	5,0	8,5	1,4	2,8	5,5	7,8	1,1
AFR	8,8	79,0	149,7	37	17,2	95,4	148,6	38,7
Classe II								
C	18,1	28,3	36,8	3,9	21,1	29,2	39,2	4,4
LB	4,5	6,3	8,7	0,8	3,9	6,2	8,4	1
LC	7,4	9,7	13,6	1	6,8	10	12,8	1,4
LA	4,2	6,3	9,5	1	4	6,4	9,8	1,2
LM	5,7	7,4	10,1	0,8	5,5	7,5	10,3	1
AFR	151	212,8	299,1	41	150,4	228,2	349,5	51,7
Classe III								
C	28,5	35,8	42,8	2,9	34,5	39,2	44,8	2,5
LB	6,4	7,8	9,9	0,8	5,5	8,2	12,6	1,3
LC	9,2	12,3	16,1	1,2	10,3	12,9	16,3	1,4
LA	3,1	7,3	17,5	1,7	4,4	7,3	10,8	1,5
LM	6,6	9,1	12,7	1	6,7	9,5	12,5	1,3
AFR	300,1	346,4	496,7	49	350,1	397,7	579,1	61,9

*C: comprimento; LB: largura da base; LC: largura do centro; LA: largura do ápice; LM: Média das três larguras; AFR: área foliar real; LI: limite inferior; M média; LS limite superior e DV: desvio padrão.

As folhas dos indivíduos que cresceram nas áreas de regeneração (AJ), nos grupos usados na calibração e validação, apresentaram comprimento (C) médio igual à 16,1 e 18,0 cm; largura da base (LB) de 4,3 e 4,8 cm; largura do centro (LC) de 5,9 e 6,6 cm; largura do ápice (LA) igual à 4,7 e 5,2 cm; e a média das três larguras (LM) de 5,0 e 5,5 cm e área foliar real (AFR) igual à 79,0 e 95,4 cm²; na CII os valores encontrados foram 28,3 e 29,7 cm para C; 6,3 e 6,2 cm para LB; 9,7 e 10 cm para LC;

6,3 e 6,4 cm para LA; 7,4 e 7,5 cm para LM; 212,8 e 228,2 cm² para AFR; e na terceira classe (CIII) os valores médios de C foram 35,8 e 39,2 cm; de LB 7,8 e 8,2 cm; de LC 12,3 e 12,9 cm; de LA 7,3 e 7,3 cm; LM 9,1 e 9,5 cm e AFR de 349,4 e 397,7 cm² (Tabela 3).

Tabela 4. Dimensões lineares das folhas de *Bertholletia excelsa* em árvores adultas (AA), para geração e validação dos modelos de estimativa da área do limbo da folha. Sinop-MT, 2016.

Árvores Adultas								
	Geração				Validação			
	LS	M	LI	DV	LS	M	LI	DV
C	5,1	15,8	24,6	4,2	7,2	16,7	24,9	4,3
LB	1	4,5	7,5	1,3	1,3	4,4	7,2	1,2
LC	2	6,4	10,2	1,9	2,5	6,4	9,8	1,5
LA	1,1	4,9	8,4	1,5	1,3	4,9	8,7	1,4
LM	1,6	5,3	8,6	1,5	1,7	5,2	8	1,3
AFR	12,3	82,7	147,6	39	14,9	84,7	148,9	34,2
C	3,8	26,9	36,5	3,8	19,8	27,8	33,5	3,1
LB	4,8	6,7	8,7	0,9	4,5	6,9	9,9	1
LC	2,1	10,2	13,2	1,2	8,3	10,8	13,9	1,1
LA	4,4	7,3	10,3	1,1	2,9	7,3	9,7	1,3
LM	6	8,1	10,4	0,8	6,1	8,3	10,5	1
AFR	105,5	215,6	299,6	38,8	152	231,2	281,2	37,9
C	27,3	35,5	42,3	3,2	31,1	35,6	40	2,6
LB	5,7	8,3	10,4	1	7,5	8,9	10,8	1
LC	3,5	13,1	15,8	2	10,4	13,4	15,5	1
LA	5,1	8	17,7	1,6	6,5	9,2	11,9	1,2
LM	6,5	9,8	13,3	1	9,3	10,5	12,3	0,7
AFR	300,4	368,8	497,2	48,7	331,1	376,8	440,6	29,9

*C: comprimento; LB: largura da base; LC: largura do centro; LA: largura do ápice; LM: Média das três larguras; AFR: área foliar real; LI: limite inferior; M média; LS: limite superior e DV: desvio padrão.

A diferença entre as médias das dimensões lineares das folhas utilizadas no momento da geração e da validação dos modelos, independente da classe de tamanho e da idade da árvore não ultrapassaram 1,9 cm, confirmando a representatividade do número de folhas utilizado na amostragem para a validação dos modelos. A pequena diferença entre as médias se mantém na comparação das folhas das árvores jovens e adultas, sendo a diferença de 3,0 cm. A disponibilidade de luz para a atividade fotossintética é um dos fatores que mais podem alterar o tamanho das folhas (CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2007).

Evidenciou-se que as folhas das plantas jovens e adultas da Castanheira-do-Brasil mantêm sua morfologia e a amplitude da distribuição do comprimento, das larguras e área do limbo, não apresentando polimorfismo foliar em diferentes idades das folhas e fases do desenvolvimento da planta, sendo predominantemente suas folhas de formato oblongo e ápice acuminado durante todo o ciclo.

Tabela 5. Coeficientes ajustados (B), Erro, coeficiente de determinação (R²) e Desvio Padrão (DP) das Regressões lineares entre AF estimada com LC e LM para Árvores Jovens e Adultas da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). Sinop-MT, 2016.

Árvores Jovens				
Equação	B	Erro	R²	DP
4	1,0202	0,0031	0,9607	13,9510
5	1,0178	0,0029	0,9638	13,2803
6	1,0325	0,0075	0,9430	33,8322
7	1,0063	0,0023	0,9924	10,6648
8	1,0118	0,0024	0,9908	11,4031
9	1,0043	0,0005	0,9990	2,5961
10	1,0040	0,0005	0,9990	2,6736
11	0,9980	0,0014	0,9988	4,1506
12	1,0089	0,0012	0,9988	5,1755
Árvores Adultas				
Equação	B	Erro	R²	DP
4	1,0110	0,0034	0,9405	16,5136
5	1,0134	0,0033	0,9468	15,8460
6	1,0080	0,0055	0,9347	26,9386
7	0,9972	0,0030	0,9862	15,1306
8	1,0008	0,0024	0,9860	12,2184
9	1,0052	0,0007	0,9973	3,6976
10	1,0052	0,0007	0,9973	3,6976
11	1,0033	0,0021	0,9900	10,063
12	1,0044	0,0010	0,9973	4,8400

Em ambos os casos, as 9 equações testadas que consideram a largura da folha apresentaram um erro inferior a 0,0075, coeficientes ajustados (B) e de determinação (R²) próximos de 1 (Tabela 5). Portanto, a média dos valores entre as três larguras da área do limbo (LM) não aumenta a precisão na estimativa da área da folha.

Somente a equação 11 ($AF = a1*[(C*L)^b]$) para árvores jovens e o 7 ($AF = a1*C*L$ ela aqui) para árvores adultas subestima a área foliar quando calculado com LM, nos demais modelos AFE é maior quando calculada com LC (Tabela 5). Sendo

que, para Maldaner *et al.* (2009), empregar as variáveis simples de C e LC em modelos matemáticos é o mais indicado e desejável, simplificando os procedimentos de medidas no campo.

Tabela 6. Coeficientes ajustados (a1, a2, b) e de determinação (r^2) para os modelos de estimativa da área da folha de *Bertholletia excelsa* em diferentes estádios de desenvolvimento. Sinop-MT. 2016.

Árvores Jovens - AJ				
Eq	a1	a2	b	R²
1	7,8979			0,7937
2	7,8979	0		0,7937
3	0,5733		1,7724	0,9229
4	22,6386			0,7561
5	22,6386	0		0,7561
6	2,7449		1,9074	0,9208
7	0,7762			0,9847
8	0,7705	1,8134		0,9847
9	5,8806			0,8005
10	5,8806	0		0,8005
11	0,7997		0,9949	0,9847
12	0,1970		1,9209	0,9673
Árvores Adultas - AA				
Eq	a1	a2	b	R²
1	8,5236			0,7840
2	8,5236	0		0,7840
3	0,6152		1,7790	0,9230
4	22,0723			0,7608
5	22,0723	0		0,7608
6	2,2896		1,9418	0,9359
7	0,8825			0,8909
8	0,7543	5,1624		0,9710
9	6,1761			0,7929
10	6,1761	0		0,7929
11	0,9334		0,9674	0,9712
12	0,2353		1,8849	0,9614

Todos os coeficientes de determinação ficaram acima de 0,75 (Tabela 5), demonstrando que o uso de medidas lineares como o comprimento e a largura proporciona uma estimativa satisfatória da área da folha, para as diferentes idades de Castanheira-do-Brasil, e que a amostragem de 500 folhas usadas na geração dos modelos matemáticos mostrou-se o suficiente já que, Schmildt *et al.* (2016), conferiu

credibilidade para ajustes de modelos de determinação da área foliar com uma amostragem de 192 folhas.

Em folhas de plantas consideradas jovens de castanheira do Brasil, os maiores coeficientes de determinação durante o ajuste foram 0,98478; 984708; 0,984723 e 0,967334 sendo as equações (8; 7; 11 e 12) e para as folhas de plantas adultas: 0,971228; 0,971091; 0,961444; 0,923098 para equações 11; 8; 12 e 6. Os menores r^2 para ambos tratamentos foram para as equações 4; 5; 1 e 2 sendo para AJ: 0,756167; 0,756167; 0,793754 e 0,793754 e para AA: 0,760849; 0,760849; 0,784005 e 0,784005 (Tabela 6).

A ferramenta solver do Microsoft Excel não encontrou solução para o coeficiente ajustado a_2 das equações 2; 5 e 10, que, sem este coeficiente, igualaram-se as equações 1; 4 e 9 portanto foram excluídas da apresentação dos indicadores estatísticos (Tabelas 4 e 5).

As equações 8 e 11 apresentaram os melhores RMSE (14,36453; 14,40917) para AA. Já o RMSE foi considerado adequado para AJ observado nas equações 7 (18,19691) e 8 (18,16619). Os melhores MBA para AJ estão nas equações 7 (-1,18918) e 11 (-1,39767) e em (AA) nas equações 6 (-2,18059) e 8 (-2,07174). O índice de concordância de Willmott (dw) foi superior a 0,999 para todas as equações em ambos os tratamentos atestando a exatidão e uma ótima concordância dos modelos (Tabelas 6 e 7).

Tanto para árvores em estágio de regeneração (AJ) quanto para adultas, as equações 1 e 4 apresentaram os menores RMSE (53,76045; 58,96339 e 48,1783; 50,50694). O indicativo MBA também foi o menor para as equações 1 e 4 para AJ (-16,6819 e -17,5944) e para as AA os menores valores do indicativo foram observados nas equações 7 e 9 (-26,3957; -23,6774) (Tabelas 6 e 7).

Nenhum modelo superestimou a AFR, sendo que o menor erro médio relativo foi expresso pelas equações 11 e 6 para os dois casos em estudo. Os modelos que apresentaram o menor valor de dispersão dos dados (espalhamento) foram o 7, para AA, e 8, para AJ. E a considerada maior adesão entre os valores estimados e observados encontrados na equação 8 (Tabela 7).

A validação dos modelos matemáticos em estudo mostrou que, a área foliar da Castanheira-do-Brasil, tanto em árvores jovens quanto em árvores adultas, pode ser

mensurada de forma rápida, precisa e não destrutiva, usando-se as equações 8 e 11 ($AF = (a_1 \cdot C \cdot L) + a_2$; $AF = a_1 \cdot [(C \cdot L)^b]$; $AF = (a_1 \cdot [(C + L)^b])$). Não obstante, as equações 9 e 12 também apresentaram ótimos valores ponderados para ambos tratamentos.

Tabela 7. Indicativos estatísticos MBA; RMSE; dw e r das equações da estimativa da área foliar para Árvores Jovens e Adultas de *Bertholletia excelsa*. Sinop-MT. 2016.

Árvores Jovens - AJ			
Equação	MBA (cm²)	RMSE (cm)	dw
1	-16,6819	53,7604	0,9994
3	-2,8732	33,4010	0,9998
4	-17,5944	58,9633	0,9992
6	-1,3969	30,2325	0,9998
7	-1,1891	18,1969	0,9999
8	-1,7071	18,1661	0,9999
9	-17,7481	53,5690	0,9994
11	-1,3976	18,1934	0,9999
12	-2,0192	24,3238	0,9999
Árvores Adultas - AA			
Equação	MBA (cm²)	RMSE (cm)	dw
1	-22,8713	48,1783	0,9995
3	-3,0971	24,5490	0,9999
4	-22,6124	50,5069	0,9994
6	-2,1805	31,0351	0,9998
7	-26,3957	33,4922	0,9998
8	-2,0717	14,3645	0,9999
9	-23,6774	47,3641	0,9995
11	-2,3176	14,4091	0,9999
12	-2,5856	15,6175	0,9999

A equação 4 ($AF = a_1 \cdot L$) foi a que se mostrou menos adequada para estimar a AFR, uma vez que apresentou os maiores MBA e RMSE para AJ (-17,5944 cm²; 58,9633 cm) e para AA (-22,6124 cm²; 50,5069 cm). Quanto à modelagem da área foliar, na prática, o uso de equações de modelos lineares baseados em apenas uma dimensão linear é preferível por sua simplicidade para aplicação, principalmente no campo (LU et al., 2004). No caso deste estudo, no entanto, não se indica o uso de apenas uma medida linear, pois todas as equações ajustadas para que tiveram elevados valores ponderados consideram medidas de C e LC (Tabela 7 e 8). Autores como: Pereira; Splittstoesser, 1986; Campostrini; Yamanishi, 2001; Ruivo *et al.* 2003,

reafirmaram a precisão de modelos matemáticos potenciais, como as equações 11 e 12, para a determinação de área foliar de espécies vegetais.

Tabela 8. Valor ponderado (vp) dos indicativos estatísticos MBE; RMSE; dw e r das equações de estimativa de área foliar para Árvores Jovens e Adultas de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). Sinop-MT, 2016.

Equação	MBA	RMSE	dw	r²	Soma Σ
Árvores Jovens - AJ					
1	7	8	7	9	31
3	6	6	6	5	23
4	8	9	9	8	34
6	2	5	5	6	18
7	1	3	1	3	8
8	4	1	3	1	9
9	9	7	8	7	31
11	3	2	2	2	9
12	5	4	4	4	17
Árvores adultas - AA					
1	7	8	8	9	32
3	5	4	4	5	18
4	6	9	9	8	32
6	2	5	6	4	17
7	9	6	5	6	26
8	1	1	1	2	5
9	8	7	7	7	29
11	3	2	2	1	8
12	4	3	3	3	13

Batista et al. (2014) encontraram coeficientes de determinação satisfatórios na estimativa da área foliar de *B. excelsa*, utilizando o modelo linear com base no produto do comprimento pela largura ($AFE = 0,7735(CxL) - 7,4614$) e em modelos geométricos com base no comprimento ($AFE = 0,1814(C)^{2,052}$) e na largura ($AFE = 1,7674(L)^{2,0784}$). No entanto os autores só utilizaram como indicativo estatístico o R².

A área foliar é comumente envolvida em experimentos com fisiologia de fruteiras e produtividade de hortaliças e outras espécies. Além das diferentes taxas de fotossíntese e transpiração, a AF também afeta o crescimento a qualidade e a produção de frutos (CENTRITTO et al., 2000). Além disso, leva em consideração as relações solo-água-planta, envolvendo nutrição, competição de espécies, colheita e taxa de respiração ecossistêmica e transferência de calor em processos de aquecimento e resfriamento (IGATHINATHANE et al., 2006).

Conclusão

A Castanheira-do-Brasil encontrada no norte do estado do Mato Grosso não apresenta polimorfismo foliar nas diferentes fases de seu desenvolvimento estudadas;

As dimensões lineares de comprimento e largura, medidas no centro da folha foi o suficiente para estimar a área do limbo na espécie *Bertholletia excelsa*.

A área da folha da Castanheira-do-Brasil em plantas jovens e adultas pode ser mensurada de forma rápida, precisa e não destrutiva, pelos modelos matemáticos: $AF = (0,7705 * C * L) + 1,8135$; $AF = (0,7544 * C * L) + 5,1624$; $AF = 0,7997 * [(C * L)^{0,9949}]$ e $AF = 0,9334 * [(C * L)^{0,9674}]$.

Referências Bibliográficas

AMARAL, J.A.T. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: Ferreira, A. et al. (Eds). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCAUFES, p. 259-276, 2009.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal, Funep, p.41, 2003.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* L. usando dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 257-261, 2003.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricola**, v.62, p. 305-309, 2005.

CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K. Estimation of papaya leaf area using the central vein length. **Scientia Agricola**, v.58, p.39-40, 2001.

CARGNELUTTI FILHO, A.; LOPES, S.J.; TOEBE, M.; SILVEIRA, T. R.; SCHWANTES, I. A. Sample size to estimate the Pearson correlation coefficient among characters of *Crambe abyssinica*. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.149–158, 2015.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Leaf area estimation of five *Amaranthus* species using leaf blade linear dimensions. **Planta Daninha**, v. 25, p.317–324, 2007.

CAVALCANTE, M. C.; OLIVEIRA, F. F.; MAUÉS, M. M.; FREITAS, B. M. Pollination requirements and the foraging behaviour of potential pollinators of cultivated Brazil nut (*Bertholletia excels* Bonpl.) trees in Central Amazon rainforest. **Psyche**, v. 2012, p.1-9, 2012.

CENTRITTO, M.; LORETO, F.; MASSACCI, A.; PIETRINI, F.; VILLANI, M. C.; ZACCHINE, M. Improved growth and water use efficiency of cherry saplings under reduced light intensity. **Ecological Research**, v, 15, p.385-392, 2000.

COSTA, J. R. Aspectos silviculturais da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 4, p. 843-850, 2009.

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, p28–35, 2008.

DENEVAN, W.M. The pristine myth: The landscape of the Americas in 1492. **Annals of the Association of American Geographers**, v.82, n.3, p.369-385, 1992.

DUCHELLE, A.E., CRONKLETON, P., KAINER, K.A., GUANACOMA, G., GEZAN, S., Resource theft in tropical forest communities: implications for non-timber management, livelihoods, and conservation. **Ecology and Society**. V.16, v.1, 2011.

FAUSTINO, C. L.; WADT, L. H. O. Resistência mecânica do pericarpo de frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae). **Ciência da Madeira**, v.5, n1, p.25-33, 2014.

FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D. Y.; GARCÍA, A. G.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.769-773, 2002.

FERREIRA, M. J.; GONCALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de Castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetidas a adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FERREIRA, M.C.; ALANDIA, R. A.; CARVALHO, G.F.G; BAGGIO, M. V. Determinação de área foliar e retenção de líquido por folhas de café em pulverização a alto volume. **Nucleus**, Ituverava, v.7, n.1, p.277-283, 2010.

FRANCISCO, J. P. Estimativa da área foliar do abacaxizeiro cv. Vitória por meio de relações alométricas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.36, n.2, p.285-293, 2014.

IGATHINATHANE, C.; PRAKASH, V. S. S.; PADMA, U.; BABU, G.R.; WOMAC, A. R. Interactive computer software development for leaf area measurement. **Computers and Electronics in Agriculture** v.51: p.1–16, 2006

SANTOS, J. C. C; dos COSTA, R. N.; SILVA, D. M. R.; SOUZA, A. A. de; MOURA, F. DE B. P.; SILVA JUNIOR, J. M. da; SILVA, J. V. Use of allometric models to estimate leaf area in *Hymenaea courbaril* L. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.28, p357–369, 2016.

JESUS, J, R, W, C.; VALE, F. X. R.; COELHO, R. R.; COSTA, L.C. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. **Agronomy Journal**, v.93, p.989-991, 2001

KAINER, K.A., DURYEY, M.L., DE MACEDO, N.C., WILLIAMS, K. Brazil nut seedling establishment and autecology in extractive reserves of Acre. **Ecological Applications**. v.8, p.397–410, 1998.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. A. Method for conducting forest inventories without using volumetric equations. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LIMA, R. T.; SOUZA, P. J. O. P.; RODRIGUES, J. H.; LIMA, M. J. A. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.34, p. 974-980, 2012.

MAUÉS, M. M. 2002. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) in eastern Amazonian. In: KEVAN P; IMPERATRIZ F. (Eds.). Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature. Brasília, Distrito Federal: **Ministério do Meio Ambiente**. p. 245-254, 2002.

MAZZINI, R.B.; RIBEIRO, R.V.; PIO, R.M. A simple and non-destructive model for individual leaf area estimation in *Citrus*. **Fruits**, Cambridge, v.65, n.5, p.269-275, 2010.

MONTEIRO, E. B.; SILVA, C. C.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. Estimating Emission of Leaves Seedlings Forest in Different Shading Levels, at Conditions of Transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 05, p. 2330-2341, 2014.

MYERS, G.P., NEWTON, A.C., MELGAREJO, O., The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Forest Ecology Management**, v. 127, p.119–128, 2000.

NESMITH, D.S. Estimating summer squash leaf area no destructively. **Horticultural Science**, p.27-77, 1992.

OLIVEIRA, F. A. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 11, p. 1049-1056, 2015.

PEREIRA, J. F.; SPLITTSTOESSER, W. E. A rapid method to estimate leaf of cassava plants. **Horticultural Science**, v.21, p. 1218-1219, 1956.

PERES, C.A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P.A.; WADT, L.H.O.; KAINER, K.A.; GOMES-SILVA, D.A.P.; SALOMAO, R.P.; SIMOES, L.L.;FRANCIOSI, E.R.N.; VALVERDE, F.C.; GRIBEL, R.; SHEPARD JR., G.H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D.W.; WATKINSON, A.R.; FRECKLETON, R.P.; Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, p. 2112–2114, 2003.

PINTO, A. C. R. Modelos para estimativa de área foliar de *Curcuma alismatifolia* e *Curcuma zedoaria*. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 549-552, 2008.

SANTOS, J. C.; SENA A. L. S.; ROCHA, C. I. L. **Competitividade brasileira no comércio internacional de castanhado-brasil**. Anais Congresso Brasileiro da Sociedade de Economia, Administração e Sociologia Rural2010, v48, p1-14, 2010.

SCHMILDT, E. R. Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 4, p. 740-748, 2015.

SCHMILDT, E. R.; AMARAL, J. A. T.; SANTOS, J.S.; SCHMILDT, O. Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, p.740–748, 2016.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. 2011. 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, n. 1, p. 71–81, 2011.

SILVA, V. S. Sistema reprodutivo e diversidade genética de *Bertholletia excelsa* em diferentes ambientes no Estado do Acre. **Dissertação** (Mestrado em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia) - Universidade Federal do Acre. Rio Branco, 2014, 47p.

SOUSA, W. P.; FERREIRA, L. A. Os sistemas agrários com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) na região sul do Estado do Amapá. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento** v.2, n.3 p.217-246, 2006.

SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F.; DAL PAI, A.; GOMES, E. N. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.277-288, 2011.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de mato grosso. **Nativa**, v.1, n.1, p.34-43, 2013.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

TONINI, H.; COSTA, P; KAMINSKI, P. E. Manejo de produtos florestais não madeireiros na Amazônia - (Castanheira-do-Brasil) Resultados da pesquisa. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008, 31p.

VIANA, V.M., MELLO, R.A., MORAES, L.M., MENDES, N.T., Ecologia e manejo de populações de castanha-do-pará em reservas extrativistas Xapuri, Estado do Acre. **Instituto Nacional de Pesquisa Amazonia**, Manaus, Brasil, p. 277–292, 1998

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C; Serrano, R. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n.1, p.332-346, 2008.

WADT, L. H. OKAINER, K. A. Domesticação e melhoramento de castanheira. **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 301-321, 2009.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p.184-194, 1981.

ZUCOLOTO, M.; SANTOS, J. G.; BREGONCIO, I. S.; ALMEIDA, G. D.; VICENTINI, V. B.; MORAES, W. B.; COELHO, R. I. Estimativa de área foliar de goiaba por meio de dimensões foliares do limbo foliar. **Revista Univap**, v. 13, n. 24, p. 1-4, 2006.

ZUIDEMA, P.A. Ecology and Management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*). **PROMAB Scientific Series**, v.6, Bolivia, 2003.

ZUIDEMA, P.A., BOOT, R.G.A. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v.18, p.1–31, 2002.

CAPÍTULO 3 - Características Morfométricas de Castanheira em duas condições ambientais no norte do Estado do Mato Grosso

Resumo: A semente da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) é apreciada pelo seu sabor e suas qualidades nutricionais além de ser símbolo do desenvolvimento sustentável e estratégico para a conservação da Amazônia, sendo proibida de corte em florestas nativas e na conversão de áreas para lavoura/pastagem à 21 anos, desde então indivíduos crescem isolados da competição com outras espécies, em condições de radiação, balanço hídrico e nutrição de solo diferentes da floresta, nesse contexto, caracterizou-se a influência do ambiente: lavoura e floresta nas características morfométricas da arquitetura de árvores adultas da Castanheira do Brasil. Durante o mês de junho do ano 2016, amostraram-se 100 matrizes de *B. excelsa* na região sul da Amazônia, inventariadas em área de Floresta (FN) (11°34' S; 94°55'17' W), área está explorada desde 2002 conforme princípios atuais do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS – Decreto N° 1.282/1994); e outras 100 árvores isoladas em área de lavoura soja/milho (AA). Aferiu-se o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total e comercial (até inserção do primeiro galho), Para cada árvore-amostra foi calculado a área basal (g), a área de projeção da copa (APC), a percentagem de copa, o grau de esbeltez (GE), o índice de abrangência (IA), o índice de saliência (IS) e o índice de espaço vital (IEV). Categorizou-se a idade das árvores de forma indireta e não destrutiva, em classes diamétricas em função da distribuição de frequência dos DAPs em cada condição fitossociológica. Calculou-se a estatística descritiva, análise de variância e gerou-se as curvas de distribuição. A estratificação dos dados em classes diamétricas para análise dos padrões morfométricos foi adequada, e encontrou-se diferença entre as condições ambientais. O diâmetro a altura do peito (168,47 cm) e a área basal (2,241 m²) são maiores na lavoura. A diferença no ambiente de crescimento não influencia na altura da copa das árvores; O diâmetro de copa médio é maior em espécimes encontrada na floresta (33,3), apenas quando consideradas as castanheiras mais velhas (com DAP maior que 1 m). O diâmetro de copa, independente da idade da árvore e da condição ambiental, é diretamente proporcional ao diâmetro do fuste. Maiores grau de esbeltez (64,35; 39,54; 27,84 para as classes 1, 2 e 3), índices de abrangência (0,58; 0,65; 0,79 para as classes 1, 2 e 3), índices de espaço vital (1253,35; 631,02 e 456,40 para as classes 1, 2 e 3), e saliência (34,42; 24,77 e 21,24 para as classes 1, 2 e 3), ocorrem em indivíduos crescidos no ambiente da floresta. O índice de sobrevivência é maior em castanheiras de menor diâmetro (qual), tanto no ambiente lavoura quanto no da Floresta.

Palavras-chave: *Bertholletia excelsa*, Diâmetro, Altura, Floresta Nativa.

Morphometric Characteristics of Castanheira in two environmental conditions in the north of the State of Mato Grosso

Abstract: The Brazil nut seed is appreciated for its flavor and nutritional qualities as well as being a symbol of sustainable and strategic development for the Amazonian conservation, being forbidden to cut in native forests and in the conversion of areas for cultivation / pasture At 21 years (decree no. 1,282, October 19, 1994), individuals have grown isolated from competition with other species under conditions of radiation, water balance and soil nutrition different from the forest, in this context, the influence Of the environment: tillage and forest in the morphometric characteristics of the architecture of adult trees of the Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.). During the month of June of the year 2016, 100 matrices of *B. excelsa* were sampled in the southern region of Amazonia, inventoried in Floresta (FN) area (11 ° 34 'S, 94 ° 55 ° 17' W), area Exploited in 2002 according to the current principles of the Sustainable Forest Management Plan (PMFS - Decree No. 1.282 / 1994); And another hundred isolated trees in a planted area (AA). For each sample tree, the basal area (g), the crown projection area (APC), and the total height of the crown were measured. (IA), salience index (SI) and living space index (VFI). In the present study, the spatial distribution of the spatial variability of the spatial distribution of the spatial variability of the spatial variability of the spatial distribution of spatial variability was studied. The age of the trees was indirectly and non-destructively categorized according to the frequency distribution of DAPs in each phytosociological condition. The descriptive statistics, variance analysis and the distribution curves were calculated. The stratification of the data in diametric classes to analyze the morphometric patterns was adequate, and a difference was found between the environmental conditions. The diameter at the chest height (168.47 cm) and the basal area (2,241 m²) are larger in the crop. The difference in the growth environment does not influence the height of the canopy; The mean crown diameter is higher in specimens found in the Forest (33.3), only when considering the older chestnut trees (with DBH greater than 1 m). The canopy diameter, regardless of tree age and environmental condition, is directly proportional to the stem diameter. The highest degree of slenderness (64.35, 39.54, 27.84 for classes 1, 2 and 3), comprehensiveness indexes (0.58, 0.65, 0.79 for classes 1, 2 and 3) , Living space indices (1253.35, 631.02 and 456.40 for classes 1, 2 and 3), and salience (34.42, 24.77 and 21.24 for classes 1, 2 and 3) , Occur in individuals grown in the forest environment. The survival rate is higher in Brazilians with smaller diameter (both), both in the forest environment and in the forest.

Keywords: *Bertholletia excelsa*, Diameter, Height, Native Forest.

Introdução

A Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa*) fornece sementes que constituem um importante produto para o desenvolvimento socioeconômico da floresta tropical,

sendo símbolo da conservação de áreas de Reservas Extrativistas (RESEX's) (WADT et al., 2008). A extração da amêndoa da castanha-do-Brasil sustenta a economia local e regional em grande parte da Amazônia. Em 2011 foram produzidas mais de 42 mil toneladas de amêndoas, gerando mais de R\$ 69 milhões (IBGE, 2011), de renda que circulou entre as comunidades extrativistas, pequenos produtores e populações indígenas, bem como empresários da agroindústria e do setor de exportação.

Bertholletia excelsa também tem potencial para compor sistemas agroflorestais (SAFs) (SILVA et al. 2008), um exemplo é encontrado no município de Tomé-Açu (PA), implantado por imigrantes japoneses há mais de 20 anos (MENDES, 2003). Existem alguns monocultivos da espécie, como o encontrado na Fazenda Aruanã, em Itacoatiara-AM, que em 2006 haviam 318.000 árvores enxertadas em fase de produção de frutos e 679.000 árvores destinadas à produção de madeira, em uma área de 3.600 ha (INPA, 2007).

No entanto, os maiores centros produtores de amêndoas ainda são castanhais nativos, estes cobrem uma superfície de aproximadamente 325 milhões de hectares na Amazônia, com a maior parte distribuída entre o Brasil (300 milhões), a Bolívia (10 milhões) e o Peru (2,5 milhões) (TONINI, 2007).

A morfometria individual das árvores reflete diretamente a produtividade florestal madeireira e não madeireira, além de descrever importantes parâmetros de crescimento (PUKKALA et al., 2009; CUNHA et al., 2013). Esses estudos vão além do sentido estático, pois a dinâmica do tamanho e forma da parte aérea ao longo do tempo é imprescindível para a silvicultura, especialmente, quando se busca tornar efetiva a utilização de espécies da flora nativa em reflorestamentos (ROMAN et al., 2009).

Entender como as mudanças no ambiente estão moldando o crescimento de árvores, refletindo na sua variação do tamanho e forma, subsidia estratégias para o manejo dos recursos florestais. No nível de indivíduo, tais informações permitem inferir sobre as posições sociais distintas de cada planta, aplicando-se diretamente em florestas e povoamentos inequidanos, uma vez que, fornece informações sobre o espaço vital adequado à dimensão da árvore (COSTA; FINGER; FLEIG, 2016).

Conhecer parâmetros como: área de projeção, percentual de copa, grau de esbeltez, índice de abrangência, índice de saliência e o índice de espaço vital elucidada

as relações ecológicas de crescimento das árvores no ambiente onde se encontram (WINK et al., 2012). Além disso, permitem prever o espaço necessário para cada árvore ao longo de seu desenvolvimento, o grau de concorrência entre indivíduos de um povoamento e fazer inferências sobre a estabilidade e a vitalidade (DURLO, 2001).

Essas informações somadas às condições ambientais da planta são necessárias para subsidiar programas de melhoramento e conservação dos centros de origem de castanha-do-Brasil, caracterizando os sítios produtores e equilibrando a coleta com a manutenção da regeneração e da diversidade genética da espécie (RIBEIRO et al., 2014).

No Norte de Mato Grosso árvores proibidas de corte, ficam isoladas da mata em meio à lavoura, devido ao desmate para produção agrícola. Em geral, o impacto do comportamento atípico das modificações ambientais pode ser percebido através das diferentes estratégias fisiológicas de crescimento/desenvolvimento das plantas quando sujeitas a condições de estresse abiótico.

Nesse contexto, para entender a influência das mudanças ambientais na arquitetura de árvores adultas da Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), caracterizou-se a morfometria de populações em dois sítios produtores de amêndoas, ecologicamente distintos: área de mata nativa (sob exploração de baixo impacto) e árvores isoladas em área de lavoura (desmatada).

Metodologia

Na Amazônia mato-grossense, no mês de junho de 2016, demarcaram-se matrizes de *Bertholletia excelsa* (Castanheira-do-brasil) em diferentes condições fitossociológicas: 100 árvores na floresta nativa – FN (Figura 1-A) e 100 isoladas de competição - AA (área antropizada) (Figura 1-B). Ambas as áreas de estudo localizam-se na região de transição Cerrado-Amazônia. A vegetação predominante é classificada como Floresta Estacional Sempre-Verde (IBGE, 2012) e o solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (RADAMBRASIL, 1980), característico da região amazônica, apresentando baixa fertilidade natural e alta acidez (VITOUSEK; SANFORD, 1986). O clima da região é do tipo Aw (tropical quente e úmido), pela classificação de Köppen, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro); com

baixa amplitude térmica anual (médias mensais variando entre 24 e 27 °C) e precipitação média anual em torno de 1974 mm (SOUZA et al., 2013).

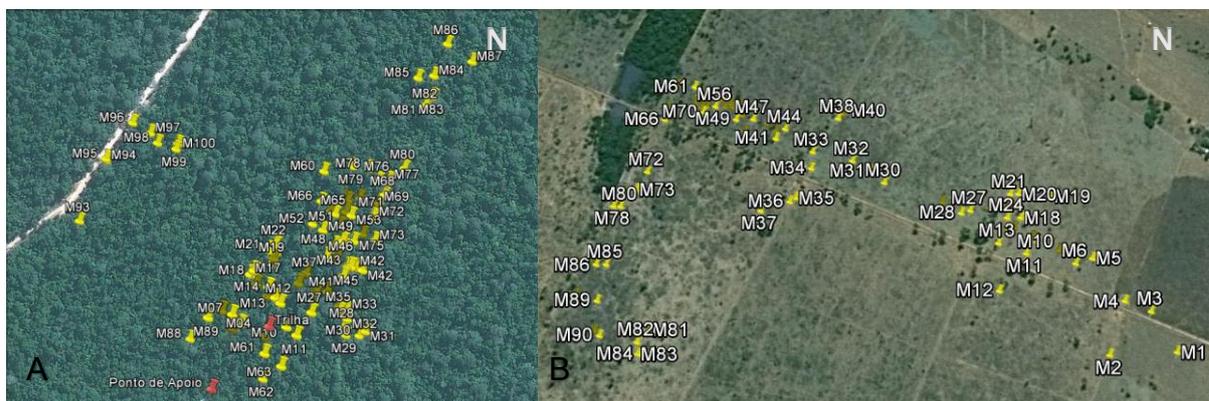


Figura 1. Localização da área experimental, Floresta Nativa - **FN**: Fazenda Continental em Cláudia – MT (**A**); Área Antropizada - **AA**: Fazenda Agropecuária Castanheira, Itaúba-MT (**B**). 2016.

A área de estudo em floresta nativa localiza-se em uma propriedade particular conveniada com a UFMT/SINOP e na qual o Grupo de Pesquisa “Interações Ambiente e Planta” desenvolve projetos de pesquisa com matrizes de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl) em diferentes padrões de crescimento. O levantamento das matrizes na mata foi orientado sob um sistema de trilhas (5 km de extensão cada), pertencente ao módulo I (11°34' S; 55°17' W) da rede de pesquisas ecológicas de longa duração do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), inserido na Fazenda Continental em Cláudia – MT, que foi explorada em 2002, conforme o Decreto N° 1.282/1994. A segunda área de estudo (área antropizada) localiza-se no município de Itaúba – MT, na fazenda Agropecuária Castanheira (-11°9'20"S; 55°19'69"W) (Figura 1).

Cada matriz foi identificada, plaquetada e georreferenciada. No início da seca (junho de 2016), aferiu-se com fita métrica a Circunferência à Altura do Peito (CAP), alturas total e comercial (com auxílio do clinômetro), diâmetros de copa longitudinal e equatorial, utilizando trena à laser, obtendo-se o diâmetro médio de copa (DC), e a altura da copa (HC), considerado como a diferença entre as alturas total e comercial.

Para cada árvore-amostra foi calculado a área basal (g em m²), a área de projeção da copa (APC em m²), a percentagem de copa (PC), o grau de esbeltez (GE), o índice de abrangência (IA), o índice de saliência (IS), bem como: o índice de espaço

vital (IEV) (DURLO; DENARDI, 1998; STERBA, 1992), conforme as fórmulas expressas abaixo.

$$g = \frac{\pi * DAP^2}{4}$$

$$APC = \left(\frac{\pi}{4}\right) * DC^2$$

$$PC = \left(\frac{HCO}{HT}\right) * 100$$

$$GE = \frac{HT}{DAP}$$

$$IA = \frac{DC}{HT}$$

$$IS = \frac{DC}{DAP}$$

$$IEV = \left(\frac{DC}{DAP}\right)^2$$

Onde: DAP é diâmetro à Altura do Peito (m); HT e HC são as alturas total e comercial (m); DL e DE são os diâmetros de copa longitudinal e equatorial (m); DC diâmetro médio de copa (m); HCO é a altura da copa (m); g é a área basal (m²); APC é a área de projeção da copa (m²); PC é a percentagem de copa; GE é o grau de esbeltez; IA é o índice de abrangência; IS é o índice de saliência e IEV é o índice de espaço vital.

Para entender como a o ambiente influenciou nos parâmetros morfométrico avaliados em uma população inequiana, e categorizar a idade das árvores de forma indireta e não destrutiva, as mesmas foram separadas em classes diamétricas em função da distribuição da frequência dos DAPs em cada condição fitossociológica, AA e FN. Realizou-se a análise de variância á nível de 5 % de probabilidade.

Resultados

A amplitude dos diâmetros a altura do peito encontrada na área de mata (FN) foi de 0,3 - 1,2 m, na qual a maior ocorrência de indivíduos foi na faixa de 0,7 - 0,9 m. Na área antropizada (AA) o intervalo de DAP foi de 0,7-1,9 m, com maior ocorrência entre 1,1 - 1,3 m (Figura 2). Dessa forma para categorizar a idade das árvores de forma indireta e não destrutiva determinou-se que, na área antropizada (AA) a Classe

1 abrangeria indivíduos com DAP menor que 1 m; na Classe 2 maior que 1 e menor que 1,5 m e na Classe 3 maior que 1,5 m. Na área de floresta nativa (FN) a Classe 1 correspondeu às árvores com DAP inferior a 0,5 m, a Classe 2 superiores à 0,5 m e inferiores à 1 m e na Classe 3 superiores à 1 m (Figura 1).

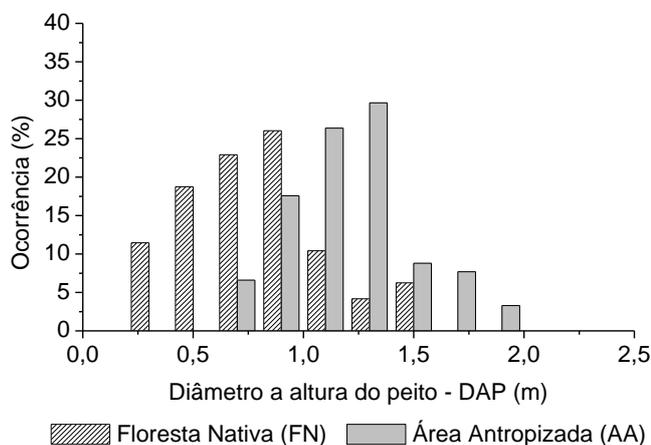


Figura 2. Distribuição de frequência do diâmetro à altura do peito – DAP (cm) de populações de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

Como o cálculo da área basal (g) depende unicamente do DAP (diâmetro à altura do peito) suas distribuições foram semelhantes. Ambos os parâmetros foram maiores na área da lavoura independente da classe diamétrica e apresentaram uma menor amplitude entre os indivíduos jovens (Classe 1) na floresta. A distribuição de frequência foi unicaudal na classe três da lavoura e mais uniforme entre os indivíduos da classe dois para ambos os tratamentos (Figura 3).

Os limites máximo e mínimo do diâmetro à altura do peito no ambiente da Lavoura foram: 67,5–102,5 cm; 97,5–152,5 cm; 155–195 cm e na Floresta foram: 27–49 cm; 52,5–102,5 cm; 105–155 cm para as Classes 1, 2 e 3 respectivamente. E o intervalo de DAP com maior ocorrência foi entre 92,5–97,5 cm; 102,5–127,5 cm; 155–165 cm; 35–45 cm; 72,5–82,5 cm e 105–115 cm na mesma ordem (Figura 3).

A área basal das árvores isoladas da floresta apresentou amplitude de 0,375 – 0,775 m²; 0,75 – 1,75 m²; 1,9 – 2,9 m²; e das árvores na mata de 0,05 – 0,19 m²; 0,15 – 0,75 m² e 0,9 - 1,9 m² para as classes 1, 2 e 3. Na mesma sequência, os intervalos de área basal que representam a maioria da população por classe e condição ambiental foram: 0,475 – 0,775 m²; 0,85 – 1,35 m²; 1,9 – 2,3 m²; 0,11- 0,17 m²; 0,25 – 0,55 m²; 0,9 – 1,5 m² (Figura 3).

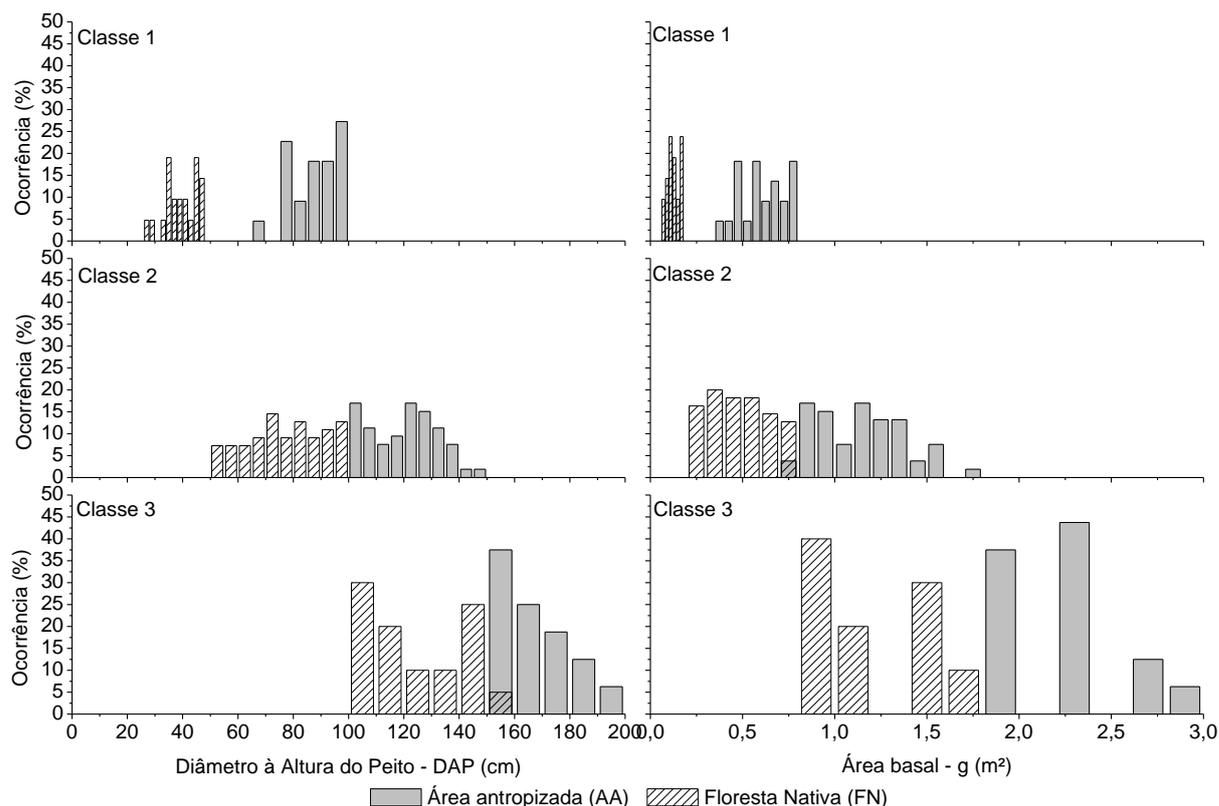


Figura 3. Distribuição de frequência do diâmetro à altura do peito – DAP (cm) e da área basal – g (m²) para três classes diamétricas da população de *Bertholletia excelsa* nas condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

A altura total máxima e mínima na área de Lavoura para as Classes 1, 2 e 3, foram: 25 - 35 m; 21 - 39 m; 27 - 39 m e na Floresta: 13 - 33 m; 19 - 41 m; 17,5 - 42,5 m. E o intervalo de HT que concentrou o maior número de indivíduos foi entre: 27 - 33 m; 31 - 35 m; 29 - 31 m; 25 - 27 m; 27 - 31 m e 32,5 - 37,5 m na mesma ordem (Figura 4).

A altura do fuste das árvores isoladas da floresta variou entre 9 - 29 m; 13 - 29 m; 15 - 25 m; e das árvores na mata de 13 - 23 m; 15 - 31 m; 15 - 27 m para as classes 1, 2 e 3. Os intervalos de AF que abrangeram a maioria da população por classe e condição ambiental foram: 21 - 25 m; 19 - 23 m; 21 - 25 m; 19 - 21 m; 21 - 25 m e 21 - 25 m, respectivamente, na mesma ordem (Figura 4).

Na análise da variável altura, observou-se que as mesmas não mantiveram o padrão de distribuição encontrado para o DAP e g, com exceção da Classe 1 (indivíduos mais jovens), uma vez que HT e HC não foram maiores no ambiente da

lavoura. Maior heterogeneidade de HT foi encontrada nas árvores da floresta independente da classe, e de HC na Classe 1 da lavoura (Figura 4).

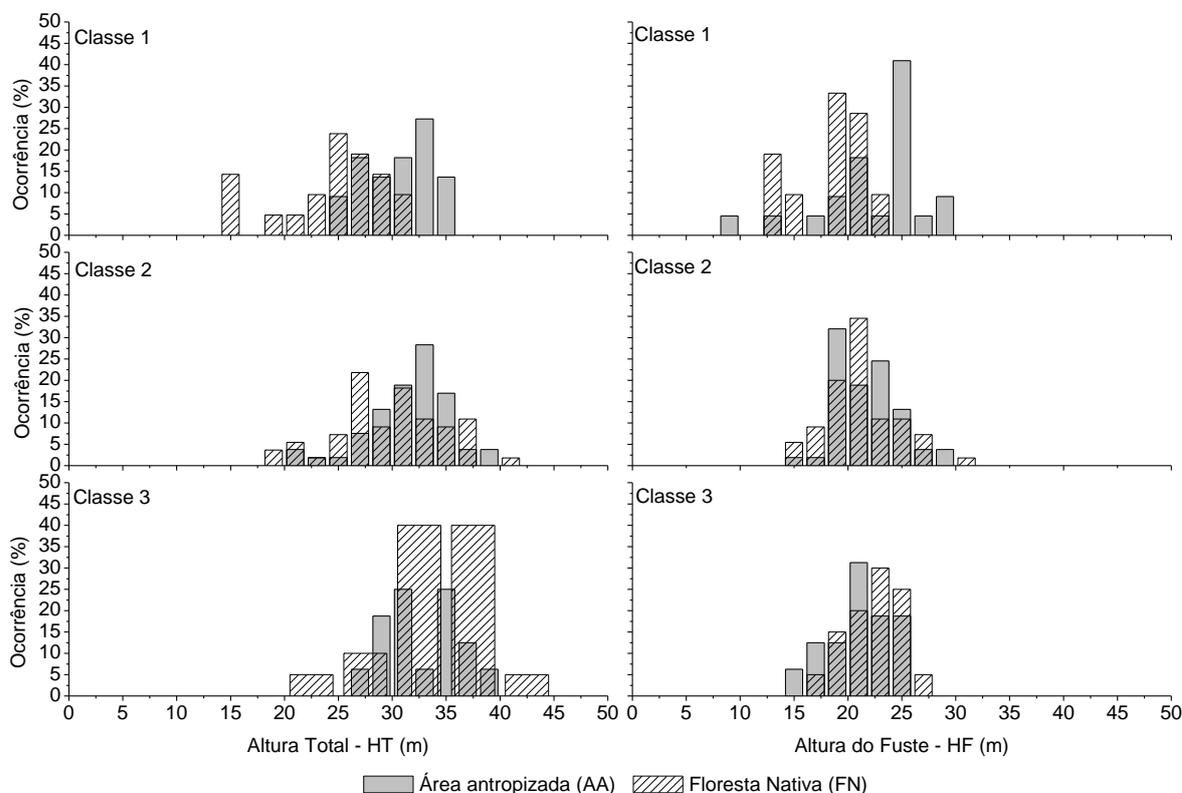


Figura 4. Distribuição de frequência da altura total (m) e da altura do fuste (m) para as três classes diamétricas da população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

Em árvores isoladas da floresta as alturas de copa máxima e mínima foram 3 – 17 m; 5 – 17 m; 9 – 19 m e na Floresta foram 1 – 11 m; 1 – 21 m; 1 – 19 m, para as Classes 1, 2 e 3. Para a maioria da população, no entanto, observou-se HC entre: 7 – 9 m; 9 – 11 m; 9 – 13 m (em AA); 5 – 9 m; 5 – 7 m e 11 – 15 m (em FN) (Figura 5).

Encontrou-se diâmetro de copa médio na área antropizada entre 11 – 21 m; 11 – 33 m; 12,5 – 32,5 m; e das árvores na mata de 5 – 23 m; 11 – 29 m e 21 – 33 m para as classes 1, 2 e 3. Na mesma sequência, os intervalos de DC que mais representam a população por classe e a condição ambiental foram: 11 – 15 m; 15 – 21 m; 17,5 – 22,5 m; 13 – 15 m; 19 – 21 m e 23 – 29. Menores DC na classe 3 e maior heterogeneidade da HC foi observado na floresta entre as classes 2 e 3 (Figura 5).

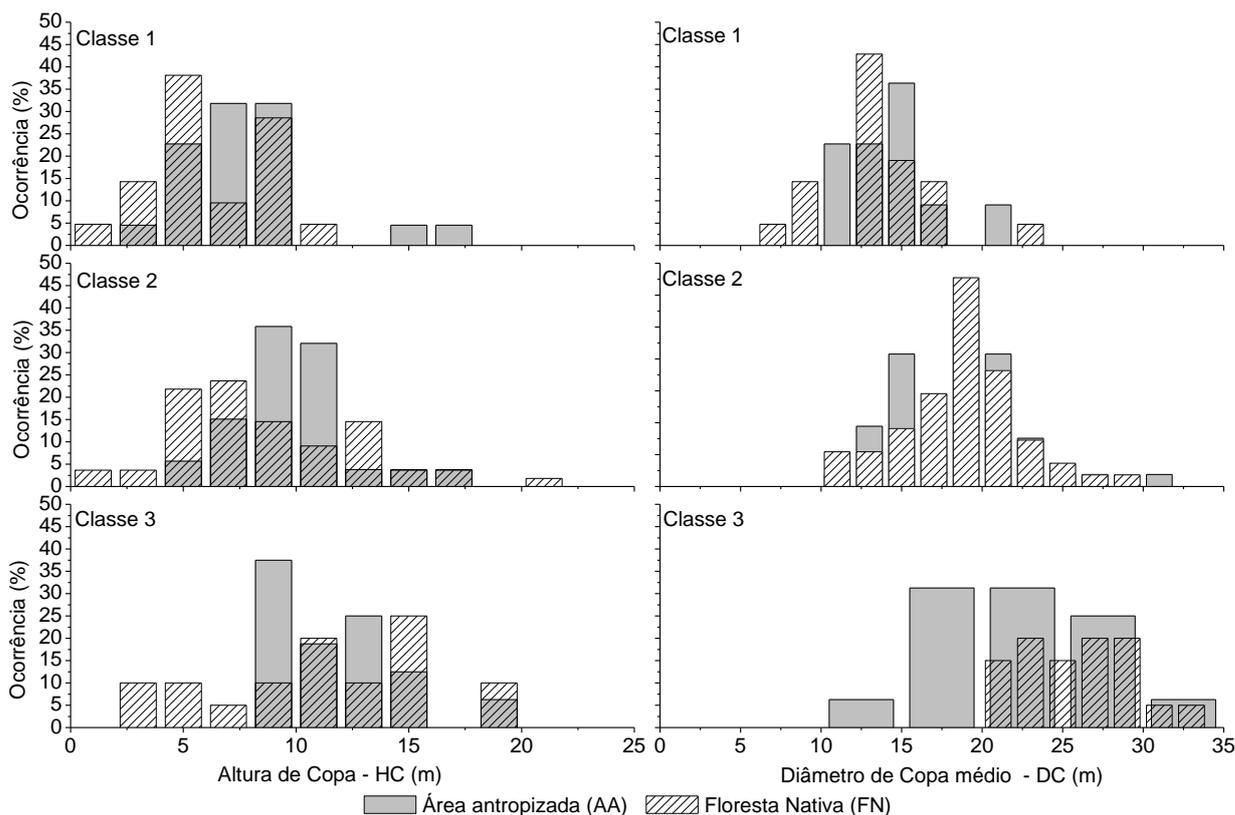


Figura 5. Distribuição de frequência da altura de copa – HC (m) e do diâmetro de copa médio – DC (m) para três classes diamétricas na população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

A área de projeção da copa das árvores na área de Lavoura não ultrapassou os limites de: 75 – 375 m²; 50 – 750 m²; 150 – 750 m² e na Floresta de: 25 – 375 m²; 50 – 650 m² e 350 – 850 m², para as Classes 1, 2 e 3 respectivamente. O intervalo de APC com maior ocorrência ficou entre 125 – 175 m²; 150 – 350 m²; 250 – 350 m²; 125 – 175 m²; 250 – 350 m² e 350 – 650 m², na mesma ordem (Figura 6).

O percentual de copa das árvores isoladas da floresta apresentou Limites superior e inferior de: 5 – 65 %; 17,5 – 47,5 %; 27,5 – 47,5 % e das árvores na mata de 12,5 – 42,5 %; 5 – 55 %; 12,5 – 52,5 % para as classes 1, 2 e 3. Na mesma sequência, os intervalos de PC que representam a maioria da população por classe e condição ambiental foram: 15 – 25 %; 27,5 – 32,5 %; 32,5 – 37,5 %; 12,5 – 27,5 %; 25 – 35% e 32,5 – 37,5 % (Figura 6).

Menores valores de APC foram encontrados na Classe 3 na AA, todavia, a distribuição de frequência manteve padrão semelhante em ambos ambientes nas Classes 1 e 2. Maior heterogeneidade de PC foi observada na floresta para as Classes

diamétricas 1 e 2, já para árvores mais jovens (Classe 1) foi maior na população isolada da mata (Figura 6).

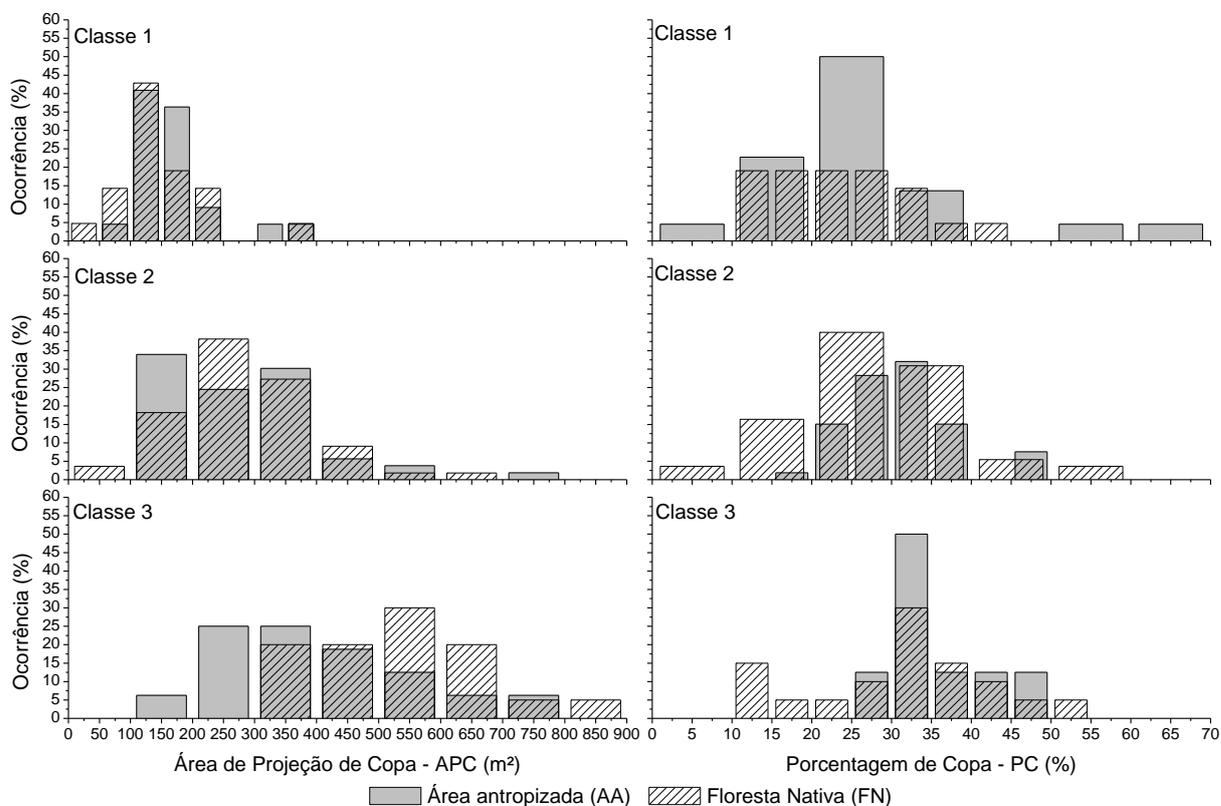


Figura 6. Distribuição de frequência da área de projeção de copa – APC (m²) e da porcentagem de copa – PC (%) para três classes diamétricas de população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

Os limites máximo e mínimo do grau de esbeltes na Lavoura foram: 27,5 – 47,5; 17 – 35; 15,5 – 22,5 e na Floresta foram de: 35 – 105; 22,5 – 62,5; 12,5 – 37,5 para as classes 1, 2 e 3, respectivamente. Com relação ao intervalo de GE, a maior ocorrência foi entre 32,5 – 37,5; 25 – 31; 19,5 – 20,5; 55 – 65; 32,5 – 42,5 e 27,5 – 32,5, na mesma ordem (Figura 7).

O índice de abrangência das árvores isoladas na área da floresta apresentou amplitude igual a: 0,375 – 0,725; 0,35 – 0,95; 0,35 – 0,95 e das árvores na mata de 0,25 – 0,95; 0,35 – 1,05; 0,55 – 1,35 m para as classes 1, 2 e 3. Na mesma sequência, os intervalos de IA que representam a maioria da população por classe e condição ambiental foram: 0,425 – 0,475; 0,55 – 0,65; 0,55 – 0,65; 0,55 – 0,65; 0,55 – 0,65 e 0,75 – 0,85. Independente da classe diamétrica, maior grau de esbeltes e maiores índices de abrangência foram observados na mata (FN) (Figura 7).

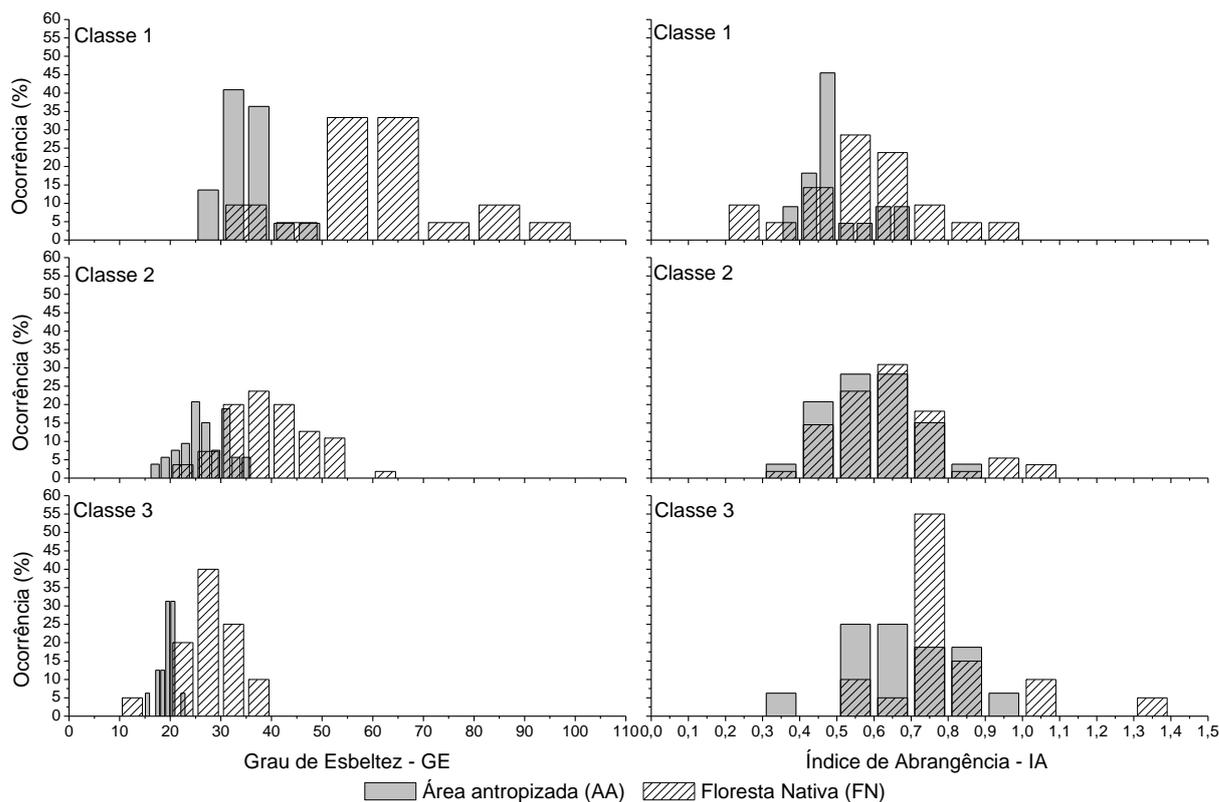


Figura 7. Distribuição de frequência do grau de esbeltez – GE e do índice de abrangência – IA, para três classes diamétricas da população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

Os valores do índice de saliência máximo e mínimo na área de lavoura para as Classes 1, 2 e 3, foram: 11 – 25; 9 – 23; 7 - 17 e na Floresta: 12,5 – 47,5; 15 – 33; 17 - 27. Sendo, o intervalo de IS que concentrou o maior número de indivíduos entre: 15 – 17; 15 -17; 11 – 13; 27,5 – 37,5; 23 – 25 e 19 - 23, na mesma ordem (Figura 8).

O índice de espaço vital das árvores isoladas do ambiente da floresta variou entre: 125 – 575; 75 – 525; 75 - 275 e das árvores na mata de 250 – 2250; 250 – 1150; 250 – 750 para as classes 1, 2 e 3. Os intervalos de IEV que abrangeram a maioria da população por classe e condição ambiental foram 225 – 325; 225 – 275; 125 – 175; 750 – 1250; 550 – 650 e 350 – 550, respeitando a mesma ordem (Figura 8).

Na mata foram encontrados os maiores índices de espaço vital e saliência independente do diâmetro, e também maior heterogeneidade desses indicativos nas Classes 1 e 2 (Figura 8).

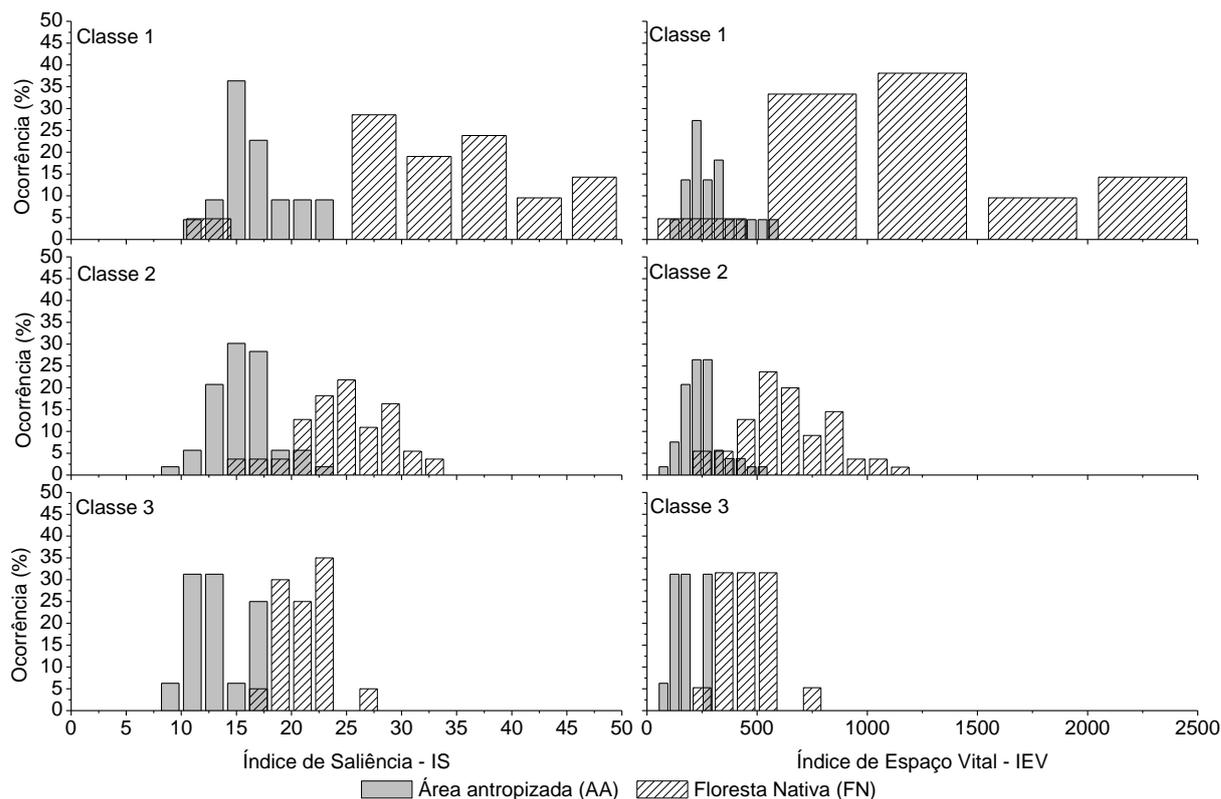


Figura 8. Distribuição de frequência do índice de saliência – IS e do índice de espaço vital – IEV para três classes diamétricas da população de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA). 2016.

As médias do diâmetro a altura do peito e a área basal foram diferentes entre as condições de AA e FN, sendo maiores na classe 3 (DAP: 122,3 m e 168,47 m; g: 1,197 m² e 2,241 m² para FN e AA) e na área desmatada (DAP: 87,43 m; 119,93 m; 168,47 m; e g: 0,606 m²; 1,142 m²; 2,241 m²). A altura total e do fuste não diferiram entre as classes na área de lavoura, já na floresta a HT decresceu conforme houve a diminuição do diâmetro, sendo a HF inferior na Classe 1 (18,28 m) (Tabela 1).

A diferença para ambos os casos do ambiente, não influenciou na altura da copa das árvores, e quanto ao diâmetro de copa médio apenas foi significativo para as árvores mais velhas (Classe 3), dentre as quais, observou-se maiores valores na Floresta Nativa (25,79 m). O DC em ambos tratamentos e o HC na floresta reduziram conforme houve a redução do DAP das árvores estudadas. Já em AA a altura da copa foi maior na classe 3 (11,65 m), menor na classe 1 (7,78 m) e indiferente em árvores de DAP intermediário (9,86 m) (Tabela 1).

A porcentagem de copa não diferiu entre os ecossistemas, e a área de projeção da copa foi maior na FN do que em área antropizada, apenas quando comparadas as árvores enquadradas na Classe 3 (528,77 m²). Já no ambiente da lavoura a APC foi maior nas árvores com maior diâmetro. E independente da condição fitossociológica a porcentagem de copa foi maior na Classe 3 (31,71%; 35,50% em FN e AA) e inferior na 1 (23,99%; 26,22% em FN e AA) (Tabela 1).

O grau de esbeltez, bem como o índice de abrangência apresentou-se maior na floresta do que na área antropizada independente da Classe diamétrica. O GE mostrou-se inversamente proporcional ao diâmetro das árvores em ambas as condições ambientais, já que maiores valores (34,87 e 64,35 para AA e AJ) foram encontrados na Classe 1 e menores (19,42 e 27,84 para AA e AJ) na 3. O índice de abrangência foi maior na Classe 3 em FN (0,79) e em AA (0,69) (Tabela 1).

Tabela 9. Diâmetro a altura do peito – DAP (cm); área basal - g (m²); altura total – HT (m); altura do fuste – HF (m); altura da copa - HC (m); diâmetro de copa médio – DC (m); área de projeção de copa - APC (m²); porcentagem de copa – PC (%); grau de esbeltez GE; Índice de abrangência - IA; Índice de saliência - IS; Índice de espaço vital – IEV das populações de *Bertholletia excelsa* em diferentes condições fitossociológicas: Floresta Nativa (FN) e Área Antropizada (AA) em três classes diamétricas. 2016.

Classes	1	2	3	1	2	3
	DAP (cm)			g (m²)		
Floresta	39,58 Bc	77,26 Bb	122,33 Ba	0,13 Bc	0,48 Bb	1,20 Ba
Lavoura	87,43 Ac	119,93 Ab	168,47 Aa	0,61 Ac	1,14 Ab	2,24 Aa
	h. Total (m)			h. Fuste (m)		
Floresta	24,32 Bc	29,79 Bb	33,30 Aa	18,28 Bb	21,17 Aa	22,35 Aa
Lavoura	30,22 Aa	31,49 Aa	32,69 Aa	22,45 Aa	21,63 Aa	21,04 Aa
	h. Copa (m)			DC. Médio (m)		
Floresta	6,04 Ac	8,62 Ab	10,95 Aa	13,47 Ac	18,91 Ab	25,79 Aa
Lavoura	7,78 Ab	9,86 Aab	11,65 Aa	14,64 Ac	18,51 Ab	22,31 Ba
	APC (m²)			% Copa		
Floresta	150,03 Ab	287,90 Ab	528,77 Aa	23,99 Ab	27,96 Aab	31,71 Aa
Lavoura	172,64 Ac	276,25 Ab	398,12 Ba	26,22 Ab	31,19 Aab	35,50 Aa
	GE			IA		
Floresta	64,35 Aa	39,54 Ab	27,84 Ac	0,58 Ab	0,65 Ab	0,79 Aa
Lavoura	34,87 Ba	26,61 Bb	19,42 Bc	0,49 Bb	0,59 Aab	0,69 Ba
	IS			IEV		
Floresta	34,42 Aa	24,77 Ab	21,24 Ac	1253,35 Aa	631,02 Ab	456,40 Ac
Lavoura	16,85 Ba	15,47 Bab	13,26 Bb	294,05 Ba	246,96 Ba	181,91 Ba

*Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Os valores do IS e do IEV foram maiores no ambiente da mata independente das Classes de DAP, a Classe 1 apresentou maior (16,85 em AA e 34,42 em AJ) IS nos dois ambientes. O IEV não diferiu entre as classes diamétricas na lavoura, já na FN foi inversamente proporcional ao diâmetro das árvores (Tabela 1).

Discussão

A metodologia de categorização em 3 Classes permitiu uma amostragem representativa de árvores em cada um dos intervalos diamétricos. Wadt et al. (2005), propuseram classes ontogenéticas de DAP relacionadas ao ciclo de vida da Castanheira do Brasil. Os autores consideraram como Classe I: árvores com DAP entre 10 - 50 cm; Classe II: DAP entre 50,1 e 100 cm; e na Classe III: árvores com DAP entre 100,1 - 150 cm; Classe IV: DAP de 150,1 a 200 cm; e por fim na Classe V: árvores com DAP maior que 200,1 cm.

Dessa forma, no estudo da população que encontrava-se na área antropizada, as Classes diamétricas 1, 2 e 3 corresponderam com as classes ontogênicas II, III e IV de Wadt et al., (2005); já os dados dos intervalos da classificação deste estudo na Floresta Nativa corroboraram com a categorização ontogenética. Sendo que, os autores não consideraram indivíduos isolados na fitocompetição (área com alto grau de antropização) em sua amostragem (Figura 3).

O estudo da mensuração do diâmetro possibilita conhecer a distribuição diamétrica de castanhais e definir o grau de ocupação de um local por meio da estimativa da densidade e área basal (ZEIDE, 2005). Pois, no manejo sustentável de produtos florestais não-madeireiros existe uma necessidade populacional de matrizes estáveis. E a população de uma espécie é estável quando apresenta árvores em todas as classes de tamanho, possibilitando o recrutamento contínuo entre essas classes, sendo que a mortalidade das árvores em uma determinada classe é repostada pelo ingresso de novos indivíduos para esta mesma classe (PETERS, 1996).

Todas as árvores amostradas, tanto em AA quanto de FN, apresentavam resquícios de estruturas reprodutivas sob as copas, indicando que na Amazônia Matogrossense Castanheiras com DAP de 30,0 cm já são produtoras de ouriços. Neves et al. (2016), encontraram diâmetro da menor castanheira produtiva igual à 40,9 cm, no

Alto Acre, e 38,5 cm no Amapá. No entanto, para Wadt et al. (2005), castanheiras com DAP entre 10 cm e 50 cm são árvores imaturas (nessa faixa, poucos indivíduos completam a fase produtiva) e na classe de 50 cm a 100 cm de DAP são encontradas árvores em processo de consolidação do estágio reprodutivo, ou seja, produção. Esses autores defendem que apenas indivíduos de grande porte (DAP maior que 100 cm) na floresta, certamente apresentam maturidade reprodutiva.

O isolamento dos indivíduos da mata, não influenciou o parâmetros altura total da mesma forma que afetou os DAP e g, visto que o padrão de distribuição das frequências não foi o mesmo (Figura 3). O desflorestamento provocou os maiores valores dos parâmetros: altura de fuste e de copa em árvores mais jovens (Tabela 1, Figuras 3 e 4).

Apesar de não existirem grandes diferenças entre as amplitudes de DAP e HT nos diferentes ambientes estudados, os diâmetros e as alturas médias foram muito distintos. Isso pode ser considerado, um reflexo das diferenças nas distribuições diamétricas, sendo o parâmetro altura, distinta nos dois grupos (Figura 3 e 4; Tabela 1).

As relações morfométricas entre a altura e o diâmetro, categorizadas em classes diamétricas dos centros de origem das amêndoas, são alternativas para compreender melhor a relação DAP/HT dentro das florestas, como ela varia e quais os fatores que a influenciam, diante da grande variabilidade em altura para um mesmo diâmetro considerando sítio e idades diferentes, principalmente em florestas nativas (Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8 e Tabela 1). Diversos fatores podem interferir nas relações de tamanho e forma da parte aérea de plantas, como idade, posição sociológica dos indivíduos, competição, sítio, e até mesmo, uma amostragem não representativa em algumas classes do diâmetro. À medida que dados em maior quantidade, por espécie, posição sociológica e condições de sítio estejam disponíveis é possível testar diferentes formas de estratificação (SANQUETTA, et al., 2013).

As modificações no ambiente alteraram mais o DAP da estrutura populacional de *Bertholletia excelsa*, do que as alturas estudadas (Figuras 3 e 4). Distintas distribuições das alturas nas populações florestais são comuns entre diferentes espécies. Esse comportamento reflete o hábito ecológico e sua tolerância à luz, repercutindo em distintas relações de GE. Determinadas espécies de pequeno porte

nunca ultrapassam a altura limite (DURIGAN, 2009). Pouco se sabe à respeito do ritmo de crescimento das essências de florestas nativas (CHASSOT, 2009)

A porcentagem de copa na FN apresentou-se mais variável dentre os indivíduos, e isso ocorre devido à pressão da fitocompetição do ambiente que causa a heterogeneidade durante o crescimento, e conseqüentemente na forma e tamanho da parte aérea. Na área antropizada a PC foi maior na classe 1, indicando que o isolamento da mata afeta o desenvolvimento da copa nos indivíduos jovens (Figura 6).

A porcentagem de copa é um indicador de vitalidade e quanto maior a PC mais produtiva pode ser a árvore. Na população de *B. excelsa* inventariada em AA a porcentagem de copa variou de 12,5% a 52,5%; e em FN de 5% a 47,5%. A amplitude observada é resultado dos diferentes graus de concorrência a que as árvores estão submetidas, e também às diferenças nas dimensões das amostras.

A copa pode influenciar diretamente na absorção de nutrientes pelas plantas no solo. Plantas dominantes no dossel da floresta, como a castanheira, recebem mais luz para fotossintetizar os compostos orgânicos, podendo apresentar uma melhor formação do sistema radicular para acessar mais eficientemente os recursos do solo, aumentando sua habilidade competitiva (ZANINE; SANTOS, 2004; NEVES et al., 2016).

O grau de esbeltez foi maior na área da floresta, reflexo do fuste mais cilíndrico das árvores neste ambiente, enquanto que na AA a forma do tronco tornou-se mais cônica. Os maiores GE foram encontrados em árvores de menores HT, a diminuição do grau de esbeltez com o aumento da altura das árvores, significa que a cada metro de crescimento em altura, as mesmas crescem mais que um centímetro em DAP, tornando-se mais robustas e estáveis (SELLE; VUADEN, 2010) (Figura 7 e Tabela 1).

Não foram encontrados valores de GE inferiores a 12,5 e superiores a 100. reportando que, nesse intervalo de valores está o ponto de equilíbrio morfométrico decorrente das demandas por luz, água, nutrientes e estabilidade dimensional, fatores decisivos para a sobrevivência da Castanheira-do-brasil. Possivelmente valores fora dessa amplitude não são tolerados, implicando em desequilíbrio vital e conseqüente mortalidade.

Tonini e Arco-Verde (2005), estudando a morfologia de quatro espécies nativas da Amazônia, também constataram a diminuição do grau de esbeltez com o aumento do DAP e da HT. Selle e Vuaden (2010) e Sanquetta et al. (2013), perceberam uma maior correlação do Grau de Esbeltez com o DAP do que com a altura das árvores em espécies folhosas. As angiospermas (folhosas) formam um amplo grupo onde estão incluídas várias espécies com distintos requerimentos por luz e tolerância à competição, logo, apresentam padrões morfométricos particulares as suas especificidades (SANQUETTA et al., 2013)

O grau de esbeltez é uma variável que caracteriza a estabilidade das árvores. Quanto mais alto for o GE maior será o crescimento da altura em relação ao diâmetro, sendo a árvore menos estável. Tal relação indica a instabilidade da árvore contra ventos fortes e serve como referência para desbastes (COSTA, 2011).

Analisando-se GE dentro das classes diamétricas, o comportamento foi claramente decrescente em ambas as condições ambientais (ou seja, as árvores de menor DAP tendem a ter maior grau de esbeltez), isso é reflexo do crescimento maior em altura do que em diâmetro para driblar a concorrência por luz. Partindo-se desse pressuposto, as árvores que tiveram seu desenvolvimento inicial em condições de dossel fechado (sombra), crescendo em altura e ramificam depois de atingir a superfície de inversão ecológica, ou seja, a metade superior do estrato florestal (LEITE e RODRIGUES, 2008)

Condé et al. (2013), encontraram para a espécie *B. excelsa* média de PC igual a 35,18%. Já Tonini et al. (2005), encontraram porcentagem de copa igual à 72,78% para a espécie em plantios homogêneos, aos 7 anos de idade, com espaçamento 2,5 m x 2 m (5 m² por planta) em Roraima.

Tonini et al. (2008) estudando a correlação da produção de sementes da Castanheira-do-Brasil com as características morfométricas da copa, demonstraram que as árvores mais produtivas possuíam a maior proporção de copa, em média de 47,3%. A Porcentagem de Copa é uma variável indicativa da vitalidade subjetiva, variando com a finalidade do uso. Para produtos florestais não madeireiros, oriundos de uma copa frondosa (sementes, frutos, folhas, etc) uma alta relação de PC é desejável, no entanto para produção madeireira menores índices garantem maior rentabilidade (CONDÉ et al., 2013). Por outro lado, a presença de cipós na copa

também afeta a produção de frutos, causando um efeito negativo (KAINER et al., 2006, TONINI et al., 2008, KAINER et al., 2014).

Na floresta nativa foram encontrados os maiores índices do espaço vital e da saliência independentemente do diâmetro e maior heterogeneidade desses indicativos foi evidenciada nas árvores mais jovens (Classes 1 e 2).

O índice de abrangência (IA), resultante da relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore, apresentou um valor médio de 0,58 em castanheiras mais jovens (Classe 1) quando não isoladas (FN). Pressupondo a existência de correlação entre este IA e a altura das árvores, este índice pode ser utilizado como indicador do comportamento e do desgaste ao longo da vida de uma floresta plantada de *B. excelsa*. Considerando os valores médios de 0,58 IA para a população com 24,33 m de altura total, as árvores da espécie com 24,32 m de altura teriam uma copa com diâmetro de 14,10 m ($24,32 \text{ m} \times 0,58$) valor próximo do observado em campo (13,47 m, Tabela 1). Nessas condições caberiam aproximadamente 64 plantas de castanheiras por hectare, sem haver concorrência por recursos naturais vitais como água, luz ou nutrientes.

Dentro da mata (FN) *B. excelsa* apresentou valores de IS iguais à 34,42; 24,77; 21,24 e na área descampada (AA): 16,85; 15,47; 13,26 para as classes 1, 2 e 3. Indicando que independente do parâmetro diâmetro o crescimento da árvore tende a ser mais lento dentro da Floresta Nativa. Segundo Dawkins (1963). Espécies de maior crescimento volumétrico apresentam valores de IS entre 15 a 20, enquanto que valores maiores do que 25 caracterizam espécies de baixo crescimento, sendo que em florestas naturais tropicais a razão DC e DAP geralmente varia entre 14 e 28.

O índice de saliência reflete a relação entre o diâmetro da copa e o DAP, percebe-se que, quando mantida na mata (FN), a Castanheira tem um diâmetro de copa de 21,24 à até 34,4 vezes maior que o diâmetro do fuste e em área antropizada (AA) de 13,26 até 16,85 vezes maior (Tabela 1). O índice de saliência pode ser usado como indicador do espaço necessário para cada árvore, ao ser atingido um determinado diâmetro.

Tomando-se o valor médio do índice de saliência para as árvores de *B. excelsa*, consideradas mais jovens em FN (34,42) (pois, considerando o monocultivo os indivíduos estão sujeitos à competição) e aceitando-se que este é invariável com a

mudança nas dimensões das árvores, para produzir Castanheiras com 50 cm de DAP, o diâmetro de copa seria de 17,12 m (50 cm x 24,7) e, supondo-se copas simétricas, nessas condições caberiam 10 árvores por hectare.

Analisando a morfometria do fuste e copa, Tonini e Arco - Verde (2005) em plantios homogêneos de *B. excelsa* com idade de 7 anos em Roraima, demonstraram seu potencial para plantios na Amazônia. Costa *et al.* (2009) constataram que essa espécie é considerada extremamente promissora para a formação de sistemas agroflorestais e reabilitação de áreas abandonadas e degradadas na Amazônia.

Os parâmetros de tamanho e forma da copa de castanheiras e sua relação com o tamanho da árvore refletem a estabilidade, a vitalidade produtiva e subsidiam a criação de modelos de concorrência e crescimento das árvores (DURLO, 2001).

Os parâmetros apresentados Diâmetro a altura do peito – DAP (cm); área basal - g (m²); altura total – HT (m); altura do fuste – HF (m); altura da copa - HC (m); diâmetro de copa médio – DC (m); área de projeção de copa - APC (m²); porcentagem de copa – PC (%); grau de esbeltez GE; Índice de abrangência - IA; Índice de saliência - IS; Índice de espaço vital – IEV, de indivíduos adultos de *B. excelsa* proporcionam melhor compreensão às formas, dimensões e relações interdimensionais da parte aérea, sendo importantes para a estimativa de volumes de madeira e de biomassa, a modelagem do crescimento, e o estabelecimento de práticas silviculturais, (DURLO e DENARDI, 1998; DURLO, 2001; TONINI e ARCO-VERDE, 2005; ORELLANA e KOEHLER, 2008; SELLE e VUADEN, 2010) (Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8 e Tabela 1).

Descrever a estrutura populacional da espécie *Bertholletia excelsa*, e as características de sua copa e fuste, principalmente em indivíduos oriundos da regeneração natural (inequiâneos), fornece informações sobre o potencial produtivo, especialmente pela quantidade de indivíduos maduros para produção de frutos, em diferentes condições ambientais. Tais estudos podem subsidiar ações de uso e conservação da espécie no seu ambiente, caracterizando seu comportamento diante das mudanças na paisagem, possibilitando projeções futuras para a população em questão (LIMA; LEÃO, 2013).

Aspectos como distribuição das árvores em classes de tamanho são relevantes para o entendimento de como as espécies florestais vivem em comunidade (SCOLFORO; MELLO, 1997), bem como para verificar a possibilidade do manejo

sustentável das populações. Além disso, a estrutura da população de uma espécie, em determinado ambiente, determina a possibilidade de sua exploração ou não (PETERS, 1996), o que é fundamental para a tomada de decisão sobre a viabilidade econômica de seu uso comercial à longo prazo (BAILEY; DELL, 1973). A estrutura da vegetação também é importante para analisar aspectos de adaptação das espécies, sua relação á outras espécies e o sitio em que vivem (SCOLFORO, 1998, UBIALLI, 2007).

Particularmente em relação à castanha-da-amazônia, o principal interesse no estudo da estrutura das árvores é verificar a maturidade reprodutiva e aquelas ainda não produtoras, estimando a capacidade produtiva da população (CONDÉ et al., 2013). Salomão, (1991); Myers et al., (2000) e Peres et al. (2003), relataram a existência de castanhais com alguns indivíduos de grande porte e poucos ou nenhum jovem, indicando que a sustentabilidade da produção de castanha-da-Brasil estaria comprometida. No entanto, nos estudos de Wadt et al., (2005); Wadt et al., (2008); Duchelle et al., (2011) e Scoles; Gribel, (2012), observou-se uma maior densidade de indivíduos jovens, sugerindo que o tamanho da amostragem pode influenciar na relação dos indivíduos imaturos e maduros.

A estratificação dos dados em classes diamétricas para análise dos padrões morfométricos pode ser considerada adequada. Entretanto, possivelmente existam variações expressivas dentro da espécie, o que torna mais desafiador o trabalho de se ajustar equações de crescimento confiáveis. Outras formas de estratificação dos dados podem ser testadas em estudos futuros.

O estudo da morfometria em florestas naturais da Amazônia elucida sobre a domesticação das espécies e seu potencial de aplicação em plantios, SAF`s e em ambientes degradados. A diferença encontrada entre as duas condições ambientais demonstra que, as plantas podem sofrer mudanças ao longo do seu crescimento, em função da influência dos fatores como espaçamento, condições edafoclimáticas, competição entre copas e tratamentos silviculturais (desbaste, desrama, etc.). Esses fatores podem repercutir diretamente na produtividade madeireira e não madeireira.

Conclusão

O diâmetro na altura do peito e a área basal são maiores na área de lavoura em todas as classes diamétricas, com maior heterogeneidade entre as castanheiras mais jovens na área de floresta.

O ambiente da mata permite uma maior variabilidade na altura total.

Nas árvores com os maiores diâmetros (maior que 1 m) no ambiente floresta nativa, constatou-se os menores valores do diâmetro de copa (25,79 m).

A diferença entre os ambientes não influencia na altura da copa das árvores.

Independente da idade da árvore e da condição ambiental, o diâmetro da copa é diretamente proporcional ao diâmetro do fuste na espécie *Bertholletia excelsa*.

Na área da Mata, independentemente da Classe diamétrica, verificou-se os maiores parâmetros morfométricos: grau de esbeltes, índices de abrangência, índices de espaço vital e de saliência.

O grau de esbeltez é inversamente proporcional ao diâmetro em indivíduos de *B. excelsa* em ambas as condições ambientais.

O índice de sobrevivência é maior em castanheiras com menor diâmetro tanto, na Mata (34,42) quanto na Floresta (16,85).

Considerando árvores isoladas de *B. excelsa*, o índice do espaço vital não varia com as classes diamétricas, sendo, na floresta inversamente proporcional ao diâmetro das árvores.

Referências Bibliográficas

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review Ecology Systems**. v.17, p.137-167, 1986.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v.1, n.1, p.34-43, 2013.

RADAM BRASIL, Folha SC 21. Juruena, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. (Levantamento de Recursos Naturais). Rio de Janeiro: DNPM. 638 460p., 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico 530 da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: 2012, 271p.

WADT, L ; KAINER, K ; STAUDHAMMER, C ; SERRANO, R. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, n.141; p. 332-346, 2008.

IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura. 2011. Disponível em: http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola, Acesso em: 22/11/2016.

SILVA, P.T.E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; YARED, J.A.G.; BARROS, P.L.C.; MACIEL, M.N.M. Principais espécies florestais utilizadas em sistemas agroflorestais na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v.49, p.127-144, 2008.

MENDES, F.A.T. Avaliação de modelos simulados de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades cacauceiras selecionadas no Município de Tomé Açu, no Estado do Pará. **Revista UniOeste-Informe GEPEC** v. 7. n. 1, 2003.

INPA. Pupunha-Net, 2007. Disponível em <http://www.inpa.gov.br/pupunha/empreendedores/aruana.html>. Acessado em 23/09/2009.

AGUILAR, R.; ASHWORTH, L.; GALETTO, L.; AIZEN, M.A. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. **Ecology Letters**, v9, p 968-980, 2006.

MAUÉS, M. M. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (**Bertholletia excelsa** Humb. e Bonpl.) in eastern Amazônia. In: Kevan P e Imperatriz fonseca. Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**, p.245-254, 2002.

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*, v. 2012, p. 1-9, 2012.

RIBEIRO, M. B. N.; JEROZOLIMSKI, A.; ROBERT, P. de; MAGNUSSON, W. E. Brazil nut stock and harvesting at different spatial scales in south eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 319, p. 67–74, 2014

DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabraela canjerana* (Well.) Mart. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.141-149, 2001.

DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabraela canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p.55-66, 1998.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. Wien: Universität für Bodenkultur, v.4 1992, 160p. .

TONINI, H., ARCO-VERDE, M.F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A.B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

SELLE, G. L., VUADEN, E. Crescimento de seis espécies nativas na região central do estado do Rio Grande do Sul. **Ambiência**. v. 6 n. 1 p.169 – 192, 2010

SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; ROGLIN, A.; PIMENTEL, A.. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **IHERINGIA**, v. 68, n. 1, p. 103-114, 2013.

COSTA, E.A. Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC. **Dissertação**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2011,148p.

DURIGAN, G. 2009. Estrutura e diversidade de comunidades florestais. In: **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa. Editora UFV. 2009 261p.

CHASSOT, T. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Ombrófila Mista. **Dissertação** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009, 49p.

LEITE, E. C.; RODRIGUES, R. R. 2008. Análise do mosaico silvático em um fragmento de floresta tropical estacional no sudeste do Brasil. **Revista Árvore**. v.32, n.3, p. 443-452, 2008.

PUKKALA, T.; LÄHDE, E.; LAIHO, O. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 207 - 216, 2009.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Linear mixed model to describe the basal area increment for individual credo (*Cedrela odorata* L.) trees in Occidental Amazon, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 461 - 470, 2013.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 473 - 480, 2009.

COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D. INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO SOCIAL NAS RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS DE *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 225-234, 2016.

TONINI, H. **Castanheira-do-brasil: uma espécie chave na promoção do desenvolvimento com conservação**. Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 2007. 3 p.

COSLOVSKY, S.V. **Determinantes de sucesso na indústria da castanha – como a Bolívia desenvolveu uma indústria competitiva enquanto o Brasil ficou para trás**. Ebape, 2005. 21p.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwesterns Amazonian. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, 2005.

BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distribution with the Weibull-function. **Forest Science**, Bethesda, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.

DUCHELLE, A. E.; CRONKLETON, P.; KAINER, K. A.; GUANACOMA, G.; GEZAN, S. Resource theft in tropical forest communities: implications for non-timber management, livelihoods, and conservation. **Ecology and Society**, v. 16, n. 1, p. 1708-3087, 2011.

KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; 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**, Cambridge, v. 22, n. 2, p. 147-154, 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, 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.

LIMA, J. P. C.; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de Crescimento e Distribuição Diamétrica de Fragmentos de Florestas Nativa e Plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 20, n. 1, p. 70-79, 2013.

MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolívia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, 2000.

PERES, C. A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P.; SALOMÃO, R. P.; SIMÕES, L. L.; FRANCISIOSI, E. R. N.; VALVERDE, F. C.; GRIBEL, R.; SHEPARD Jr, G. H.; KANASHIRO, M.; CONVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, Washington, v. 302, n. 5653, p. 2112-2114, 2003.

PETERS, C. M. **The ecology e management of non-timber forest resources**. Washington: The World Bank, 1996. 157 p.

SALOMÃO, R. D. P. Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. & B. ("Castanheira") nas regiões de Carajás e Marabá, estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Naturais**, v. 7, n. 1, p. 47-68, 1991.

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, n. 1, p. 71–81, 2012.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 1998.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 341 p.

TONINI, H.; COSTA, P.; KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 445-457, 2008a.

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1509-1516. 2008b.

UBIALLI, J. A. **Comparação de Métodos e Processos de Amostragem para Estudos Fitossociológicos e Estimativas de Estoques de uma Floresta Ecotonal na Região Norte Matogrossense**. 2007. 241 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in South westerns Amazonian. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, 2005.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L.; SERRANO, R. O. P. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n. 1, p. 332-346, 2008.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas – uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

ZEIDE, B. How to measure stand density. **Trees**, v. 19, n.1, p. 1-14, 2005.

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

Population structure and management potential for *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) in Acre and Amapá stands. **Scientia Forrestalis**, v. 44, n. 109, p. 19-31, 2016.

DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A.B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2007. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

WADSWORTH, F.H. **Producción forestal para America Tropical**. Washington: USDA, 2000. 602p.

CONDÉ, T. M; LIMA, M. L. M de, NETO, E. M. de L.; TONINI, H. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 18-27, 2013.

WINK, C.; MONTEIRO, J. S., REINERT, D. J.; LIBERALESSO, E. Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 057-067, 2012