

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS E AMBIENTAIS – PPG/CIFA

**CRESCIMENTO E MORFOMETRIA DE *Bertholletia excelsa***  
**Bonpl. 20 ANOS APÓS O PLANTIO: EFEITO DO ESPAÇO**  
**VITAL DECRESCIMENTO**

RAFAEL GONÇALVES DE OLIVEIRA

MANAUS, AMAZONAS

Junho/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS E AMBIENTAIS – PPGCIFA

**CRESCIMENTO E MORFOMETRIA DE *Bertholletia*  
*excelsa* Bonpl. 20 ANOS APÓS O PLANTIO: EFEITO DO  
ESPAÇO VITAL DE CRESCIMENTO**

Rafael Gonçalves de Oliveira

Orientador: Dr. Marciel José Ferreira

Coorientador: Dr. Roberval Monteiro Bezerra de Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

MANAUS, AMAZONAS

Julho/2017

## Ficha Catalográfica

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

Oliveira, Rafael Gonçalves de  
O48c Crescimento e morfometria de *Bertholletia excelsa* Bonpl. 20 anos após o plantio: efeito do espaço vital de crescimento / Rafael Gonçalves de Oliveira . 2017  
69 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marciel José Ferreira  
Coorientador: Roberval Monteiro Bezerra de Lima  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Silvicultura de produção. 2. Castanheira da amazônia. 3. Espaçamento. 4. Índices morfométricos. 5. Partição de biomassa. I. Ferreira, Marciel José. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pela possibilidade de contemplar suas diferentes manifestações na Terra. A Amazônia é uma delas.

À UFAM pelo espaço físico, logística e, em especial, aos professores da UFAM que compõe o quadro do PPG/CIFA. À CAPES por fomentar a pesquisa.

Aos professores e pesquisadores das instituições: INPA, UFAL, Embrapa e INPE que ofertaram disciplinas que contemplaram a grade curricular do programa.

À Fazenda Aruanã por ceder a área para o estudo (em nome do Dr. Sérgio Vergueiro, por fomentar a Silvicultura). Aos seus funcionários (em nome do Sr. Nonato, o gerente e, Dona Bete, a zeladora) e aos demais trabalhadores que sempre se mostraram engajados. Todos, em conjunto, me proporcionaram dias de convivência sadia, dias amenos, tranquilidade na execução das atividades, bom humor, sorrisos, espírito de amizade e camaradagem nos dias de trabalho de campo.

Aos colegas e amigos de turma do PPG/CIFA que foram companheiros durante as disciplinas. Que de maneira modesta, mas sempre assertiva foram essenciais à construção do conhecimento. Excelentes profissionais.

Ao pessoal da secretaria do curso do PPG/CIFA-UFAM que se mostraram disponíveis a atender nossas necessidades acadêmicas.

Aos colegas do Laboratório de Silvicultura da UFAM pela responsabilidade compartilhada, aprendizado, crescimento e conversas num ambiente sadio, com bom humor, bom senso e respeito.

Ao professor Dr. Marciel que acreditou na oportunidade e assumiu a responsabilidade de me orientar. Sempre trabalhou de forma contínua e assídua, com pontualidade (nos prazos e no foco) de forma humilde e não menos incisiva, direta e certa. Compartilhou seus conhecimentos acadêmicos e me incentivou a usar os olhos e a mente como um cientista.

Ao professor Dr. Roberval pela coorientação, por ter acreditado no trabalho, implementado e viabilizado a área de estudo, pela paciência, dedicação e ser exemplo para a Silvicultura da Amazônia. Por ter compartilhado seu conhecimento, exposto sua visão crítica e científica e, dedicado tempo para o preparo, análise e discussão da dissertação.

Serei eternamente grato a esses profissionais por terem aceitado o desafio, pelas palavras, exemplos e profissionalismo demonstrado; incentivos à minha continuidade acadêmica.

Aos meus pais Ronaldo e Adelaide por apoiarem e incentivarem minhas escolhas. Por estarem comigo em todos os momentos desde que nasci. Pela paciência e persistência e, por expressarem de forma simples e direta a mais pura prova de amor. Nunca me senti sozinho.

Às pessoas companheiras e amigas que nos momentos difíceis contribuíram para o meu amadurecimento pessoal e profissional. Seus exemplos de caridade e dedicação são dons admiráveis.

À FAK que me possibilita expressar e ver o reflexo do amor ao próximo no sentido mais puro e desinteressado do ser.

Aos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho e não mencionei, o meu agradecimento.

---

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”

Chico Xavier

## RESUMO

O espaçamento ou densidade de plantio (denominados aqui de espaço vital de crescimento) constitui um dos principais fatores que afetam o crescimento e a produção dos plantios florestais. A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie nativa, de reconhecido valor socioeconômico e ecológico e tem sido amplamente utilizada em diferentes sistemas de plantio. Entretanto, os efeitos do espaço vital em plantios de produção de *B. excelsa* ainda foram pouco investigados. No presente estudo, o objetivo foi verificar os efeitos do espaço vital (EV) analisando informações de sobrevivência, crescimento e morfometria de *B. excelsa* em plantio de produção. Para tanto, um ensaio experimental com seis espaços vitais decrescimento (12 m<sup>2</sup>; 16 m<sup>2</sup>; 20 m<sup>2</sup>; 25 m<sup>2</sup>; 30 m<sup>2</sup> e 36 m<sup>2</sup>) foi analisado após 20 anos do plantio. As principais variáveis analisadas foram: sobrevivência, diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, produção de biomassa aérea, volume comercial de fuste, área de projeção da copa (AC), comprimento (L) e diâmetro da copa (DC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e os índices morfométricos grau de esbeltez (GE), proporção de copa (PC), índice de abrangência (IA), índice de saliência (IS) e formal de copa (FC). As taxas de sobrevivência foram superiores a 70% em todos os espaçamentos. A variação do espaço vital influenciou o crescimento em DAP, a biomassa, o volume, as características de copa e os índices GE, PC e IA, mas não teve relação com o crescimento em altura e os índices IS e FC. A AFE variou significativamente entre as diferentes seções da copa e diminuiu com o aumento de EV. Aproximadamente 80% da biomassa aérea individual foi particionada para os fustes nos diferentes espaços vitais. Os resultados demonstram que após 20 anos de plantio *B. excelsa* possui padrões de crescimento e morfometria diferenciados em resposta à variação no espaço vital.

**Palavras-chave:** Silvicultura de produção, Espaçamento, Densidade, Castanheira-da-amazônia, Copa, Área foliar específica.

## ABSTRACT

Spacing or density of planting (here called vital growth space) is one of the main factors affecting the growth and production of forest plantations. The Brazilian nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) is a native species of recognized socioeconomic and ecological value and has been widely used in different planting systems. However, the effects of living space on *B. excelsa* production plantings were still poorly investigated. In the present study, the objective was to verify the effects of living space (EV) by analyzing information on survival, growth and morphometry of *B. excelsa* in planting production. For this purpose, an experimental study with six vital growth spaces (12 m<sup>2</sup>, 16 m<sup>2</sup>, 20 m<sup>2</sup>, 25 m<sup>2</sup>, 30 m<sup>2</sup> and 36 m<sup>2</sup>) was analyzed after 20 years of planting. The main variables analyzed were: survival, breast height diameter (DBH), total height, aerial biomass production, commercial stem volume, crown projection area, length (L) and crown diameter (DC), foliar area (AF), specific leaf area (AFE) and morphometric indexes, degree of slenderness (GE), crown ratio (PC), coverage index (IA), salinity index). Survival rates were greater than 70% at all spacings. The variation of the living space influenced the growth in DBH, biomass, volume, canopy characteristics and GE, PC and IA indices, but was not related to growth in height and IS and FC indices. The AFE varied significantly between the different sections of the canopy and decreased with the increase of EV. Approximately 80% of the individual aerial biomass was partitioned to the stems in the different vital spaces. The results demonstrate that after 20 years of planting *B. excelsa* has growth and morphometry patterns differentiated in response to the variation in the living space.

**Keywords:** Production silviculture, Spacing, Density, Brazil nut tree, Crown, Specific leaf area.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	12
OBJETIVOS .....	14
Objetivo geral .....	14
Objetivos específicos .....	15
REVISÃO DE LITERATURA.....	15
Silvicultura na Amazônia Brasileira .....	15
Implementação de plantios florestais: efeitos do espaçamento/densidade de plantio/espço vital de crescimento .....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	27
Localização e caracterização da área de estudo.....	27
Caracterização dos plantios.....	29
Estudo das variáveis microclimáticas .....	31
Amostragem .....	32
Sobrevivência .....	32
Biometria das árvores.....	32
Variáveis de copa e índices morfométricos.....	33
Critério de amostragem destrutiva (volume e biomassa).....	35
Volume .....	36
Biomassa.....	37
Análises estatísticas.....	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
Variáveis microclimáticas .....	40
Efeitos do espaço vital sobre a sobrevivência e o crescimento de <i>B. excelsa</i> .....	42
Efeitos do espaço vital sobre as variáveis e índices morfométricos dacopa de <i>B. excelsa</i> .....	44
Efeitos do espaço vital sobre o volume e biomassa de <i>B. excelsa</i> .....	50

Relações entre as características de produção (volume e biomassa) e as variáveis de copa..	54
CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
APÊNDICE .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise física e química do solo da área do experimento. ....	28
Tabela 2. Espaçamento, densidade, espaço vital de crescimento, número total de árvores por espaço vital de crescimento e a quantidade amostrada.....	30
Tabela 3. Modelos alométricos para estimar o volume comercial de fuste das árvores de <i>Bertholletia excelsa</i> aos 20 anos. ....	35
Tabela 4. Modelos alométricos para estimar a biomassa das árvores de <i>Bertholletia excelsa</i> aos 20 anos.....	36
Tabela 5. Teor de água médio do solo (%) em diferentes espaços vitais de crescimento (EV) nas profundidades entre 0 - 20 cm e 20 - 40 cm em plantios de <i>B. Excelsa</i> .....	40
Tabela 6. Média, máxima, mínima e amplitude de variação dos valores de irradiância por espaço vital de crescimento de <i>B. excelsa</i> para os horários de 10, 12 e 14 horas durante o mês de julho de 2016.....	41
Tabela 7. Equações de simples e dupla entrada para determinação do volume comercial do fuste (m <sup>3</sup> ) para plantios de <i>Bertholletia excelsa</i> , com os seus respectivos coeficientes de determinação (r <sup>2</sup> ajust) e Erro Padrão.....	51
Tabela 8. Equações de simples e dupla entrada para determinação da biomassa aérea para plantios de <i>Bertholletia excelsa</i> , com os seus respectivos coeficientes de determinação (r <sup>2</sup> ajust) e Erro Padrão.....	51
Tabela 9. Base de dados para a amostragem proporcional por espaço vital de crescimento e classe diamétrica da população. Número de classes, número de indivíduos por classe e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores cortadas para a amostragem destrutiva.....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Empresa Agropecuária Aruanã. Fonte: agropecuariaaruana.wordpress.com.....	27
Figura 2. Fotos do plantio: A) visão panorâmica dos plantios , B) EV de 16 m <sup>2</sup> e, C) EV de 12 m <sup>2</sup> .....	29
Figura 3. Desenho esquemático da distribuição das árvores por espaço vital de crescimento. Cada parcela de plantio foi replicada duas vezes na área. Cada quadrícula representa uma árvore. A distância entre elas (não representado) corresponde ao espaçamento.....	30
Figura 4. Esquema da distribuição e ilustração dos pontos de amostragem e coleta das variáveis microclimáticas por parcela (p.ex. espaçamento 5 x 6 m, EV = 30 m <sup>2</sup> ).....	31
Figura 5. Índices morfométricos e variáveis dendrométricas coletadas em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos. Fonte: modificado de Figueiredo <i>et al.</i> (2014).....	34
Figura 6. Esquema de coleta das alíquotas dos compartimentos de parte aérea das árvores de <i>Bertholletia excelsa</i> . Fonte: modificado de Bastos (2011).....	38
Figura 7. Efeito do espaço vital de crescimento (EV) na variação do teor de água (T.U.) nas profundidades de 0 - 20 e, 20 - 40 cm do solo em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos.....	41
Figura 8. Valores médios do padrão diário da radiação fotossinteticamente ativa em plantios de <i>B. excelsa</i> com diferentes espaços vitais de crescimento. As linhas representam os espaços vitais de crescimento.....	42
Figura 9. Efeito do espaço vital de crescimento sobre as taxas de sobrevivência de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade.....	43
Figura 10. Efeito do espaço vital sobre as variáveis de crescimento: A) diâmetro à altura do peito (DAP) e, B) altura total (HT) de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais o erro padrão em cada EV.....	44
Figura 11. Efeito do espaço vital sobre as variáveis de crescimento da copa: A) comprimento ou profundidade de copa (L) e, B) área de copa projetada (AC) em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.....	45
Figura 12. Efeito do espaço vital sobre o diâmetro médio da copa (DC) em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.....	45
Figura 13. Efeito do espaço vital sobre A) a área foliar média (AF) por seção de copa (AFI: terço inferior; AFM: terço médio e; AFS: terço superior) e, B) a área foliar média da copa de <i>B. excelsa</i> após 20 anos. Os valores são as médias e as barras verticais	

os erros padrão em cada EV.....	46
Figura 14. Efeito do espaço vital sobre a área foliar específica das três seções da copa em plantio de <i>B. excelsa</i> . Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.....	46
Figura 15. Efeito do espaço vital sobre o índice morfométrico Grau de Esbeltez (GE) em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV .....	47
Figura 16. Efeito do espaço vital sobre os índices morfométricos: A) proporção de copa (PC) e, B) índice de abrangência (IA) em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.....	49
Figura 17. Efeito do espaço vital sobre os índices morfométricos: A) índice de saliência (IS) e, B) formal de copa (FC) em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV .....	49
Figura 18. Efeito do espaço vital de crescimento sobre as variáveis: A) Biomassa aérea (Biom.) e, B) Volume de fuste comercial (Vol.) em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos. Pontos no gráfico correspondem à média dos valores de biomassa em cada EV e as barras verticais ao erro padrão .....	52
Figura 19. Incremento médio anual em Volume comercial do fuste (A) e Biomassa aérea seca (B) por hectare em diferentes espaços vitais de crescimento de <i>B. excelsa</i> após 20 anos do plantio. ....	53
Figura 20. Efeito do espaço vital sobre a distribuição percentual média da biomassa aérea por compartimento das árvores de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos.....	54
Figura 21. Efeito da área de copa no crescimento em A) biomassa e B) volume em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos.....	55
Figura 22. Efeito do comprimento de copa (L) no crescimento em A) biomassa e B) volume em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos .....	55
Figura 23. Efeito do diâmetro de copa (DC) no crescimento em A) biomassa e B) volume em plantios de <i>B. excelsa</i> aos 20 anos .....	55

## INTRODUÇÃO

O acumulado de áreas desflorestadas na região Amazônica ultrapassa 76 milhões de hectares (INPE, 2017). Destes, apenas 0,42% são efetivamente ocupados por reflorestamentos para fins de produção (TerraClass, 2016). Aproximadamente 92% da área de florestas plantadas para fins de produção no Brasil é constituída por espécies exóticas dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (IBA, 2016). A baixa representatividade de espécies nativas em plantios de produção em regiões tropicais é em parte devido ao pouco conhecimento sobre a silvicultura das espécies e as estratégias de manejo mais adequadas dos plantios (Figueiredo, 2001; Sabogal *et al.*, 2006; Costa *et al.* 2009; Gama *et al.*, 2013; FAO, 2015).

Na região Amazônica, as principais restrições apontadas para iniciativas de experiências silviculturais são: falta de assistência técnica; ataque de pragas e doenças; falta de conhecimento sobre a germinação de sementes e produção de mudas; dificuldade de adquirir sementes e mudas; falta de conhecimento acerca dos aspectos silviculturais das espécies nativas; falta de iniciativas e de adaptação ao trabalho silvicultural por parte dos pequenos produtores rurais e o desconhecimento das práticas de manejo mais adequadas à implantação e condução dos plantios (Walter *et al.*, 2005). A definição do espaçamento inicial ou densidade do plantio, denominados aqui como espaço vital de crescimento (EV), constitui uma das decisões mais importantes no planejamento e implementação dos projetos de reflorestamento (Botelho, 1998). A seleção do espaçamento mais adequado irá depender inicialmente das características silviculturais e ecofisiológicas da espécie plantada, do objetivo do plantio, da qualidade do sítio e da possibilidade de manutenção mecanizada da área (Botelho, 1998).

A densidade do povoamento descreve não só o grau em que os recursos do sítio são utilizados, mas também a intensidade de competição entre as árvores e traduz, em teoria, o espaço ou a área útil de crescimento de cada indivíduo (Inoue *et al.*, 2011). O espaçamento influencia a disponibilidade dos recursos primários (*e.g.* água, luz e nutrientes) para as árvores, a capacidade de absorção e a eficiência na utilização desses recursos,

determinando, desta forma, as taxas de sobrevivência, o crescimento e a qualidade do povoamento (Botelho, 1998). A escolha do melhor espaçamento tem como objetivo proporcionar espaço suficiente para o melhor desenvolvimento das árvores, conciliando o maior crescimento volumétrico, com a qualidade e menor custo final da madeira (Martins, 2008).

De modo geral, em maiores densidades de plantio, a taxa de crescimento das árvores individuais é mais lenta do que em densidades menores, embora o crescimento total por unidade de área tende a aumentar (Balloni e Simões, 1980). A sobrevivência em plantios mais adensados geralmente é menor devido a maior competição intraespecífica por recursos primários (Botelho, 1998). Porém, quando se considera o crescimento diâ métrico, menores densidades de plantio podem proporcionar maiores valores individuais, embora geralmente resultem em menores valores de área basal por hectare. Em relação à altura total das árvores, maior densidade de plantio estimula o crescimento inicial em altura, em função, principalmente, da maior competição por luz (Yared *et al.*, 1993; Inoue *et al.*, 2011).

Povoamentos mais densos produzem maior volume de madeira que aqueles menos densos, porém, os espaçamentos maiores produzem um número maior de árvores com maior volume individual (Balloni e Simões, 1980). Em contrapartida, os efeitos do espaçamento em longo prazo (maiores que 20 anos) tendem a diminuir em relação ao rendimento total de madeira (Cardoso *et al.*, 2013; Marziliano *et al.*, 2015). Conseqüentemente, a produção de biomassa individual em plantios mais adensados é menor.

Embora existam estimativas de produtividade, pouco se sabe sobre os efeitos do espaçamento na partição de biomassa e arquitetura de copa. Há estudos que indicam maior valor de biomassa estocada no fuste devido ao menor espaçamento entre as árvores, em detrimento da biomassa alocada em galhos e folhas (Fang *et al.*, 1999). Em relação às características de copa, menor densidade de plantio promove maior comprimento da copa viva (também conhecido como profundidade de copa e altura de copa) resultado da menor competição entre as árvores por espaço físico (Benomar *et al.*, 2012). O investimento em área de superfície (área foliar) e biomassa foliar está

diretamente relacionado à interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e ao aumento da capacidade fotossintética individual das folhas, fatores estes determinantes para o melhor crescimento das árvores (Mitchell *et al.*, 1992).

Na região amazônica há grande diversidade de espécies arbóreas de interesse comercial, porém, é ainda incipiente a utilização de espécies nativas em plantios para fins industriais (Bentes-Gama *et al.*, 2008). A Castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie nativa da Amazônia e tem sido utilizada em reflorestamentos de áreas em diferentes sistemas de plantio, sejam homogêneos ou na composição de sistemas agroflorestais, tanto para a recuperação de áreas degradadas como para atender as exigências de reposição florestal (Costa *et al.*, 2009; Scoles *et al.*, 2011; Ferreira, 2013). No que se refere às experiências com plantios homogêneos de *B. excelsa*, a empresa Agropecuária Aruanã S/A consiste na principal referência, uma vez que possui cerca de 1.257.000 árvores plantadas, sendo 318.000 para a produção de frutos e 939.000 para a produção de madeira. Entretanto, práticas silviculturais, a exemplo da densidade de plantio, ainda não foram sistematicamente definidas para o melhor manejo dos plantios.

Diante do contexto científico apresentado, a questão principal analisada no presente estudo foi: Quais os efeitos do espaço vital de crescimento sobre a sobrevivência, o crescimento, as características de copa e os índices morfométricos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. após 20 anos do plantio?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Investigar o efeito do espaço vital sobre a sobrevivência, o crescimento, as características de copa e os índices morfométricos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. 20 anos após o plantio.

## **Objetivos específicos**

- i. Quantificar a sobrevivência e dendrometria de *B. excelsa* crescendo em diferentes espaços vitais;
- ii. Quantificar as variáveis de copa e os índices morfométricos de *B. excelsa*;
- iii. Verificar as relações de variáveis dendrométricas e morfométricas de com os espaços vitais de crescimento de *B. excelsa*.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

### **Silvicultura na Amazônia Brasileira**

A Amazônia Legal é composta por um mosaico de tipologias florestais. Esta região possui a maior reserva contínua de floresta tropical úmida do mundo cobrindo uma área de aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup>, o que corresponde a quase 50% do território brasileiro (IBGE, 2004). O suprimento de madeira sempre foi atrelado às florestas nativas, especialmente no Brasil, dado a sua abundância. Porém, o setor madeireiro que depende diretamente dos recursos florestais não possui, na maioria dos casos, um ordenamento que possibilite a prática do manejo florestal (Higuchi, 2006). Estimativas apontam para uma tendência de aumento da demanda mundial por produtos florestais (SFB e IPAM, 2011). Diante desse cenário, é importante desenvolver atividades silviculturais na Amazônia.

As pesquisas científicas em silvicultura na Amazônia datam da metade do século 20 e foram iniciadas pela missão da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Essa iniciativa contribuiu significativamente para a utilização de espécies nativas e exóticas visando a produção madeireira (Marques *et al.*, 2008). Na década de 1950 foi estabelecido o marco referencial da pesquisa em silvicultura e manejo de florestas naturais na Amazônia, por meio de convênio firmado entre o governo brasileiro e a FAO e, a criação da Seção de Silvicultura do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) (Higuchi, 1981; Marques *et al.*, 2008).

Em 1967 foi estabelecido um empreendimento privado de grande porte, conhecido como “Projeto Jari”. A finalidade maior do projeto era a produção de celulose e papel a partir do plantio comercial da espécie exótica Gmelina (*Gmelina arborea*), de origem asiática. O plantio foi realizado, porém, a quantidade de pragas e doenças inviabilizou o projeto. Após inúmeras transferências de responsabilidades sobre o empreendimento, até hoje existe o desafio de viabilizar atividades econômicas na região, fruto dessa iniciativa (Jordan e Russell, 1989; Greissing, 2010).

Em uma revisão sobre as principais experiências silviculturais praticadas na Amazônia brasileira, Sabogal *et al.* (2006) notaram uma tendência, principalmente para as iniciativas empresariais, de combinar espécies nativas com espécies exóticas, tais como, o mogno-africano (*Khaya* sp.), acácia (*Acacia mangium*), cedro-australiano (*Toona ciliata*), entre outras. As práticas silviculturais mais empregadas no levantamento foram: condução da regeneração natural, enriquecimento em floresta explorada, enriquecimento de capoeira, plantio puro e misto em áreas alteradas.

A possibilidade de se obter ganhos rápidos com a exploração madeireira, praticada há anos na Amazônia, torna o reflorestamento uma opção secundária nas propriedades. O principal produto do setor empresarial é a madeira serrada. Muitos plantios foram implantados apenas para atender à exigência de reposição florestal do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), sendo em seguida abandonados (Sabogal *et al.*, 2006).

O componente florestal ainda não ocupa lugar de destaque entre os pequenos produtores. O grau de importância das atividades está relacionado aos benefícios que ela possa oferecer em curto prazo. Cultivos anuais e espécies frutíferas perenes são considerados mais importantes devido ao rápido retorno proporcionado (consumo e geração de renda) se comparados aos plantios florestais (Sabogal *et al.*, 2006).

O autoabastecimento é o principal fator que leva os proprietários a implementarem experiências silviculturais. Outros fatores são: a reposição florestal obrigatória, no caso dos empresários e, a necessidade de fazer

investimentos e de reflorestar a propriedade, no caso dos produtores familiares (Sabogal *et al.*, 2006).

Dentre as dificuldades de se implementar experiências silviculturais exitosas na região amazônica, deve-se destacar: a falta de conhecimento sobre a silvicultura das espécies e as técnicas de manejo dos plantios, a dificuldade de adquirir sementes e mudas de espécies florestais nativas e o ataque de pragas e doenças. Apesar de existirem diversas fontes de financiamento, uma parcela muito pequena dos interessados recebeu recursos para a execução da atividade. Associado a esses fatores, a falta de apoio técnico e seus altos custos são motivos que levam os proprietários a não prosseguirem com as experiências (Walters *et al.*, 2005; Sabogal *et al.*, 2006).

As espécies arbóreas nativas mais plantadas nas experiências silviculturais identificadas foram: paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber), castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), mogno (*Swietenia macrophylla* King), cedro (*Cedrela odorata* L.), ipê (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols.), sumaúma (*Ceiba pentandra* Gaertn.), tatajuba (*Bagassa guianensis* Aubl.), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), andiroba (*Carapa guianensis* Aublet), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) e parapará (*Jacaranda copaia* D. Don) (Sabogal *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2008; Hoch *et al.*, 2009).

Com relação à área plantada, a espécie nativa paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), também conhecido como bandarria, possui considerável área plantada (cerca de 87 mil hectares), concentrada no Tocantins e no Pará (ABRAF, 2013). A Castanheira-da-amazônia possui uma área de plantio puro de 4.305,8 hectares, dos quais 3.000 hectares foram plantados por uma única empresa, no estado do Amazonas, a Agropecuária Aruanã S.A. (Sabogal *et al.*, 2006). A propriedade possui cerca de 1.257.000 árvores de castanheira plantadas, sendo 318.000 distribuídas entre cinco clones para produção de frutos e 939.000 compõem plantios adensados de reposição florestal para produção de madeira serrada (Ferreira, 2013).

As lições aprendidas durante a história da Silvicultura na Amazônia são fundamentais para nortear o rumo das pesquisas, desenvolvimento e inovação, a partir de um melhor entendimento dos processos envolvidos nos

agroecossistemas amazônicos. O clima úmido, os solos de baixa fertilidade, a riqueza de espécies devem ser fatores de estímulo à proposição de novos modelos e sistemas de produção, independente da escala envolvida e especialmente com espécies nativas. É necessário desenvolver modelos e sistemas de produção que possam agregar valor por unidade de área. Estabelecer um planejamento florestal voltado para as ações de pesquisa de médio e longo prazo contribuirá para a correta utilização dos recursos florestais aliado à questão ambiental (Marques *et al.*, 2008).

### **Silvicultura de *Bertholletia excelsa* Bonpl.**

*Bertholletia excelsa* Bonpl. é uma espécie nativa da região amazônica, de porte arbóreo, pertence à família Lecythidaceae e seu gênero é monoespecífico. A árvore é de grande porte, emergente e pode alcançar até 50 m de altura em florestas primárias (Mori e Prance, 1990), apresenta fuste reto e cilíndrico com diâmetro à altura do peito (DAP) podendo atingir até 2,5 m (Clay e Clement, 1993). Alguns indivíduos podem apresentar 60 m de altura e 4 m de diâmetro (Yared *et al.*, 1993; Müller *et al.*, 1995). É encontrada naturalmente em áreas de terra firme nas Guianas, Colômbia, Venezuela, Peru, Bolívia, Brasil e Equador (Mori e Prance, 1990; Yared *et al.*, 1993). A sua distribuição geográfica é concentrada na Amazônia brasileira, ocorrendo principalmente nos estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia e Roraima e em boa parte do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (Yared *et al.*, 1993; Salman *et al.*, 2008).

A castanheira-da-amazônia é uma das espécies nativas mais valiosas da floresta amazônica, utilizada como fonte de alimento e renda. Passou a constituir o principal produto extrativo para exportação da região desde a decadência do ciclo da borracha (Pimentel *et al.*, 2007; Homma e Menezes, 2008). Em florestas nativas são encontradas em grupos formando os conhecidos “castanhais” (Fernandes e Alencar, 1993). Sua regeneração é facilitada pela alteração na cobertura vegetal que resulta em abertura de clareiras (Mori e Prance, 1990; Peña-Claros *et al.*, 2002; Salomão, 2009).

As primeiras tentativas de cultivo de castanheira tiveram início na década de 1930, na forma de sistemas agroflorestais (SAF), em Tomé-Açu (Pará) e em Parintins (Amazonas), pelos colonos japoneses que para lá imigraram (Homma *et al.*, 2014). Homma *et al.* (2014) deduzem que os SAF utilizados pelos colonos nipo-brasileiros em Tomé-Açu constituem a opção mais apropriada para o plantio de castanheiras, já que evidenciaram em plantio homogêneo que o tempo exigido para o retorno do capital foi estimado em 27 anos (Pimentel *et al.*, 2007).

A castanheira-da-amazônia possui características silviculturais desejáveis, tais como, rusticidade, rápido crescimento, características adequadas da madeira (resistência e durabilidade) (Albuquerque, 1960), produção de frutos de valor econômico, formação de fuste retilíneo (Yared *et al.*, 1993), tolerância a luz plena, eficiência quanto ao uso de recursos primários, elevada produção de serrapilheira (Ferreira *et al.*, 2012; Salomão, 2014), além de apresentar desrama natural em plantios (Costa *et al.*, 2009). Adicionalmente, não há relatos de pragas ou doenças que a ataquem a ponto de comprometer sua produtividade (Albuquerque, 1960; Yared *et al.*, 1993; Costa *et al.*, 2009). Tais características a qualifica como uma das espécies mais importantes para a composição de programas de reflorestamento na Amazônia, seja para a restauração de áreas degradadas, formação de sistemas agroflorestais, reposição florestal, enriquecimento de capoeiras ou plantios homogêneos (Yared *et al.*, 1993; Peña-Claros *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2012; Scoles *et al.*, 2014; Schroth *et al.*, 2015).

Dentre as características silviculturais que proporcionam a valorização econômica da espécie, em plantio sob sistema agroflorestal, foi constatado que cerca de 81% das árvores de castanheira apresentavam fuste reto sem defeitos, sendo que os 19% restantes apresentaram fuste levemente tortuoso (Ferreira e Tonini, 2009). Outra característica avaliada em castanheiras é o seu potencial de rebrota (Paiva *et al.*, 2011). Scoles *et al.*, (2011) conduziram experimento no Pará e encontraram 72% de taxa de rebrota para a espécie.

A espécie *Bertholletia excelsa* plantada sob diferentes espaçamentos, tanto em plantios homogêneos quanto em sistemas agroflorestais na Amazônia, possui elevadas taxas de crescimento e demonstra elevada plasticidade ecofisiológica, característica que a torna com potencial adequado para empreendimentos florestais (Costa, 2015).

Yared *et al.* (1993) sugerem densidade de plantio entre 400 e 625 árvores ha<sup>-1</sup> prevendo desbastes futuros e, uma rotação entre 30 e 40 anos para se obter árvores de grandes diâmetros. Os autores analisaram três diferentes densidades de plantio (25, 100 e 400 árvores ha<sup>-1</sup>) e encontraram, em geral, alturas inferiores ao normalmente observado em florestas naturais e associaram esse resultado à maior disponibilidade de luz e menor competição entre as árvores.

Uma eficiente estratégia para reflorestamentos com o objetivo de recuperação de áreas degradadas e também para formação de plantios florestais mais produtivos é a produção de mudas de castanheira clonadas (enxertadas) com material proveniente de castanheiras mais desenvolvidas, com características de interesse (Salomão *et al.*, 2006; Ferreira, 2013).

A castanheira está presente na 'Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção' (MMA, Portaria nº 443/2014) e, apesar de ser uma espécie protegida por lei (MMA, IN nº 06/2008), o avanço do desmatamento tem dizimado as populações naturais. Por esse motivo, o plantio de Castanheiras-da-amazônia deve ser estimulado, tanto como componente de sistemas agroflorestais como em plantios homogêneos, em programas de reflorestamentos, recuperação de áreas degradadas (Costa *et al.*, 2009; Scoles *et al.*, 2011; Ferreira, 2013) ou restauração ecológica. Essas ações se revelam como alternativas de longo prazo com a finalidade de reincorporar áreas ao processo produtivo (Costa *et al.*, 2009) tendo como resultado o aumento da oferta, gerar renda, gerar emprego e difundir o seu consumo (Homma *et al.*, 2014).

Apesar da sua importância socioeconômica e ecológica e da atenção destacada a essa espécie na formação de plantios florestais na Amazônia, estudos com a Castanheira-da-amazônia ainda carecem de abordagens acerca

das melhores práticas de manejo dos plantios. Neste sentido, informações sobre a densidade de plantio, ciclo de corte, melhor época de desbaste e suas intensidades e adubação, ainda são incipientes (Costa, 2015).

### **Implementação de plantios florestais: efeitos do espaçamento/densidade de plantio/espço vital de crescimento**

Um dos principais aspectos a serem considerados na implantação de um projeto de reflorestamento é a densidade de plantio. O espaçamento utilizado está associado ao aproveitamento dos recursos disponíveis por cada árvore e visa maximizar o desenvolvimento do povoamento (Botelho, 1998; Venturin *et al.*, 2014). Dentre os principais fatores determinantes para a escolha do melhor espaçamento de plantio, pode-se destacar: a qualidade do sítio, a espécie plantada, o produto final desejado e os métodos de colheita (Botelho, 1998).

Entre os fatores que governam a produtividade, a densidade do povoamento é fundamental, pois afeta a ocupação da área, o tamanho médio dos compartimentos e a qualidade da madeira (Benomar *et al.*, 2012). Estudos de resposta das árvores para o espaçamento inicial tem focado nas características de crescimento tais como altura, diâmetro à altura do peito (DAP), volume do tronco e biomassa acima do solo. (Benomar *et al.*, 2012).

A prática de adotar menores densidades de plantio é mais difundida pelas seguintes razões: (i) o custo mais alto de mudas; (ii) a necessidade de circular nos espaços entre linhas com máquinas especializadas para realizar operações de manutenção; (iii) a conveniência de adiar desbaste precoce como objetivo de colher árvores de maiores dimensões (Marziliano *et al.*, 2015).

A definição do melhor espaçamento varia com a finalidade do plantio. Por exemplo, em um povoamento destinado para celulose, o espaçamento pode ser mais denso do que plantios visando toras para madeira serrada. Da mesma forma, povoamentos com árvores a serem podadas podem ser plantadas em espaçamentos mais amplos que as árvores não submetidas a este tratamento silvicultural (Briscoe, 1969; Balloni e Simões, 1980).

No Brasil, a maioria dos plantios comerciais tem fins à produção de madeira para celulose e/ou chapas de fibras. Considerando-se a diversidade de comportamento das espécies florestais e as diferentes qualidades de madeira exigidas para cada uso, há a necessidade de se definir o espaçamento adequado para a condução das florestas comerciais com a finalidade de produzir árvores com boas características para os mais diversos fins (Castro *et al.* 1998; Costa *et al.*, 2005; Castelo, 2007).

Outro aspecto a ser considerado na escolha da densidade de plantio é com relação à proteção do solo que depende do tempo necessário para o fechamento do dossel. Quanto mais rápido o fechamento do dossel, mais cedo é obtida a proteção do solo. Assim, diminui-se os riscos de degradação, principalmente nos locais onde a declividade, o tipo de solo e o clima favorecem sua deterioração (Botelho, 1998).

Durante a fase inicial de crescimento, uma planta necessita principalmente adquirir os recursos primários (*e.g.* água, luz, nutrientes) disponíveis que atendam às exigências mínimas de crescimento de cada espécie. Se estes estão presentes em quantidades adequadas, a alta densidade de plantio não será capaz de impedir o desenvolvimento inicial do povoamento. Entretanto, só após alguns anos de crescimento, as plantas começam a competir por água, nutriente, luz e espaço físico de crescimento da copa e do sistema radicular. A taxa de crescimento depende basicamente da qualidade do sítio, da espécie e do espaço físico disponível por planta (Poortere Bongers, 1993; Botelho, 1998), além de ser fortemente determinada pela capacidade da planta em interceptar a luz solar e pela eficiência em utilizar a energia luminosa no processo fotossintético (Barnes *et al.*, 1990; Hirose e Bazzaz, 1998; Ishii *et al.*, 2013). Além disso, os efeitos do espaçamento afetam a taxa de mortalidade e de dominância, o volume de madeira (individual e por área) e o desenvolvimento radicular (Botelho, 1998).

De acordo com Vanclay (1994) e Prodan *et al.*, (1997), o crescimento é o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta num determinado período de tempo, o qual está influenciado pelas características da espécie interagindo com o ambiente.

Na maioria dos planejamentos florestais, a escolha da densidade de plantio tem sido fundamentada simplesmente no uso final da madeira, negligenciando-se fatores de ordem ecológica e silvicultural. O espaçamento tem uma série de implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico (Balloni e Simões, 1980; Castro *et al.*, 1998; Botelho, 1998). Diferenças significativas nas taxas de sobrevivência e crescimento das plantas, na qualidade da madeira e idade de corte têm sido detectadas, bem como nas práticas de exploração e manejo florestal. Conhecer a espécie utilizada é fundamental para a escolha do espaçamento do plantio, pois envolve fatores de ordem ecológica e silvicultural (Castro *et al.*, 1998).

As condições ambientais locais exercem influência no crescimento de cada espécie, que se reflete nas curvas do crescimento (Lamprecht, 1990). Dito de outra forma, os fatores genéticos da espécie e as condições ambientais governam o crescimento das árvores. Basicamente, os fatores climáticos, edáficos, topográficos e de competição devem ser levados em consideração para que se possa fazer predições adequadas.

O sucesso do estabelecimento de plantas sobre áreas de grandes clareiras é atribuído à sua capacidade de investir em biomassa foliar (Dalling *et al.*, 1999). O acúmulo de biomassa pelas plantas é determinado por vários fatores incluindo, dentre outros, o número de folhas e/ou área foliar, a capacidade fotossintética individual das folhas, a capacidade em acumular e/ou utilizar os nutrientes de maneira eficiente e a disponibilidade de nutrientes e água no solo (Marschner, 1995; Cornelissen *et al.*, 1997; Marengo *et al.*, 2001). O ganho de biomassa está diretamente relacionado com a interceptação da radiação (Monteith e Moss, 1977; Binkley *et al.*, 2010; Ishii *et al.*, 2013; Broeckx *et al.*, 2015). A interceptação da radiação depende da área foliar total da planta, integrando o tamanho e o número de folhas.

Estudos utilizando uma variedade de densidades iniciais de plantio para diferentes espécies de árvores mostraram que, em longo prazo (mais que 20 anos), a densidade inicial de plantio tem pouco efeito no rendimento total de madeira. Por outro lado, a densidade inicial tem importantes implicações quando considerado o produto pretendido e seu respectivo valor, assim como

os custos totais dos tratamentos silviculturais (Cardoso *et al.*, 2013). Kageyama *et al.* (1987) encontraram cinco diferentes tendências de respostas ao aumento do espaçamento em diferentes grupos de espécies arbóreas nativas, desde positiva em crescimento, até negativa, com o aumento do espaçamento.

A influência de diferentes espaçamentos sobre a produção de biomassa varia com a espécie, a idade das plantas e a qualidade do sítio. Em espaçamentos mais densos, a maior competição entre as plantas resulta na estabilização do acúmulo de biomassa em menor idade que aquele observado em espaçamentos mais amplos (Bernardo, 1995). Considerando a distribuição de biomassa em árvore e a nível de povoamento, densidade de plantio e espaçamento são elementos fundamentais a serem contabilizados (Marziliano *et al.*, 2015).

A densidade de plantio é determinante no estoque de biomassa individual e total por área de plantio. Sendo, geralmente, encontrado maior valor individual em menor densidade de plantio, porém, nos plantios mais densos, maior estoque total por hectare (Balloni e Simões, 1980). Os métodos para estimar a biomassa das plantas baseiam-se em métodos diretos, conhecidos por destrutivos, e indiretos, por não destrutivos (Silveira *et al.*, 2008; Ribeiro *et al.*, 2009). O método indireto é o mais empregado e consistem no uso de dados de inventário florestal que correlacionam o fator biomassa com variáveis de fácil obtenção (DAP, altura, volume), sem que haja o corte do indivíduo e aplicando-se equações alométricas é estimada a biomassa e o carbono alocado (Higa *et al.*, 2014).

A idade de corte e o espaçamento são intimamente relacionados, quanto maior for a densidade de plantio mais precoce será a idade de estagnação do crescimento e, portanto, a exploração ou desbaste. Dessa forma, os plantios em espaçamentos menores, normalmente exigem ciclos de corte mais curtos, pois a competição entre as plantas ocorre mais cedo (Botelho, 1998).

As estimativas do crescimento de uma árvore ou de um povoamento tornam-se essenciais para o planejamento de um empreendimento florestal. As decisões dependem diretamente dessas estimativas, como a determinação da quantidade de área necessária para suportar certo nível de produção presente

ou desejado, a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente, as espécies e tipos de produtos que estão ou se tornarão disponíveis no futuro (Schneider, 1993).

Segundo Rondon (2002), trabalhando com sete espaçamentos de *Schizolobium amazonicum*, aos cinco anos de idade, concluiu que nos espaçamentos mais amplos as plantas apresentaram altura e diâmetro médios superiores, ocorrendo o inverso com os espaçamentos menores, e obteve maior produção de biomassa total nos espaçamentos maiores. Benomar *et al.* (2012) estudando dois clones de *Populus* sp., encontraram um aumento de cerca de 120% para o DAP com o aumento do espaçamento de um dos clones, enquanto que o outro clone não respondeu significativamente ao aumento do espaçamento. Os autores observaram diminuição significativa na produção de biomassa acima do solo por hectare com o aumento do espaçamento.

Castro *et al.* (1998) avaliando diferentes tipos de espaçamentos em plantios de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) verificaram que a maior produção de biomassa obtida foi nos menores espaçamentos, devido o maior número de árvores por unidade de área. Com relação aos parâmetros altura, DAP e sobrevivência não houve influência dos espaçamentos, sugerindo que aos sete anos de idade ainda não ocorre a competição por recursos primários.

Estudando sete tipos de espaçamento em plantios de *Tectona grandis* L.F. com 76 meses de idade, Rondon (2006) obteve os maiores diâmetros nos maiores espaçamentos e nenhuma influência do espaçamento na altura das plantas. Entretanto que o menor espaçamento testado possibilitou maior produção de biomassa total por hectare.

Benomar *et al.* (2012) estudando três espaçamentos encontraram efeitos contrários relacionado ao aumento do espaçamento de dois clones de *Populus* sp.. A altura teve um aumento de cerca de 32% para um dos clones e, para o outro, uma diminuição de aproximadamente 20%, do menor para o maior espaçamento.

Levando em consideração os resultados de altura e biomassa, verifica-se a necessidade de estudos de árvores em idades mais avançadas, de maneira que se possa inferir sobre a época em que ocorrerá o equilíbrio na produção de

biomassa nos diferentes espaçamentos para as condições de sítio (Rondon, 2006).

O padrão de alocação de biomassa constitui informação importante por influenciar a biomassa disponível para colheita. A redução do espaçamento entre as árvores geralmente reduz a biomassa atribuída a galhos e folhas em benefício do fuste (Benomar *et al.*, 2012). A densidade de plantio afeta as proporções de biomassa alocada em fuste, folhas e galhos, mas a alocação em raízes não se alterou no estudo de Benomar *et al.* (2012) com dois clones de *Populus* sp..

Muitos autores conduziram diversos estudos sobre a forma das árvores. Dentre eles pode-se citar Burger (1939), a quem se deve as primeiras caracterizações e modelos de copa. As variáveis DAP, a área basal, a altura (total, comercial, dominante), a área de projeção de copa e o volume de copa são conceitos bem conhecidos. Menos conhecidos, entretanto, são o índice de abrangência, o formal de copa, o grau de esbeltez, o índice de saliência e o índice de espaço vital (Tonini *et al.*, 2008).

Arquitetura de copa desempenha um importante papel na produtividade florestal de curta duração. A relação entre diâmetro de copa e DAP, para várias espécies, pode oferecer informações necessárias para otimizar o espaçamento entre árvores. A arquitetura de copa determina a distribuição espacial das folhas e, conseqüentemente, a eficiência na interceptação da radiação solar (Benomar *et al.* 2012). Estudando dois clones de *Populus* sp., Benomar *et al.* (2012) encontraram efeito do espaçamento na distribuição vertical da área foliar. O incremento desta variável normalmente resulta numa maior taxa de crescimento das árvores.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na propriedade da Empresa Agropecuária Aruanã S/A, localizada na rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara), no km 213, município de Itacoatiara, Amazonas (03° 00' 29" S e 58°49' 53" W) (Figura 1). O clima local é do tipo Af (Alvares *et al.*, 2014), com precipitação anual superior a 2000 mm e temperatura média de 27,1°C. A vegetação original da área era formada por Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012). A topografia apresenta ondulações com altitude variando entre 120 e 170 m e o solo predominante da região é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico de textura muito argilosa (Teixeira *et al.*, 2001; *apud* Maia, 2010). Análises físicas e químicas do solo foram realizadas em 2011 (Lima e Souza, 2014) (Tabela 1). Conforme os parâmetros estabelecidos por Ribeiro *et al.* (1999), o solo é caracterizado com elevada acidez, com altos teores de alumínio (Al) e matéria orgânica (MO) (até 10 cm de profundidade) e baixa capacidade de troca catiônica (CTC).

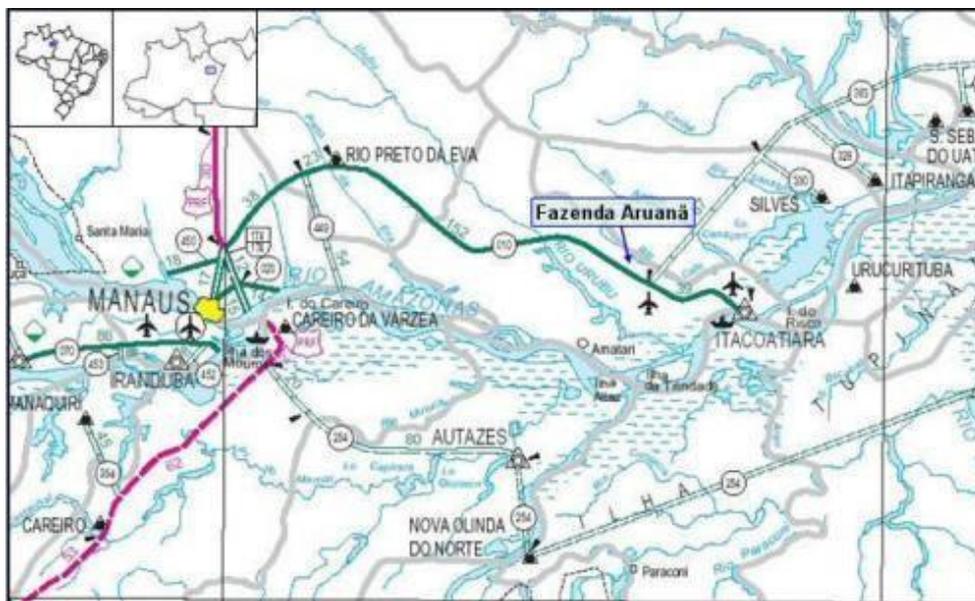


Figura 1. Mapa de localização da Empresa Agropecuária Aruanã.

Fonte: agropecuariaruana.wordpress.com

Tabela 1. Análise física e química do solo da área do experimento.

Profundidade (cm)	Física			Química										
	Areia total	Silte	Argila	pH	C	MO	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	CTC
		g kg <sup>-1</sup>		H <sub>2</sub> O	g kg <sup>-1</sup>		%	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0 - 10	91,9	197	711	4,2	25,1	43,3	1,6	2	15	4	0,06	0,1	1,8	2,03
10 - 20	59,9	209,2	731	4,6	10,5	18,1	0,8	1	6	1	0,06	0,05	1,1	1,2
20 - 30	60,2	190,8	749	4,5	9,2	15,9	0,7	1	4	1	0,04	0,03	1	1,1
30 - 40	60,9	88,1	851	4,7	7,3	12,5	0,6	1	3	1	0,04	0,03	0,9	1,1
40 - 60	55,2	143,3	801,5	4,7	7,4	12,7	0,6	1	2	1	0,05	0,03	0,9	0,9
60 - 100	53,9	100,5	854,5	4,7	3,9	6,8	0,3	0,4	1	1	0,04	0,03	0,8	0,9

Tamanho das partículas: Areia 2,00 – 0,05 mm; Silte 0,05 – 0,002 mm; Argila (> 0,002 mm). C: carbono; MO: matéria orgânica; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; CTC: capacidade de troca catiônica efetiva. Fonte: Lima e Souza (2014).

## Caracterização dos plantios

A área de estudo é um povoamento florestal da espécie castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), instalado em março de 1996 em áreas alteradas, usadas anteriormente para pastagem, com mudas provenientes do próprio viveiro da propriedade. Não foram realizadas adubações de plantio ou cobertura e o preparo da área foi feito mecanicamente com o uso de gradagem superficial. A coleta de dados deste estudo foi realizada no período entre julho e setembro de 2016 (Figura 2).



Figura 2. Fotos do plantio: A) visão panorâmica dos plantios , B) EV de 16 m<sup>2</sup> e, C) EV de 12 m<sup>2</sup>.

No total, foram plantadas 566 mudas distribuídas em seis espaços vitais de crescimento: 12 m<sup>2</sup>; 16 m<sup>2</sup>; 20 m<sup>2</sup>; 25 m<sup>2</sup>; 30 m<sup>2</sup>; e 36 m<sup>2</sup>, sendo implementadas duas parcelas para cada tratamento. A densidade resultante de cada um dos espaçamentos equivale a 833, 625, 500, 400, 333 e 277 árvores ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2). Foram desconsideradas na amostragem a linha das árvores de borda em cada parcela (Figura 3). Apenas as árvores do interior da parcela (parcela útil) foram consideradas na amostragem.

Tabela 2. Espaçamento, densidade, espaço vital de crescimento, número total de árvores por espaço vital de crescimento e a quantidade amostrada.

Espaço Vital (m <sup>2</sup> )	Espaçamento (m x m)	Densidade (árv. ha <sup>-1</sup> )	N total de árvores	N de árvores da parcela útil
12	3 x 4	833	160	96
16	4 x 4	625	128	72
20	4 x 5	500	96	48
25	5 x 5	400	72	32
30	5 x 6	333	60	24
36	6 x 6	277	50	18
<b>Total</b>			<b>566</b>	<b>290</b>

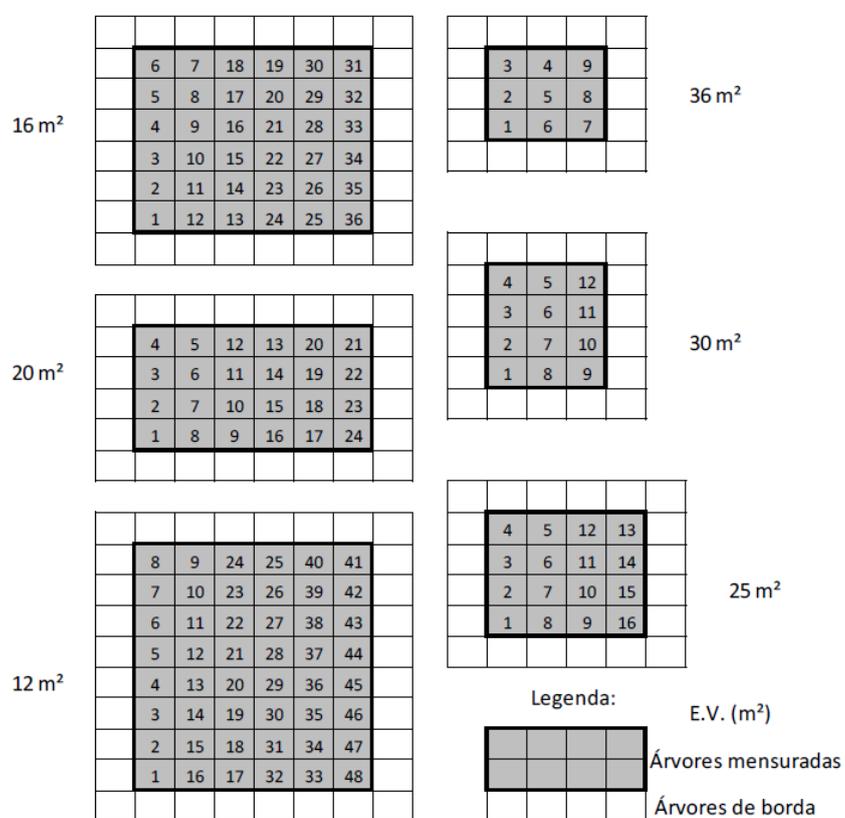


Figura 3. Desenho esquemático da distribuição das árvores por espaço vital de crescimento. Cada parcela de plantio foi replicada duas vezes na área. Cada quadrícula representa uma árvore. A distância entre elas (não representado) corresponde ao espaçamento.

## Estudo das variáveis microclimáticas

Análises de características microclimáticas foram conduzidas no interior da parcela útil de cada um dos tratamentos. As coletas das informações de teor de água do solo e níveis de radiação PAR foram realizadas no mês de julho de 2016.

Para o teor de água do solo foram amostrados aleatoriamente oito pontos por espaço vital de crescimento, sendo quatro em cada parcela. A variável irradiância foi coletada em mais pontos. O total de pontos distinguiu conforme o tratamento (pontos/EV: 42 pts/12 m<sup>2</sup>; 30 pts/16 m<sup>2</sup>; 18 pts/20 m<sup>2</sup>; 18 pts/25 m<sup>2</sup>; 12 pts/30 m<sup>2</sup>; 8 pts/36 m<sup>2</sup>). Os pontos amostrados foram escolhidos de forma sistemática, equidistantes a quatro indivíduos do povoamento e foram desconsiderados os locais próximos às linhas de borda (Figura 4).

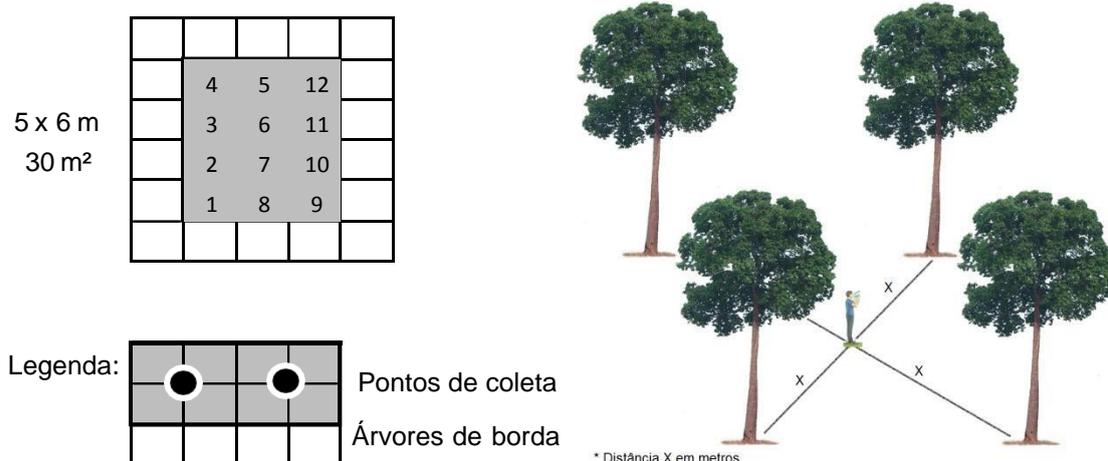


Figura 4. Esquema da distribuição e ilustração dos pontos de amostragem e coleta das variáveis microclimáticas por parcela (p.ex. espaçamento 5 x 6 m, EV = 30 m<sup>2</sup>).

O teor de água no solo nas profundidades entre 0 e 40 cm foi determinado pelo método gravimétrico (Uhland, 1949). A coleta das amostras foi feita com o auxílio do trado pedológico do tipo “holandês”. Os níveis de irradiância fotossinteticamente ativa foram obtidos a partir do uso do *MQS-B Sensor* conectado ao *ULM-500, Heinz Walz*. Esses dados foram registrados a cada duas horas entre 6 h e 18 h, durante três dias, em dias de baixa nebulosidade.

## Amostragem

O inventário piloto possibilitou verificar a frequência de indivíduos por classe diamétrica em cada espaço vital de crescimento. Cada árvore do povoamento foi considerada uma unidade amostral. O número de classes foi determinado com base na fórmula de *Sturges* (Machado e Figueiredo Filho, 2003, Weber *et al.*, 2011). Com base na distribuição observada, foi determinado o número de indivíduos a serem amostrados de forma destrutiva (Moura *et al.*, 2006; Caldeira *et al.*, 2011; Londero *et al.*, 2011; Schumacher *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2015). Foi escolhida uma árvore dentro de cada classe diamétrica para a amostragem destrutiva. Assim, a árvore com o valor do DAP mais próximo do valor médio da respectiva classe em cada espaço vital de crescimento foi selecionada e abatida para cálculo de biomassa aérea e volume do fuste.

## Sobrevivência

A sobrevivência (S, %) foi calculada pela razão entre o número de indivíduos presentes no momento da amostragem e o número de indivíduos plantados no início do experimento em valor percentual, a saber:

$$S = \frac{N_f}{N_i} \times 100$$

Em que: S: Percentagem de sobrevivência;  $N_f$ : Número final de indivíduos vivos e;  $N_i$ : Número de indivíduos plantados inicialmente.

## Biometria das árvores

Foram mensurados a altura total (HT, m) e o diâmetro à altura do peito (DAP, cm) em todas as árvores de cada parcela útil. A altura total das árvores foi mensurada com a utilização de um clinômetro eletrônico (*Haglof*) e a circunferência à altura do peito (CAP, cm) com uma fita métrica, e então calculado o DAP pela fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

## Variáveis de copa e índices morfométricos

As características da copa foram medidas em todas as árvores das parcelas úteis. As variáveis da copa analisadas foram o diâmetro da copa (DC, m), medido com uma trena de 30 m, em dois sentidos (perpendicular entre linhas e paralelo entre plantas) e, o comprimento da copa viva (L, m), a partir da diferença entre a altura total do indivíduo e a altura de inserção de copa (altura do galho vivo mais baixo). As medições das alturas de inserção de copa foram realizadas com o auxílio de uma trena a laser (Bosch, com alcance de 40 m). Com os dados de DC é possível calcular a área ocupada pela projeção da copa através da fórmula da área da elipse (m<sup>2</sup>), utilizada por Scoles *et al.*, (2015):

$$\text{Área elipse} = (RC1 \times RC2) \times \pi$$

Sendo: RC<sub>n</sub>: o raio da copa (DC<sub>n</sub>/2)

As árvores que foram abatidas tiveram suas copas subdivididas em três seções verticais de iguais proporções (33% do comprimento da copa para cada seção: parte inferior, média e superior). Cada seção foi representada por amostras de 30 folhas em diferentes estágios de desenvolvimento, totalizando 90 folhas por árvore.

A área foliar (AF, cm<sup>2</sup>) individual foi medida em campo usando um integrador de área foliar portátil (CID Inc., Camas, WA, USA). Assim, foi possível calcular a área foliar média nas três seções da copa para cada árvore.

Para o cálculo de área foliar específica (AFE, cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) foi utilizado o método de amostragem dos discos foliares. O método consistiu na escolha de três folhas de cada seção da copa (folhas completamente expandidas, íntegras, em condições fitossanitárias adequadas, sem sinais de deficiência nutricional, pragas ou doenças) e, de cada uma delas retirados 10 discosfoliares de área conhecida (0,283 cm<sup>2</sup>). Portanto, 30 discos foliares (8,49 cm<sup>2</sup>) compuseram a amostra para cálculo de AFE por seção de copa, de cada indivíduo. Os discos foliares foram secos em estufa (70°C) com aeração forçada por 72 horas até massa constante. Após a secagem, a pesagem foi realizada em balança analítica. A AFE, obtida por meio da razão entre a soma das áreas foliares dos discos frescos e a soma das massas dos discos foliares secos (mfs,

g) de cada seção vertical da copa (Evans e Poorter, 2001), a saber:

$$AFE = \frac{AF}{mfs}$$

De posse das medidas do diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) das árvores, diâmetro de copa (DC) e comprimento de copa (L) foi possível calcular os seguintes índices morfométricos (Tonini *et al.*; 2008 e Costa *et al.*; 2009) (Figura 5):

<b>Grau de Esbeltez (GE)</b>	$GE = \frac{H}{DAP}$
<b>Proporção de copa (PC, %)</b>	$PC = \frac{L}{H} \times 100$
<b>Índice de saliência (IS)</b>	$IS = \frac{DC}{DAP}$
<b>Índice de abrangência (IA)</b>	$IA = \frac{DC}{H}$
<b>Formal de copa (FC)</b>	$FC = \frac{DC}{L}$

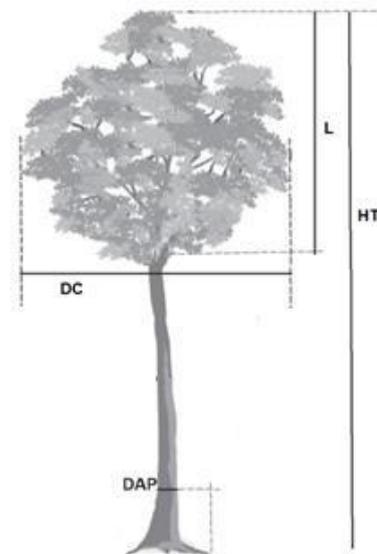


Figura 5. Índices morfométricos e variáveis dendrométricas coletadas em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos. Fonte: modificado de Figueiredo *et al.* (2014).

### Critério de amostragem destrutiva (volume e biomassa)

Em campo, cada indivíduo selecionado de cada classe de diâmetro foi localizado, cortado 10 cm do nível do solo com o uso de motosserra e odiâmetro inicial tomado nesse ponto. Foram cortados 36 indivíduos nos diferentes espaços vitais de crescimento. Os mesmos foram utilizados para as estimativas de volume e biomassa. A partir do ajuste de equações, foi possível estimar a biomassa da parte aérea e o volume comercial do fuste para as árvores que não foram cortadas. Foram utilizadas equações de simples entrada, tendo o DAP como variável e, de dupla entrada, tendo o DAP e a altura total (HT) para estimativa de volume e, DAP e altura comercial para biomassa (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Modelos alométricos para estimar o volume comercial de fuste das árvores de *Bertholletia excelsa* aos 20 anos.

Nº	Autor	Equação SIMPLES
<u>ENTRADA</u>		
1	Husch	$V = \beta_0 + DAP^{\beta_1} + \varepsilon$
2	Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + E$
3	Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \varepsilon$
4	Dissescu-Meyer	$V = \beta_0 * DAP + \beta_1 * DAP^2 + \varepsilon$
<u>DUPLA ENTRADA</u>		
5	Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 * HT + \varepsilon$
6	Schumacher-Hall	$V = \beta_0 + DAP^{\beta_1} * HT^{\beta_2} + \varepsilon$

Onde: V = Volume comercial de fuste, em m<sup>3</sup>; DAP = diâmetro à altura do peito de cada árvore, em cm; HT = altura total de cada árvore, em m;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Tabela 4. Modelos alométricos para estimar a biomassa das árvores de *Bertholletia excelsa* aos 20 anos.

Nº	Autor	Equação
<u>SIMPLES ENTRADA</u>		
1	Berkhout-Husch	$\text{Ln}(\text{BT}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(\text{DAP}) + \varepsilon$
2	Kopesky e Gehrhardt	$\text{BT} = \beta_0 + \beta_1 * (\text{DAP}^2) + \varepsilon$
3	Hohenald e Kreen	$\text{BT} = \beta_0 + \beta_1 * \text{DAP} + \beta_2 * (\text{DAP}^2) + \varepsilon$
<u>DUPLA ENTRADA</u>		
4	Schumacher e Hall	$\text{Ln}(\text{BT}) = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(\text{DAP}) + \beta_2 * \text{Ln}(\text{HC}) + \varepsilon$
5	Spurr	$\text{BT} = \beta_0 + \beta_1 * (\text{DAP}^2 * \text{HC}) + \varepsilon$

Onde: BT = Biomassa seca total da parte aérea, em kg; DAP = diâmetro à altura do peito de cada árvore, em cm; HC = altura comercial de cada árvore, em m;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

A escolha do melhor modelo, tanto para volume quanto para biomassa, foi aquele que apresentou: Maior coeficiente de determinação ajustado ( $r^2_{\text{ajust}}$ ), menor erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ) uniformidade e não tendenciosidade na distribuição dos resíduos (Res.%) (Ribeiro *et al.*, 2014; Sanquetta *et al.*, 2014). A dificuldade de precisão na obtenção dos dados em campo também foi levada em consideração. Todos os modelos alométricos foram ajustados utilizando os recursos dos programas Statistica 9.0 (StatSoft) e SigmaPlot.

Os dados de biomassa aérea por hectare e volume comercial de fuste por hectare foram estimados a partir da extrapolação dos dados gerados com os indivíduos abatidos. A partir da multiplicação do valor médio de biomassa aérea e/ou volume comercial de fuste de cada espaço vital de crescimento, pelo valor da densidade do plantio (árvores por hectare), estimamos essas variáveis por área (ha). A partir dessa estimativa e, tendo conhecimento da data do plantio, foi possível calcular o incremento médio anual (IMA) em biomassa aérea e volume comercial do fuste.

## Volume

As equações para estimativa do volume do fuste comercial foram ajustadas a partir de dados coletados da amostragem destrutiva de árvores. Foi

realizada a cubagem rigorosa de 36 árvores derrubadas (unidades amostrais). A determinação do volume do fuste foi realizada pelo método de *Smalian* (Leite *et al.*, 2006), em seções de 2,0 m de comprimento até um diâmetro limite de 5,0 cm. Foram ajustados seis modelos (quatro de simples entrada e dois de dupla entrada) via análise de regressão para estimar o volume comercial do fuste das árvores.

## **Biomassa**

Os valores de biomassa aérea foram quantificados a partir do método destrutivo. Após a derrubada das árvores, seus componentes foram separados e pesados em campo. As árvores foram compartimentadas nas seguintes frações da parte aérea: folhas (Fo), galhos (Ga) e fuste (Fu) (Higuchi *et al.* 1998) (Figura 5). A massa do fuste e dos galhos foi obtida com casca. A pesagem foi realizada em 36 árvores (unidades amostrais). A partir do ajuste de equações, foram estimadas as biomassas da parte aérea dos indivíduos não abatidos. Foram testados cinco modelos (três de simples entrada e dois de dupla entrada) via análise de regressão para estimar a biomassa aérea das árvores.

A quantificação da biomassa fresca dos compartimentos das árvores foi feita com o auxílio de uma balança mecânica de plataforma (Micheletti, MIC 2A) com capacidade para 200 kg e precisão de 100 g. As balanças, antes do uso em campo, foram calibradas com pesos aferidos.

Dos compartimentos galhos (Ga) e fuste (Fu) foram retiradas alíquotas compostas por discos de três centímetros seccionados a 0% (base), 50% e 100% (ápice), mais um disco do DAP (Figura 6). Para a estimativa de biomassa de folhas (Fo) foram retiradas alíquotas compostas por 30 folhas de cada terço da copa, inferior, médio e superior. As folhas escolhidas estavam completamente expandidas, íntegras, em condições fitossanitárias adequadas, sem sinais de deficiência nutricional, pragas ou doenças. Todos os discos retirados e cada conjunto de folhas foram imediatamente pesados e acondicionados em sacos de papel pardo, devidamente identificados e levados para o Laboratório de Silvicultura da Universidade Federal do Amazonas para a determinação da biomassa seca. Essas mesmas folhas tiveram medidas suas áreas foliares (AF), variável melhor detalhada adiante.

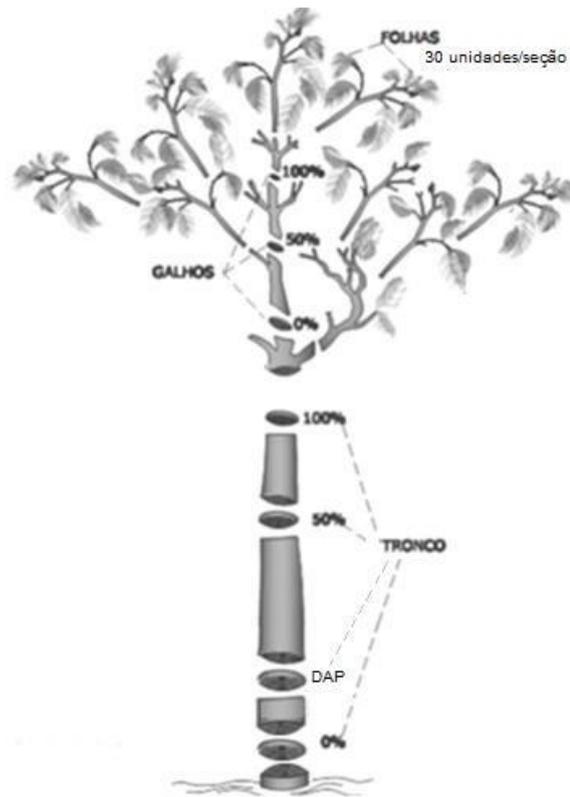


Figura 6. Esquema de coleta das alíquotas dos compartimentos de parte aérea das árvores de *Bertholletia excelsa*. Fonte: modificado de Bastos (2011).

Para a determinação da biomassa seca, as alíquotas de Fo, Ga e Fu foram colocadas em estufa para secagem (Cienlab, CE 220/81) até atingir massa constante. Para Ga e Fu a temperatura foi controlada entre 100 —105°C, por um período mínimo de 72 horas e, para Fo a temperatura foi ajustada em 70°C, por um período mínimo de 48 horas. Em seguida as amostras foram pesadas em balança digital (Urano, US 20/2 POP-S) com capacidade para 20 kg e precisão de 2,0 g. A partir da relação entre biomassa seca e a biomassa fresca, foi obtido um coeficiente (k) e a biomassa seca da árvore conforme as equações (1) e (2).

$$(1) k = M_s \cdot M_f^{-1}$$

Onde: k: Coeficiente; Ms: Massa seca a 105°C e; Mf: Massa fresca

$$(2) B_s = k \cdot B_f$$

Onde: Bs: Biomassa seca; k: Coeficiente e; Bf: Biomassa fresca

## **Análises estatísticas**

As relações entre as diferentes variáveis dependentes (DAP, altura, biomassa, volume, características de copa e índices morfométricos) e a variável independente (espaço vital) foram analisadas a partir de ajustes de regressão linear simples ( $p < 0,05$ ). Previamente, foram analisados os pressupostos de distribuição normal dos resíduos (teste de Kolmogorov- Smirnov) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene) (Zar, 1999). As variáveis que não atenderam os pressupostos anteriores foram transformadas a partir da função raiz quadrada. Foram utilizados como critérios para a seleção dos melhores modelos: 1) a significância da regressão ajustada; 2) a significância dos coeficientes dos modelos e 3) o maior coeficiente de determinação ajustado. As características microclimáticas, as taxas de sobrevivência e a partição de biomassa entre os diferentes compartimentos (folhas, galhos e fustes) foram analisadas a partir da estatística descritiva. As análises foram realizadas nos programas Statistica 9.0 e SigmaPlot 11.0.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No presente estudo, o nosso objetivo principal foi investigar como o espaço vital afeta a sobrevivência, o crescimento, as variáveis de copa e os índices morfométricos de *B. excelsa* em plantio aos 20 anos de idade. Os principais alcances da pesquisa foram: i) *B. excelsa* possui altas taxas de sobrevivência independente do espaço vital; ii) à exceção do crescimento em altura, que não foi afetado pelo espaço vital, as demais características de crescimento (DAP, biomassa e volume) aumentaram com o acréscimo do espaço vital, embora o maior nível (36 m<sup>2</sup>) tenha contribuído fortemente para o padrão linear de resposta observado; iii) o espaço vital influenciou as características de copa (diâmetro, comprimento e área) e essas foram bons preditores da produção de biomassa e volume; iv) *B. excelsa* possui ajustes morfológicos em nível foliar (área foliar específica) em função da variação do espaço vital; v) o espaço vital afeta predominantemente os índices morfométricos GE, PC e IA.

Nos próximos tópicos são apresentados os resultados e discussão que sustentaram os principais alcances do presente estudo.

## Variáveis microclimáticas

O teor de água do solo, entre os diferentes espaços vitais de crescimento, teve uma amplitude de variação de pouco mais de 2% nas profundidades coletadas (Tabela 3) e não houve um padrão em relação ao aumento ou redução do EV (Figura 7). A diferença percentual entre a menor e a maior média de umidade do solo FOI de 4%. Estudando relações hídricas de *Eucalyptus grandis*, Leite *et al.* (1999) encontraram que o aumento no espaço vital de crescimento proporciona maiores conteúdos de água no solo, essa resposta pode ser entendida em partes pela menor quantidade de árvores, conseqüentemente de área foliar, fazendo com que o maior espaço vital de crescimento perca menos água pela evapotranspiração das plantas.

Tabela 5. Teor de água médio do solo (%) em diferentes espaços vitais de crescimento (EV) nas profundidades entre 0 - 20 cm e 20 - 40 cm em plantios de *B. excelsa*.

EV	Profundidade (cm)	
	0 - 20	20 - 40
12	38,1	38,7
16	36,5	37,4
20	35,9	37,4
25	37,3	39,9
30	36,6	37,9
36	36,7	38,8

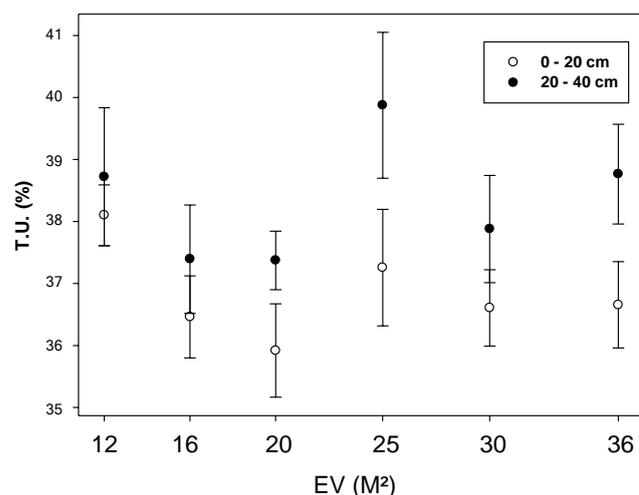


Figura 7. Efeito do EV de crescimento (EV) na variação do teor de água (T.U.) nas profundidades de 0 - 20 e, 20 - 40 cm do solo em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos.

O ritmo de variação diurna da irradiância foi diferente entre os espaços vitais de crescimento. O maior valor de irradiância encontrado foi  $1.464,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Esse valor foi observado no período entre 10 h e 12 h em todos os níveis de EV, exceto o EV de  $20 \text{ m}^2$ . Os maiores valores médios foram encontrados entre 10 h e 12 h no EV de  $36 \text{ m}^2$  ( $715,6$  e  $541,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente) (Tabela 4). E, no EV de  $36 \text{ m}^2$  foi observado também, por um período maior (entre 6 h e 12 h), os maiores valores de irradiação (Figura 8).

Tabela 6. Média, máxima, mínima e amplitude de variação dos valores de irradiância por espaço vital de crescimento de *B. excelsa* para os horários de 10, 12 e 14 horas durante o mês de julho de 2016.

EV	n	10 h				12 h				14 h			
		Média	Máx.	Mín.	Ampl.	Média	Máx.	Mín.	Ampl.	Média	Máx.	Mín.	Ampl.
12	42	328,3	1464,3	32,6	1431,7	263,9	1333	53,8	1279,2	174,6	1269,6	31	1238,6
16	30	241,9	1464,3	29,9	1434,4	297,5	1464,3	41,1	1423,2	350,7	1464,3	32,2	1432,1
20	18	272,9	1201	34	1167	340,1	1398,8	52,4	1346,4	361,5	1432,2	36	1396,2
25	18	160,1	673	34,8	638,2	251,7	1464,3	53,6	1410,7	240,7	742,6	37,9	704,7
30	12	255,7	753	37	716	519,4	1464,3	62,1	1402,2	305,8	1176,8	50,8	1126
36	8	715,6	1464,3	36,8	1427,5	541,7	1412,8	84,9	1327,9	139,0	369,1	62,2	306,9

Onde: EV: espaço vital de crescimento ( $\text{m}^2$ ); n: número de pontos amostrados; valores de irradiância em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

A castanheira-da-amazônia é uma espécie que demonstra rápido crescimento inicial em plantios florestais quando expostas a altos níveis de irradiância. O maior crescimento e acúmulo de biomassa são encontrados nos ambientes de moderada a alta irradiância, resultado dos melhores desempenhos fotossintéticos (Souza *et al.*, 2017). Neste estudo, as plantas que cresceram no maior nível de EV (36 m<sup>2</sup>) receberam os maiores níveis de irradiância o que pode refletir em maior acúmulo de biomassa da parte aérea.

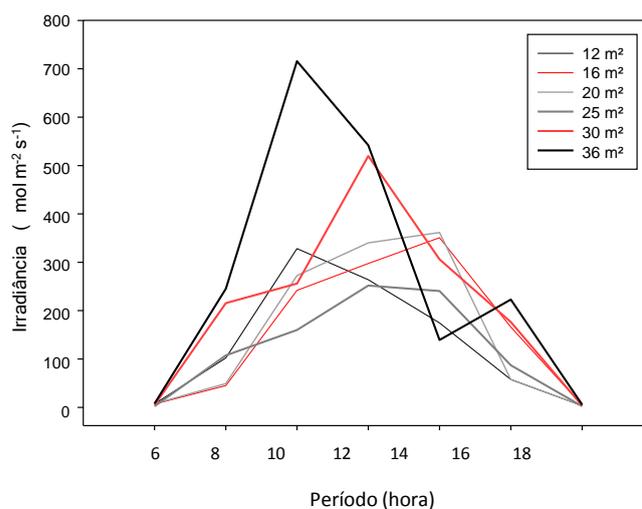


Figura 8. Valores médios do padrão diário da radiação fotossinteticamente ativa em plantios de *B. excelsa* com diferentes espaços vitais de crescimento. As linhas representam os espaços vitais de crescimento.

### Efeitos do espaço vital sobre a sobrevivência e o crescimento de *B. excelsa*

Os plantios de *B. excelsa* tiveram altas taxas de sobrevivência em todos os espaços vitais estudados (>70%). As taxas de sobrevivência variaram entre 71 e 92% para as condições de espaço vital de crescimento 30 e 16 m<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 9). Esta espécie tem alta capacidade de sobrevivência em ambientes perturbados (Paiva *et al.*, 2011; Scoles *et al.*, 2011; Scoles *et al.*, 2014) o que corrobora com os dados encontrados neste estudo, pois eram áreas anteriormente utilizadas com pastagens.

Num ensaio experimental, sob três espaçamentos (3,0 x 1,0 m, 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m) com a espécie *Dipteryx alata* Vog., aos idade 20 anos, a sobrevivência não foi afetada pelo espaçamento (Aguiar *et al.*, 1992). Castro *et*

al. (1998), estudando o *Sclerolobium paniculatum* Vogel., uma espécie nativa da Amazônia, sob sete espaços vitais de crescimento, (entre 2,0 m<sup>2</sup> e 7,5 m<sup>2</sup>), aos sete anos de idade também não encontraram efeito do espaço vital de crescimento na sobrevivência. Entretanto, quando há efeito do espaço vital de crescimento sobre a sobrevivência, de maneira geral, nos menores EV são encontradas as menores taxas de sobrevivência (Leite *et al.*, 2006; Marziliano *et al.*; 2015). Apesar das percentagens de sobrevivência estarem acima dos 73%, Akers *et al.* (2013), pesquisando *Pinus taeda* L. aos 13 anos de idade, observaram decréscimo na sobrevivência com a diminuição do espaço vital de crescimento. *Bertholletia excelsa*, é uma espécie classificada ecologicamente como parcialmente tolerante à sombra, onde, apesar da exigência de luz para o crescimento, a espécie se estabelece em ambientes sombreados, o que corrobora com a alta taxa de sobrevivência encontrada neste estudo, independente do EV.

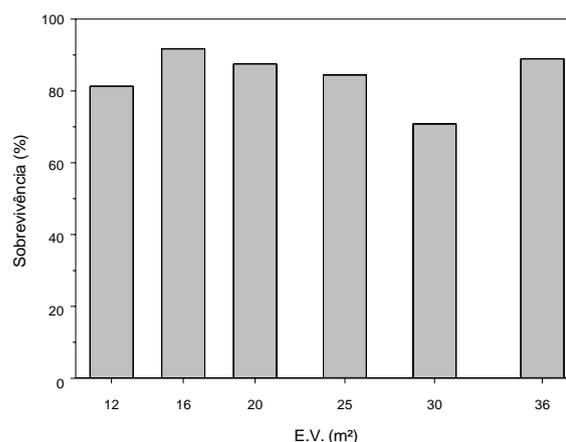


Figura 9. Efeito do EV de crescimento sobre as taxas de sobrevivência de *B. excelsa* aos 20 anos de idade.

O espaço vital de crescimento influenciou significativamente o crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) de *B. excelsa* ( $p = 0,0008$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0462$ ). O modelo de regressão ajustado indica padrão linear e positivo de resposta do DAP em função do aumento do espaço vital de crescimento aos 20 anos de idade (Figura 10). Os valores médios de DAP variaram entre 16,3 cm (EV = 16 m<sup>2</sup>) e 26,3 cm (EV = 36 m<sup>2</sup>). Por outro lado, não houve efeito significativo do espaço vital sobre o crescimento em altura ( $p = 0,084$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0091$ ). Os valores médios de altura variaram entre 17,5 m (EV = 30 m<sup>2</sup>) e 22,6 m (EV = 36

m<sup>2</sup>).

Muitos trabalhos indicam o efeito do espaçamento sobre as variáveis de crescimento. De maneira geral, parece haver um consenso em afirmar que há uma tendência a encontrar os maiores valores de DAP nos maiores espaços vitais de crescimento (Leite *et al.*, 2006; Inoue *et al.*, 2011).

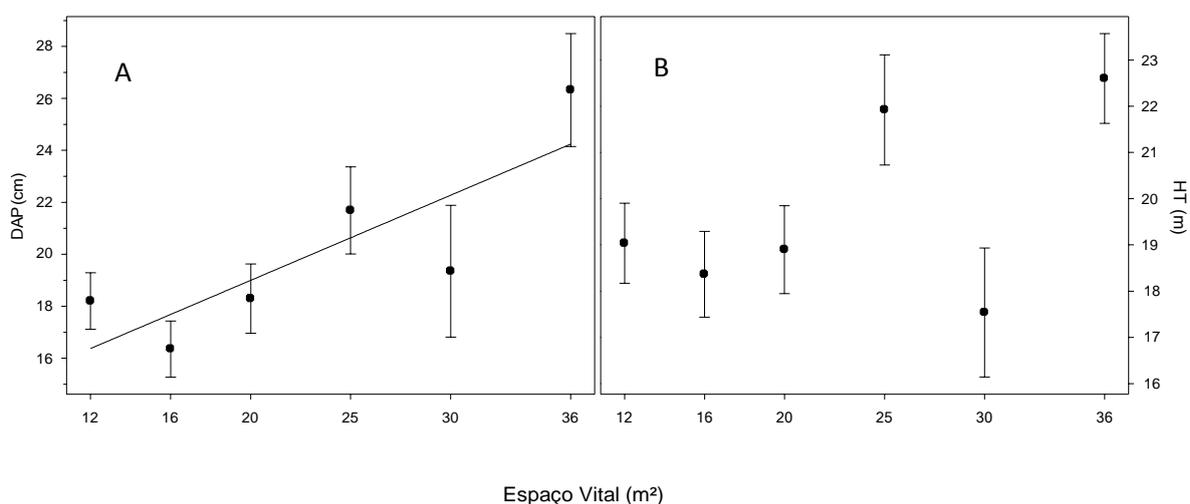


Figura 10. Efeito do EV sobre as variáveis de crescimento: A) diâmetro à altura do peito (DAP) e, B) altura total (HT) de *B. excelsa* aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais o erro padrão em cada EV.

### Efeitos do espaço vital sobre as variáveis e índices morfométricos da copa de *B. excelsa*

O espaço vital influenciou positivamente o comprimento de copa (L) ( $p = 0,0003$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0540$ ), o diâmetro médio de copa (DC) ( $p < 0,0001$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0937$ ) e a área de copa (AC) ( $p < 0,0001$ ;  $r^2_{ajust} = 0,1096$ ) de *B. excelsa* aos 20 anos. As três variáveis tiveram padrão linear de resposta como efeito do aumento do espaço vital de crescimento (Figuras 11 e 12). Porém, este padrão pode ter sido fortemente influenciado pelos valores observados em 36 m<sup>2</sup>. A ausência deste nível de EV implicaria na estabilização dos valores a partir de 25 m<sup>2</sup>. O maior valor médio de L (14,8 m) corresponde ao maior EV (36 m<sup>2</sup>) e o menor valor médio de L (9,3 m) ao menor EV (12 m<sup>2</sup>). O aumento percentual de L entre o menor e o maior EV foi de 60%.

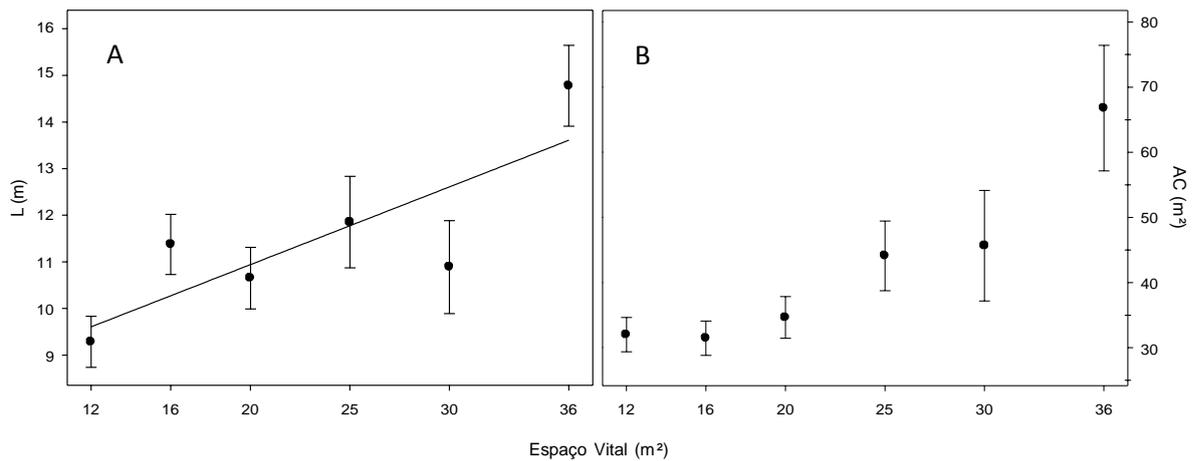


Figura 11. Efeito do EV sobre as variáveis de crescimento da copa: A) comprimento ou profundidade de copa (L) e, B) área de copa projetada (AC) em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

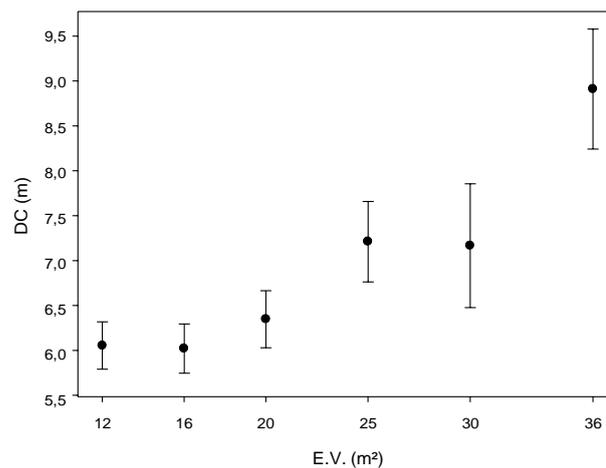


Figura 12. Efeito do EV sobre o diâmetro médio da copa (DC) em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

Estudos indicam que as árvores que possuem AC significativamente maior são as mais produtivas em termos de frutos (Wadt *et al.*, 2005; Kainer *et al.*, 2007; Scoles *et al.*, 2015). Zuidema (2003) e Scoles *et al.* (2015) afirmam que a área de copa é fortemente correlacionada com o DAP e é um preditor ligeiramente melhor para a produção de frutos do que o diâmetro da copa.

Não houve um padrão de resposta para AF em função do aumento do

EV (Figura 13). Esperava-se que nos menores EV houvesse uma maior área foliar resultado dum maior sombreamento esperado nesse nível de densidade.

Para maximizar a interceptação da irradiância, espécies arbóreas tendem a investir no aumento da área foliar específica e distribuem maior quantidade de biomassa para a parte aérea em ambientes sombreados (Zuidema *et al.*, 1999).

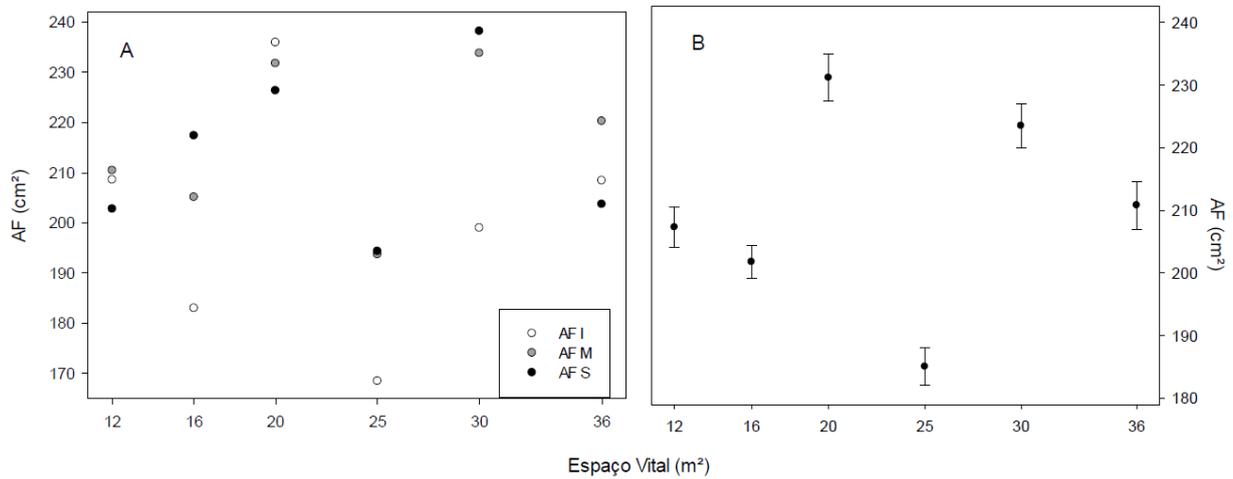


Figura 13. Efeito do EV sobre A) a área foliar média (AF) por seção de copa (AFI: terço inferior; AFM: terço médio e; AFS: terço superior) e, B) a área foliar média da copa de *B. excelsa* após 20 anos. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

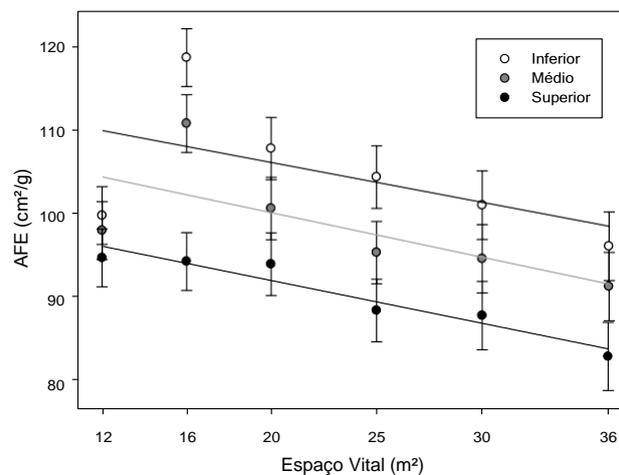


Figura 14. Efeito do EV sobre a área foliar específica das três seções da copa em plantio de *B. excelsa*. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

No estudo de Arkes *et al.* (2013) foram encontrados efeitos significativos do espaço vital de crescimento sobre o comprimento ou razão de copa. O inverso ocorreu com a área foliar específica, que foi maior nos menores EV. O maior adensamento do plantio (menor EV) contribui para a produção de folhas com maior área de superfície por unidade de biomassa (folhas maiores e mais finas). Este ajuste morfológico tem sido sugerido compensar os efeitos do auto sombreamento nas maiores densidades de plantio, uma vez que há maior interceptação de luz por unidade de massa foliar (Will *et al.*, 2001).

A AFE representa uma modificação necessária ao balanço de carbono positivo e desempenho das espécies arbóreas em ambientes contrastantes de luz. Sendo assim, maiores taxas fotossintéticas em unidade de área foliar têm sido observadas em folhas com reduzida AFE em ambientes com alta disponibilidade de irradiância (Kenzo *et al.*, 2015).

O espaço vital também influenciou significativamente alguns dos índices morfométricos da copa. O grau de esbeltez (GE) diminuiu com o aumento do espaço vital ( $p = 0,0003$  e  $r^2_{ajust} = 0,0533$ ) (Figura 15). Os valores médios do GE variaram de 0,9 (36 m<sup>2</sup>) a 1,2 (16 m<sup>2</sup>). O EV que apresentou a maior instabilidade entre as árvores é o de 16 m<sup>2</sup>. A instabilidade está associada às árvores com reduzidos valores de DAP, sugerindo que as árvores estão crescendo mais em altura do que em diâmetro.

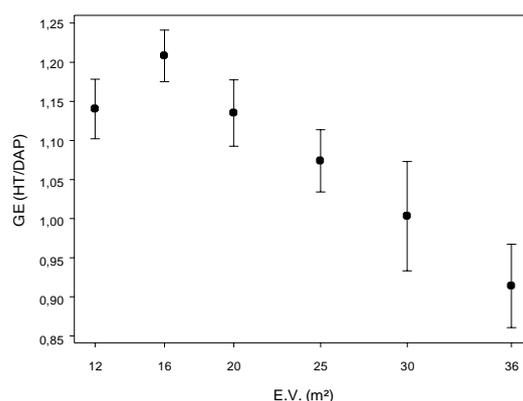


Figura 15. Efeito do EV sobre o índice morfométrico Grau de Esbeltez (GE) em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

Os índices morfométricos de Abrangência (IA) e Proporção de Copa (PC)

foram influenciados pelo EV. Esses índices aumentaram nos maiores EV ( $p = 0,0009$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0448$  e  $p < 0,0001$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0834$ , respectivamente). O modelo de regressão ajustado indica padrão linear de resposta ao predizer o IA e a PC em função do EV. (Figura 16A e 16B).

O índice de abrangência, calculado pela relação entre o diâmetro da copa e a altura total da árvore, é um critério para tomada de decisão em planos de desbaste. Considerando um valor desejado de altura médio de um povoamento, a variação do IA individual está relacionado à variação do DC. De posse do DC necessário para que as árvores se desenvolvam, sem concorrência entre elas, é possível planejar o EV de plantio. Neste estudo, o alto resultado do valor do IA nos dois maiores EV está associado aos maiores valores médios de DC 'diluído' os (disfarçando o efeito dos) maiores valores de altura encontrados. Porém, o alto valor do IA no EV de 30 m<sup>2</sup> está associado a reduzidos valores de DC, porém, menores ainda valores de altura.

Em relação ao índice PC, o menor EV associado ao menor valor médio da variável, pode ser explicado pela maior competição por luz, resultando em maior sombreamento entre indivíduos e estímulo à desrama natural. Pode-se notar na Figura 16A que apesar de existir uma relação linear de aumento da PC ao aumentar o EV, as respostas dos EV intermediários variaram consideravelmente. A maior proporção de copa média encontrada foi de 65,2% (EV = 36 m<sup>2</sup>) e a menor de 47,2% (EV = 12 m<sup>2</sup>).

O índice PC indica o quanto da altura total das árvores é ocupado por copa. O menor EV associado ao menor valor médio do índice PC pode ser explicado pelo mesmo motivo do menor EV ter o menor valor de comprimento de copa (L), já que se trata de um índice quem tem o L como preditor. Pode-se notar na Figura 16A que apesar de existir uma tendência estatística de aumento da PC ao aumentar o EV, as respostas dos EV intermediários variaram consideravelmente. A maior proporção de copa média encontrada foi de 65,2% (36 m<sup>2</sup>) e a menor de 47,2% (12 m<sup>2</sup>).

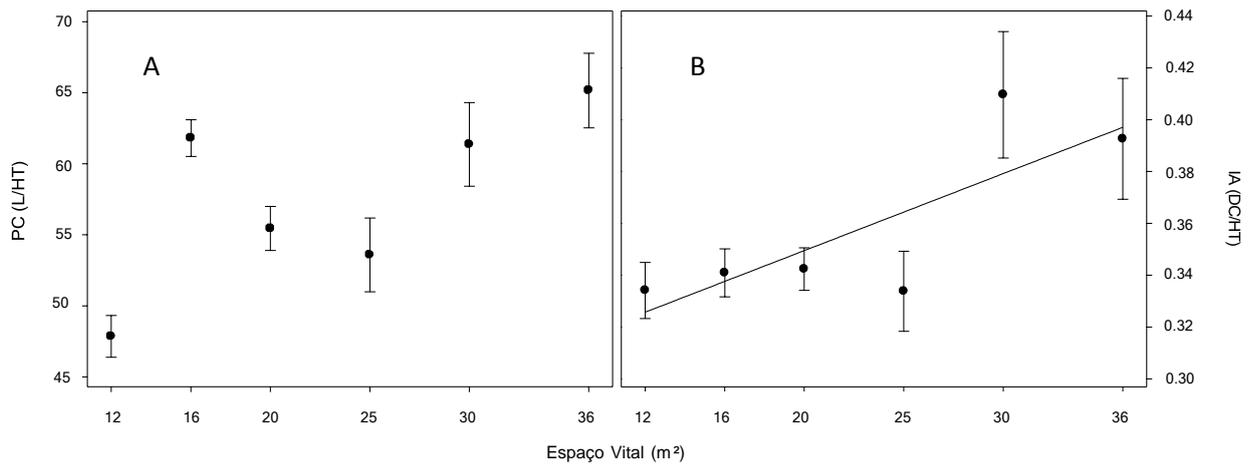


Figura 16. Efeito do EV sobre os índices morfométricos: A) proporção de copa (PC) e, B) índice de abrangência (IA) em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

Os índices morfométricos Índice de saliência (IS) e Formal de Copa (FC) não apresentaram relação significativa com o espaço vital ( $p=0,2939$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0005$  e  $p=0,1651$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0043$ , respectivamente) (Figura 6). Porém, deve-se salientar que, apesar de a regressão não ser significativa, FC tem a variável DC e L como preditoras e a regressão do DC e L em relação ao EV é significativa, o que sugere que o maior valor de FC (EV = 12 m²), apesar de apresentar o menor valor médio de DC, sofre forte influência do reduzido valor de L.

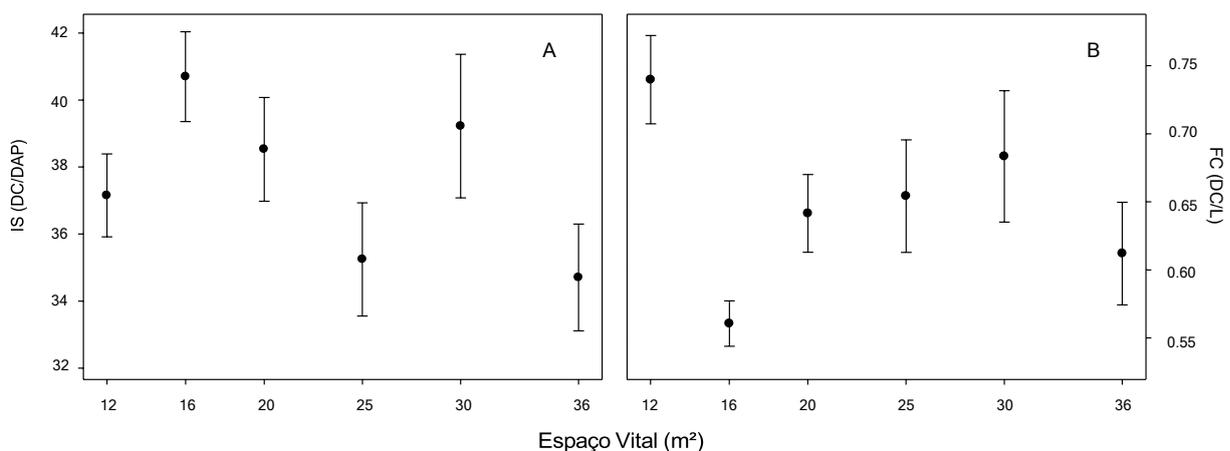


Figura 17. Efeito do EV sobre os índices morfométricos: A) índice de saliência (IS) e, B) formal de copa (FC) em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos de idade. Os valores são as médias e as barras verticais os erros padrão em cada EV.

O índice de saliência é um indicador do espaço vital necessário para cada árvore, ao ser atingido determinado diâmetro. O IS permite estimar o EV necessário para que as árvores de um plantio atinjam determinado diâmetro, sem que haja concorrência entre elas (Roveda *et al.*, 2012). Quanto maior for esse índice, para um mesmo valor de DAP, maior o DC, conseqüentemente maior AC, maior superfície de área foliar. Maior superfície de área foliar para um mesmo DAP, menor eficiência no uso de recursos.

O índice Formal de Copa (FC) indica o grau de esbeltez da copa. FC baixo indica copas achatadas, com valores de DC superiores ao comprimento (ou profundidade) (L) da copa (Roveda *et al.*, 2012). Tonini e Arco-Verde (2005) afirmam que, comparativamente a outras três espécies florestais nativas, a copa de *B. excelsa* é mais profunda e apresenta os maiores DC. O valor do FC encontrado pelos autores para a espécie é 0,86, num espaço vital de 5 m<sup>2</sup> (2,5 x 2,0 m) aos 7 anos de idade. Neste trabalho, o maior valor médio de formal de copa foi 0,74 (EV = 12 m<sup>2</sup>) e o menor 0,56 (EV = 16 m<sup>2</sup>).

Tonini *et al.* (2008) encontraram na variável FC influência significativa na produção de sementes. As árvores mais produtivas foram aquelas com posições superiores no dossel, que apresenta copas bem formadas, mais compridas e com menor relação altura/diâmetro.

### **Efeitos do espaço vital sobre o volume e biomassa de *B. excelsa***

A distribuição de dados de volume do fuste não atendeu ao pressuposto de normalidade e foram transformados pela função raiz quadrada, onde atenderam essa exigência e então passaram no teste de K-S ( $p < 0,15$ ). As estimativas dos parâmetros e a precisão das equações desenvolvidas para estimar biomassa aérea seca estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 7. Equações de simples e dupla entrada para determinação do volume comercial do fuste ( $m^3$ ) para plantios de *Bertholletia excelsa*, com os seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2_{ajust}$ ) e Erro Padrão.

Autor	Equação	$r^2_{ajust}$	Erro Pad.
<u>SIMPLES ENTRADA</u>			
Husch	$V = -9,039 + DAP^{2,565} + E$	0,948	0,293
Kopezky-Gehrhardt	$V = -0,06831 + 0,00092 DAP^2 + E$	0,916	0,119
Hohenadl-Krenm	$V = 0,02387 - 0,00933*DAP + 0,00112*DAP^2 + E$	0,916	0,119
Dissescu-Meyer	$V = -0,00715*DAP + 0,00107*DAP^2 + E$	0,935	0,117
<u>DUPLA ENTRADA</u>			
Spurr	$V = -0,000853 + 0,000039*DAP^2*HT + E$	0,962	0,08
Schumacher-Hall	$V = -10,1417 + DAP2,0342*HT0,9510+ E$	0,959	0,262

A distribuição de dados de biomassa aérea não atendeu ao pressuposto de normalidade e foram transformados pela função raiz quadrada, onde atenderam essa exigência e então passaram no teste de K-S ( $p < 0,1$ ). As estimativas dos parâmetros e a precisão das equações desenvolvidas para estimar biomassa aérea seca estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 8. Equações de simples e dupla entrada para determinação da biomassa aérea para plantios de *Bertholletia excelsa*, com os seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2_{ajust}$ ) e Erro Padrão.

Autor	Equação	$r^2_{ajust}$	Erro Pad.
<u>SIMPLES ENTRADA</u>			
Berkhout-Husch	$\ln(BT) = -2,6365 + 2,6824*\ln(DAP) + E$	0,982	0,178
Kopesky-Gehrhardt	$BT = -51,7512 + 0,7846*(DAP^2) + E$	0,951	76,288
Hohenald-Kreen	$BT = -64,1837 + 1,2593*DAP + 0,7577*(DAP^2) + E$	0,95	77,394
<u>DUPLA ENTRADA</u>			
Schumacher e Hall	$\ln(BT) = -2,6736 + 2,6511*\ln(DAP) + 0,0530*\ln(HC) + E$	0,982	0,179
Spurr	$BT = 37,6869 + 0,0431*(DAP^2*HC) + E$	0,833	141,287

O espaço vital influenciou significativamente o crescimento em biomassa aérea ( $p = 0,0004$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0513$ ) e volume do fuste ( $p = 0,0032$ ;  $r^2_{ajust} = 0,0348$ ) de *B. excelsa*. O modelo de regressão ajustado indica padrão linear de resposta da biomassa e volume em função do aumento do EV.

Para ambas variáveis de produção (volume e biomassa) a variável DAP foi altamente significativa para as equações escolhidas. A adição da variável altura comercial para estimativa de biomassa aérea e, da variável altura total, para estimativa do volume de fuste não proporcionam melhora expressiva na precisão dos modelos.

Desta forma a equação desenvolvida para estimar volume do fuste foi a partir do modelo de Spurr e, para a biomassa aérea, o modelo escolhido foi o de Berkhout-Husch. Essas equações apresentaram os maiores valores de  $r^2$  e o menor erro padrão da estimativa e menor incerteza.

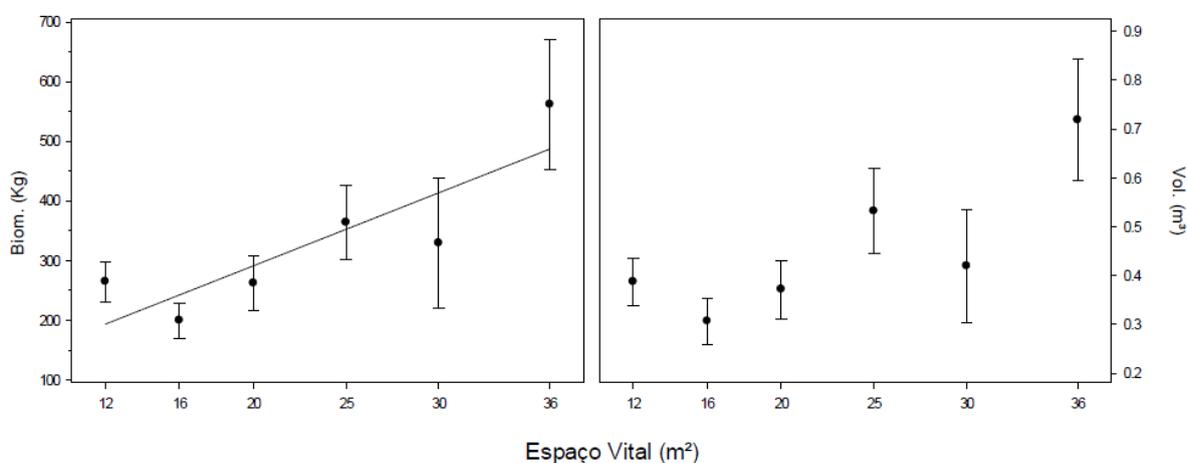


Figura 18. Efeito do espaço vital de crescimento sobre as variáveis: A) Biomassa aérea (Biom.) e, B) Volume de fuste comercial (Vol.) em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos. Pontos no gráfico correspondem à média dos valores de biomassa em cada EV e as barras verticais ao erro padrão.

O maior valor estimado de incremento médio anual por hectare ( $16,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), tanto para volume (IMA Vol.) quanto para biomassa (IMA Biom.), está no menor nível de EV ( $12 \text{ m}^2$ ) (Figura 19A). Comparando ao estudo de Tonini *et al.* (2005), os dados encontrados neste estudo, no menor nível de EV, são maiores que os encontrados pelos autores em EV menores ( $\text{EV de } 5 \text{ m}^2 = 14,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Em relação ao IMA Biom. os valores variaram entre 5,5 e  $11,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , entre os espaços vitais de 30 e  $12 \text{ m}^2$ , respectivamente. Para ambas as variáveis não houve um padrão de IMA com o aumento ou redução do EV.

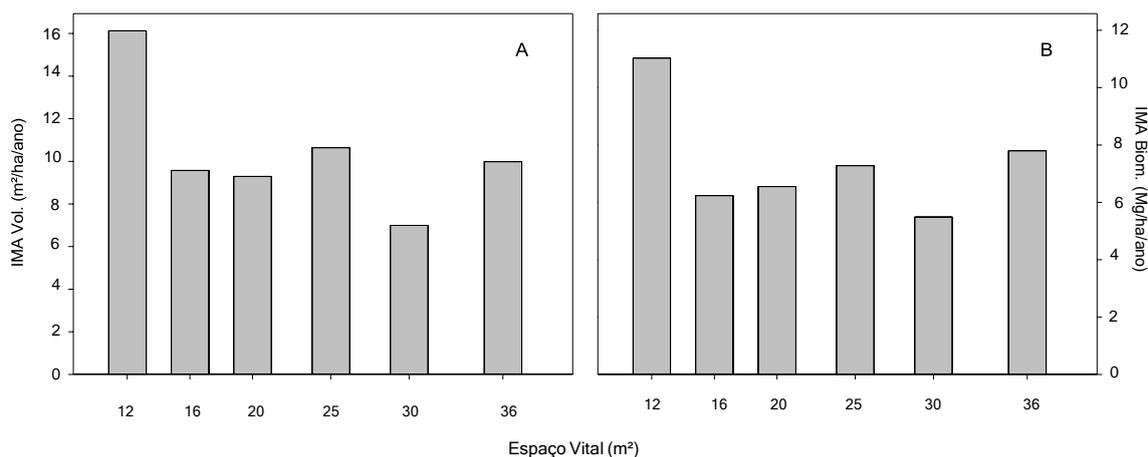


Figura 19. Incremento médio anual em Volume comercial do fuste (A) e Biomassa aérea seca (B) por hectare em diferentes espaços vitais de crescimento de *B. Excelsa* após 20 anos do plantio.

Segundo Marziliano *et al.*, (2015), estudando uma espécie de *Pseudotsuga menziessi* Mirb., constataram que a biomassa total acima do solo por hectare aumenta com a redução do espaço vital de crescimento. Porém, aos 15 anos foi detectado maior estoque de biomassa acima do solo no segundo nível de densidade (5 m<sup>2</sup>) do que no primeiro (4 m<sup>2</sup>). E, aos 25 anos, a parcela com EV de 10 m<sup>2</sup> apresentou maior biomassa aérea que as parcelas com EV de 8 m<sup>2</sup>. E finalmente, aos 40 anos as parcelas com maior estoque de biomassa foram as com EV de 5 e 10 m<sup>2</sup> (cerca de 405 Mg ha<sup>-1</sup>), sem diferença entre elas. Comparativamente ao trabalho citado, os dados do presente estudo comprovam o quão promissor é o acúmulo de biomassa da espécie *B. excelsa*, que alcançou valores na ordem de 220 Mg ha<sup>-1</sup> para o EV de 12 m<sup>2</sup>. Quando consideramos o acúmulo de biomassa individual, o menor valor médio está relacionado ao menor EV; ao contrário, quando consideramos o acúmulo de biomassa por hectare, o maior valor médio está relacionado ao EV de 12 m<sup>2</sup>. Portanto, o objetivo final (produtos) e o ciclo de corte são fatores que devem ser levados em consideração no plantio florestal.

Após 20 anos da implantação do experimento de espaço vital de crescimento a partição de biomassas seguiu a seguinte ordem fuste > galhos > folhas e, considerando o nível de amostragem realizado neste trabalho, não

variou entre os EV. Isso possibilita afirmar que, apesar do efeito do espaço vital sobre o acúmulo de biomassa, a partição entre os diferentes compartimentos parece não ser influenciada (Figura 20). Em um plantio de castanheira-da-amazônia, com EV de 5 m<sup>2</sup>, aos oito anos, Costa *et al.* (2015) encontraram a mesma ordem de distribuição de biomassa entre os diferentes compartimentos.

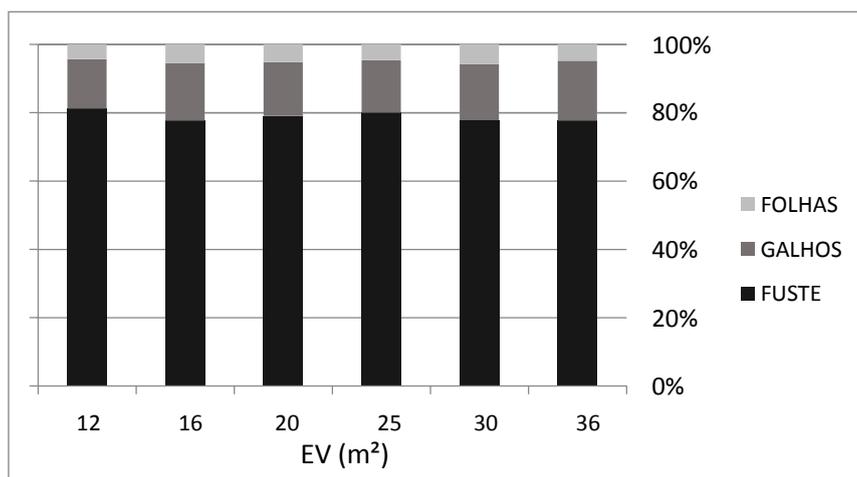


Figura 20. Efeito do espaço vital sobre a distribuição percentual média da biomassa aérea por compartimento das árvores de *B. excelsa* aos 20 anos.

### Relações entre as características de produção (volume e biomassa) e as variáveis de copa

As variáveis de copa: área projetada (m<sup>2</sup>), comprimento (m) e diâmetro (m), tiveram uma boa correlação com acúmulo de biomassa aérea e volume comercial de fuste ( $p < 0,0001$ ). Todos os modelos de regressão ajustados indicaram padrão linear positivo de resposta das duas variáveis de produção (volume e biomassa) em função do aumento das medidas das variáveis de copa, diferindo nos coeficientes de regressão ajustado ( $r^2_{ajust}$ ). Para volume comercial do fuste os valores do  $r^2_{ajust}$  foram 0,7082; 0,5877 e 0,6574 e, para biomassa, 0,7289; 0,5067 e 0,6215 em função das variáveis AC, L e DC, respectivamente (Figuras 21A e 21B; 22A e 22B; 23A e 23B).

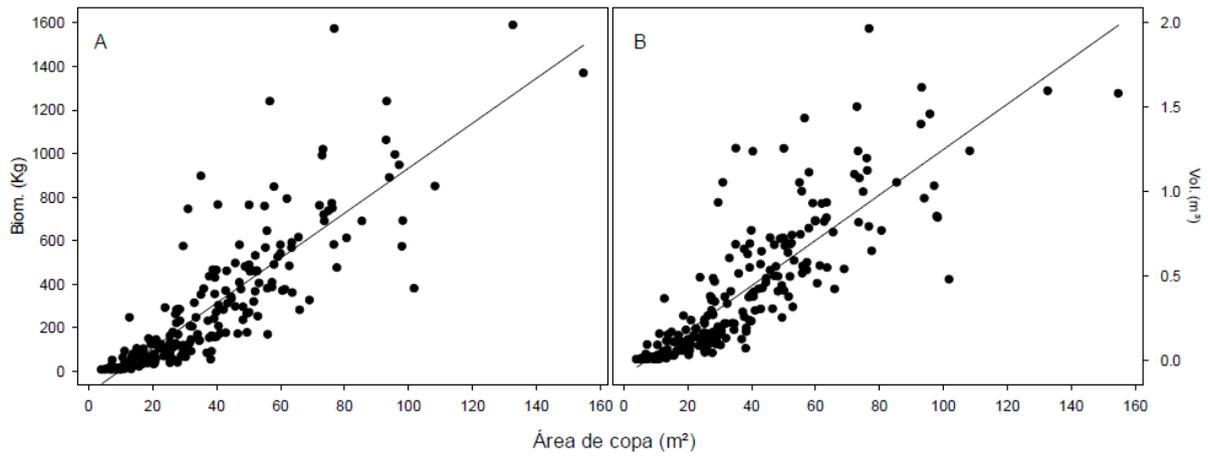


Figura 21. Efeito da área de copa no crescimento em A) biomassa e B) volume em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos.

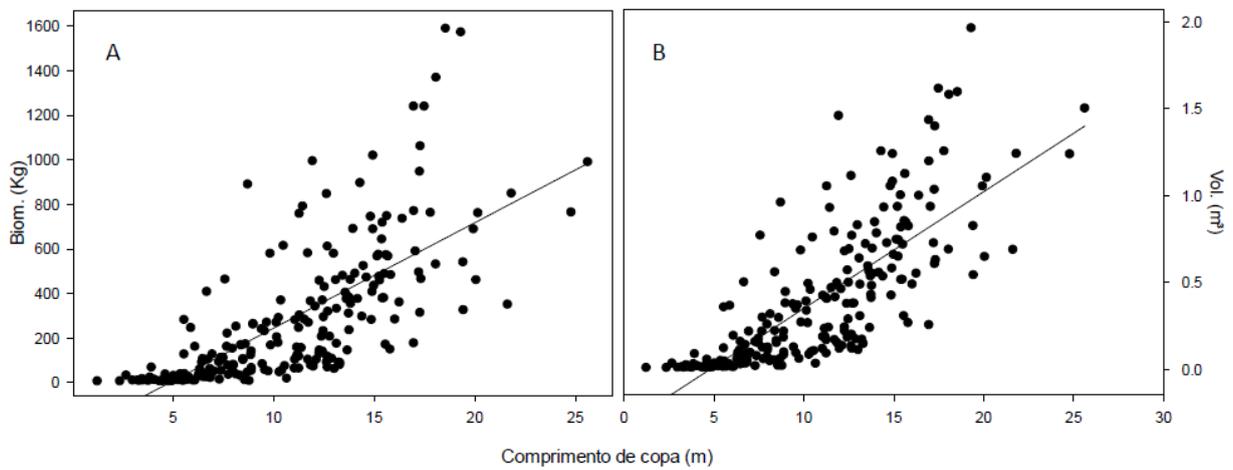


Figura 22. Efeito do comprimento de copa (L) no crescimento em A) biomassa e B) volume em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos.

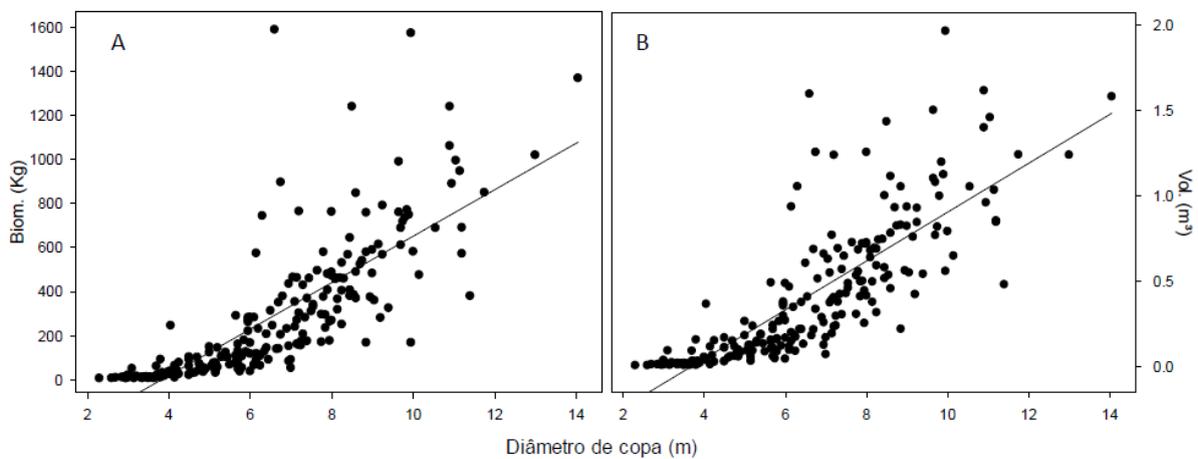


Figura 23. Efeito do diâmetro de copa (DC) no crescimento em A) biomassa e B) volume em plantios de *B. excelsa* aos 20 anos.

Tonini e Arco-Verde (2005) afirmam que valores superiores de área de copa para *B. excelsa*, quando comparado com outras 03 espécies florestais nativas, indicam que essa espécie desenvolve copas maiores e mais vigorosas, o que a torna exigente de maior espaço vital para o seu desenvolvimento. Podemos supor que maiores comprimentos de copa, associado aos maiores diâmetros de copa, podem comportar uma maior quantidade de folhas, conseqüentemente uma maior disposição de área foliar.

## CONCLUSÕES

*Bertholletia excelsa* em diferentes espaços vitais de crescimento teve altas taxas de sobrevivência (>70%).

O espaço vital de crescimento de *B. excelsa* aos 20 anos influenciou as variáveis diâmetro à altura do peito, biomassa aérea e volume comercial de fuste individual. Porém, não mostrou tendência para o crescimento em altura. Os maiores valores médio de diâmetro à altura do peito, biomassa aérea e volume de fuste foram encontrados no maior nível de EV (36 m<sup>2</sup>). O fuste é o componente aéreo da árvore com a maior quantidade de biomassa, seguidos galhos e folhas e a partição entre os diferentes compartimentos parece não ser influenciada pelo EV.

O espaço vital de crescimento apresentou resposta significativa com as variáveis de copa: comprimento, diâmetro e área e, foram encontradas relações entre essas variáveis e a produção de biomassa aérea e volume comercial do fuste individual de árvores, independente do EV. Assim como oEV apresentou relação linear significativa com a variável área foliar específica (AFE) e, os índices morfométricos: grau de esbeltez, proporção de copa e índice de abrangência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF 2013** - Ano Base 2012. Brasília, 2013, 148 p.
- Albuquerque, F. C. 1960. Mancha parda das folhas da castanheira-do-Pará causada por uma nova espécie de fungo. Boletim Técnico, Instituto Agrônômico do Norte, Belém, Pará. 28 p.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, nº. 6, 711-728.
- Akers, M.K.; Kane, M.; Zhao, D.; Teskey, R.O.; Daniels, R.F. 2013. Effects of planting density and cultural intensity on stand and crown attributes of mid-rotation Loblolly Pine plantations. Forest Ecology and Management, 310: 468–475.
- Balloni, E. A.; Simões, J. W. 1980. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF. Piracicaba: Série Técnica, V. 1 nº 3, p. 1-16.
- Barnes, P. W.; Beyschlag, W.; Ryel, R.; Flint, S. D.; Cadwell, M. M. 1990. Plant competition for light analysed with a multispecies canopy model. III. Influence of canopy structure in mixtures and monocultures of wheat and wild oat. *Oecologia*, 82:560-566.
- Bastos, R. P. 2011. Plantios de *Hymenaea courbaril* L. em áreas alteradas na região de Manaus: influência dos fatores de sítio do solo nos estoques de biomassa, nutrientes e na fotossíntese. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Dissertação de mestrado. Manaus, 100 f.
- Benomar, L.; DesRochers, A.; Larocque, G. R. 2012. The effects of spacing on growth, morphology and biomass production and allocation in two hybrid poplar clones growing in the boreal region of Canada. *Trees*, 26: 939- 949.
- Bentes-Gama, M. M.; Pereira, N. S.; Capelasso, P. H. S.; Salman, A. K. D.; Vieira, A. H. 2008. Espécies arbóreas nativas com potencial para recuperação

- de paisagens alteradas em Rondônia. Porto Velho, RO. Embrapa Rondônia. 29 p..
- Bernardo, A. L. 1995. Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. Viçosa. Dissertação – Universidade Federal de Viçosa. 102 p.
- Binkley, D.; Stape, J. L.; Bauerle, W. L.; Ryan, M. G. 2010. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*. 259. 1704-1713.
- Botelho, S. A. 1998. Espaçamentos. In: SCOLFORO, J. R. S. (Ed.). **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, p. 381-405.
- Briscoe, C. B. 1969. Establishment and early care of sycamore plantations, U. S. Department of Agriculture, Forest Service Research Paper SO-50, 18p.
- Broeckx, L. S.; Vanbeverem, S. P. P.; Verlinden, M. S.; Ceulemans, R. 2015. First vs. second rotation of a poplar short rotation coppice: leaf area development, light interception and radiation use efficiency. *iForest — Biogeosciences and Forestry*. 8: 565-573.
- Caldeira, M. V. W.; Saidelles, F. L. F.; Schumacher, M. V.; Godinho, T. O. 2011. Biomassa de povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild., Rio Grande do Sul. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 133-141.
- Castelo, P. A. R. 2007. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão. Curitiba. Tese - Universidade Federal do Paraná.
- Castro, A. W. V.; Farias Neto, J. T.; Cavalcante, E. S. 1998. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). *Acta Amazonica* 28 (2): 141-148.
- Cardoso, D. J.; Lacerda, A. E. B.; Rosot, M. A. D.; Garrastazú, M. C.; Lima, R. T. 2013. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management* 313 (2013) 761-769.

- Clay, J. W.; Clement, C. R. 1993. Selected species and strategies to enhance income generation from amazonian forests. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome.
- Cornelissen, J. H. C.; Werger, M. J. A.; Castro-Díez, P.; Rheenen, J. W. A.; Rowland, A. P. 1997. Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecologia*, 111:460-469.
- Costa, K. C. P. da. 2015. Crescimento e características ecofisiológicas de um plantio de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetido ao desbaste. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Dissertação de mestrado. Manaus.
- Costa, R.; Donagh, P. M.; Weber, E.; Figueredo, S.; Irschick, P. 2005. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. *Ciência Florestal*, v.15, n.3, p.275-284.
- Costa, R. J.; Castro, A. B.; Wandelli, E. V.; Tapia-Coral, S. C.; Souza, S. A. 2009. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 4, p. 843-850.
- Dalling, J. W.; Lovelock, C. E.; Hubbell, S.P. 1999. Growth responses of seedlings of two neotropical pioneer tree species to simulated forest gap environments. *Journal of Tropical Ecology*, 15:827-839.
- Evans, J. R.; Poorter, H. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment*, 24: 755-767.
- Fang, S.; Xu, X.; Lu, S.; Tang, L. 1999. Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. *Biomass Bioenergy* 17(5):415–425.
- FAO — Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Potential forest species for plantations in Brazilian Amazonia**. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/0537-b1.htm>. Acesso em: 10 Abr.

2015.

- Fernandes, N. P.; Alencar, J. C. 1993. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. 4. Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), dez anos após o plantio. *Acta Amazonica* 23 (2-3): 191-198.
- Ferreira, L. M. M.; Tonini, H. 2009. Comportamento da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e da cupiúba (*Goupia glabra*) em sistema agrossilvicultural na região de Confiança, Cantá, Roraima. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 4, p. 835-842.
- Ferreira, M. J.; Gonçalves, J. F.; Ferraz, J. B. 2012. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetida à adubação. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 2, p. 393-401.
- Ferreira, M. J. 2013. Características ecofisiológicas de clones de *Bertholletia excelsa* H. & B. em plantios de Produção na Amazônia Central. *Tese de Doutorado*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 94 p.
- Figueiredo, E. O. 2001. Recomendações para a poda em reflorestamentos de sumaúma. *Instruções Técnicas*. Embrapa-AC, (36): 1-2.
- Figueiredo, E. O.; d'Oliveira, M. V. N.; Fearnside, P. M.; Papa, D. A. 2014. Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com LiDAR. *Revista Cerne*. V. 20. Nº 4. P. 621-628.
- Gama, M. M. B.; Rocha, R. B.; Salman, A. K. D.; Mendes, A. M.; Figueiró, M. R. 2013. Reforestation feasibility in area formerly used for cattle raising in the state of Rondônia, northwest Brazilian Amazon. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1001-1010.
- Greissing, A. 2010. A região do Jarí, do extrativismo ao agronegócio: as contradições do desenvolvimento econômico na Amazônia florestal no exemplo do projeto Jarí. *Revista de Estudos Universitários da Universidade de Sorocaba*. 36 (3), pp. 20-37.

- Higa, R. C. V.; Cardoso, D. J.; Andrade, G. C.; Zanatta, J. A.; Rossi, L. M. B.; Pulrolnik, K.; Nicodemo, M. L. F.; Garrastazu, M. C.; Vasconcelos, S. S.; Salis, S. M. de. 2014. Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal. Embrapa Florestas, Colombo, PR.
- Higuchi, N. 1981. A silvicultura no INPA. *Acta Amazonica*. 11(1): 99-107.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, F. J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-163.
- Higuchi, N. 2006. Estratégias para o setor florestal da Amazônia: antecipando-se à escassez. *Jirau (Impresso)* 14: 8-9.
- Hirose, T.; Bazzaz, F. A. 1998. Trade-off between light and nitrogen use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany* 82:195-202.
- Hoch, L.; Pokorny, B.; De Jong, W. 2009. How successful is tree growing for smallholders in Amazon? *International Forestry Review*. v. 11 (3) p. 299-310.
- Homma, A. K. O.; Menezes, A. J. E. A. 2008. *Avaliação de uma indústria beneficiadora de castanha-do-Pará, na microrregião de Cametá, PA*. Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido. Comunicado Técnico, 213: 1-10.
- Homma, A. K. O.; Santos, J. C.; Sena, A. L. dos Santos; Menezes, A. J. E. A. 2014. Pequena produção na Amazônia: conflitos e oportunidades, quais os caminhos? *Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*. Belém: V. 9, nº 18.
- Ibá – Indústria Brasileira de Árvores. 2016. **Relatório estatístico Ibá 2016 – Ano Base 2015**. Brasília, 100 p.
- IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Acessível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 22 de Abr. de 2016.
- IBGE. 2012. Manuais Técnicos em Geociências. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

- (IBGE). Acessível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 13 de Abr. de 2018.
- Inoue, M. T.; Filho, A. F.; Lima, R. 2011. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. Scientia Forestalis. Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385.
- INPE — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. Acessível em [www.inpe.br](http://www.inpe.br). Acesso em: 06 de Jul. de 2017.
- Ishii, H.; Azuma, W.; Nabeshima, E. 2013. The need for a canopy perspective to understand the importance of phenotypic plasticity for promoting species coexistence and light-use complementarity in forest ecosystems. Ecological Research. 28: 191-198.
- Jordan, C. F.; Russell, C. E. 1989. Jari: A pulp plantation in Brazilian Amazon. GeoJournal. 19.4. 429-435.
- Leite, F. P.; Barros, N. F.; Novais, R. F.; Sans, L. M. A.; Fabres, A. S. 1999. Relações hídricas em povoamento de Eucalipto com diferentes densidades populacionais. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 23:9-16.
- Leite, H. G.; Nogueira, G. S.; Moreira, A. M. 2006. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L.. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.4, p.603-612.
- Londero, E. K.; Schumacher, M. V.; Szymczak, D. A.; Viera, M. 2011. Exportação e reposição nutricional no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em área de segunda rotação. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 487-497.
- Kageyama, P. Y.; Bila, A.; Luima, J. 1987. Critérios de escolha de espécies para utilização em pequenas áreas de reflorestamento. Brasília: IBDF. 18p.
- Lima, R. M. B., Souza, C. R. 2014. Recomendação de espaçamento para produção de madeira de Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.) para plantios em áreas alteradas no Amazonas. Comunicado Técnico 110. Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus, AM.

- Machado, S. A.; Figueiredo Filho, A. 2003. Dendrometria. Curitiba: UFPR. 309p.
- Maia, M. A. M. 2010. Geodiversidade do estado do Amazonas. Ministério de Minas e Energia. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Manaus: 275 p.
- Marques, L. C. T.; Lima, R. M. B. de; Yared, J. A. G.; Barbosa, A. P. 2008. Agricultura Tropical — Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Reflorestamento na Amazônia brasileira. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, DF. v. 2. Capítulo 4. p. 307-323.
- Marenco, R. A.; Gonçalves, J. F. C.; Vieira, G. 2001. Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidale* (Bombacaceae). *Photosynthetica*, 39 (4): 539-543.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2ª ed. Academic Press, San Diego, 889 p.
- Martins, R. J. 2008. Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal. *Tese de Doutorado*. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 84 p.
- Marziliano, P. A.; Coletta, V.; Menguzzato, G.; Nicolaci, A.; Pellicone, G.; Veltri, A. 2015. Effects of planting density on the distribution of biomass in a douglas-fir plantation in Southern Italy. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 8: 368-376.
- Moura, O. N.; Passos, M. A. A.; Ferreira, R. L. C.; Gonzaga, S.; Cunha, M. V. 2006. Conteúdo de nutrientes na parte aérea e eficiência nutricional em *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 1, n. 6, p. 23-29.
- Mitchell, C. P.; Ford-Robertson, J. B.; Hinckley, T.; Sennerby-Forsse, L. 1992. *Ecophysiology of short-rotation forest crops*. Elsevier, New York.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Instrução normativa nº 06, de 23 de setembro de 2008. 2008. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/179/\\_arquivos/179\\_05122008033615.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008033615.pdf)>. Acesso em: 22 de Abr. de

2016.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 443, 17 de dezembro de 2014. 2014. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p\\_mma\\_443\\_2014\\_lista\\_esp%C3%A9cies\\_amea%C3%A7adas\\_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p_mma_443_2014_lista_esp%C3%A9cies_amea%C3%A7adas_extin%C3%A7%C3%A3o.pdf)>. Acesso: em 22 de Abr. de 2016.

Monteith, J. L.; Moss, C. J. 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London B281, 277-294.

Mori, S.A.; Prance, G.T. 1990. Taxonomy, ecology and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. and Bonpl.: Lecythidaceae). *Advance and Economic Botany*, 8: 130-150.

Müller, C. H.; Figueirêdo, F. J. C.; Kato, A. K.; Carvalho, J. E. U.; Benchimol, R. L.; Silva, A. B. 1995. A cultura da castanha-do-brasil. Brasília, DF: Embrapa-SPI. 65 p.

Paiva, M. P.; Guedes, M. C.; Funi, C. 2011. Brazil nut conservation through shifting cultivation. *Forest Ecology and Management*, v. 261, s. n., p. 508-514.

Peña-Claros, M.; Boot, M. R.; Dorad-Lora, J.; Zonta, A. 2002. Enrichment planning of *Bertholletia excelsa* in secondary forest in the Bolivian Amazon: effect of cutting line width on survival, growth and crown traits. *Forest Ecology and Management*, v. 161, s. n., p. 159-168.

Pimentel, L. D.; Wagner Júnior, A.; Santos, C. E. M.; Bruckner, C. H. 2007. Estimativa de viabilidade econômica no cultivo da castanha-do-Brasil. *Informações Econômicas*, SP, V. 37, nº 6.

Poorter, L.; Bongers, F. 1993. **Ecology of tropical forests**. Wageningen Agricultural University, 223 p.

Portal do Agronegócio. **Silvicultura para a Amazônia**. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/artigo/silvicultura-para-a-amazonia>>. Acesso em: 11 de Abr. de 2016.

- Prodan, M., Peters, R.; Lox, F.; Real, P. 1997. **Mensura Forestal**. San José: GTZ, 561 p.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais — 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais — CFSEMG. Viçosa, MG. 359p.
- Ribeiro, S. C.; Jacovineii, L. A. G.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V.; Souza, A. L.; Nardelli, A. M. B. 2009. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 917-926.
- Ribeiro, G.H.P.M.; Suwa, R.; Marra, D.M.; Lima, A.J.N.; Kajimoto, T.; Ishizuka, M.; Higuchi, N. 2014. Allometry for juvenile trees in na Amazonian forest after Wind disturbance. **Revista Jarq**, 48, n. 2, p. 213-219.
- Roveda, M.; Dalgallo, B.; Dias, A.N.; Figueiredo Filho, A.; Muller, C.S. 2012. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS. In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. 06 p.
- Sabogal, C.; Almeida, E. de A.; Marmillod, D., Carvalho, J. O. P. 2006. Silvicultura na Amazônia Brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhorias dos sistemas. Belém: CIFOR. 190 p.
- Salman, A. K. D.; López, G. F. Z.; Bentes-Gama, M. M.; Andrade, C. M. S. de. 2008. Espécies arbóreas nativas da Amazônia Ocidental Brasileira com potencial para arborização de pastagens / Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia. 20p.
- Salomão, R. P.; Rosa, N. A.; Castilho, A.; Morais, K. A. 2006. Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, v. 1, n. 2, p. 65-78.
- Salomão, R. P. 2009. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de

- floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, v. 4, n. 1, p. 11-25.
- Salomão, R. P. 2014. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., v. 9, n. 2, p. 259-266.
- Sanquetta, C.R.; Corte, A.P.D; Mognon, F.; Maas, G.C.B.; Rodrigues, A.L. 2014. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 1-8.
- Schneider, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. 1993. Santa Maria UFSM, 348p.
- Schroth, G.; da Mota, M. S. S.; Assis Elias, M. E. de. 2015. Growth and nutrient accumulation of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in agroforestry at different fertilizer levels. Journal of Forestry Research. V. 26, Issue 2. pp 347-353.
- Schumacher, M. V.; Witschoreck, R.; Calil, F. N.; Lopes, V. G. 2013. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul - RS. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332.
- Scoles, R.; Gribel, R.; Klein, G. N. 2011. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., v. 6, n. 3, p. 73-293.
- Scoles, R.; Klein, G. N.; Gribel, R. 2014. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) plantada em diferentes condições de luminosidade após seis anos de plantio na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém, v. 9, n. 2, p. 321-336.
- Scoles, R.; Canto, M. S.; Almeida, R. G.; Vieira, D. P. 2015. Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas em Oriximiná, Pará. Floresta e Ambiente. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.132015>

- SFB (Serviço Florestal Brasileiro) e IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). 2011. Florestas Nativas de Produção Brasileiras. (Relatório). Brasília, DF.
- Souza, C. R. de; Azevedo, C. P. de; Lima, R. M.; Rossi, L. M. B. 2010. Comportamento de espécies em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 40, n. 1, p. 127-134.
- Souza, C. S. C. R.; Santos, V. A. H. F. S.; Ferreira, M. J.; Gonçalves, J. F. C. 2017. **Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 557- 569.
- TERRACLASS. **TERRACLASS** 2016. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1059985/1/TerraClass.pdf>>. Acesso em: 11 Abr. 2016.
- Tonini, H.; Arco-Verde, M. F. 2005. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília: V.40, nº 7, p. 633-638.
- Tonini, H. Kaminski, P. E.; Costa, P. 2008. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília: V.43, nº 11, p. 1509-1516.
- Uhland, R. E. 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 14: 361-366.
- Vanclay, J. K. 1994. **Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests.** Copenhagen: CAB International, 312 p.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*, Prentice Hall, New Jersey. 663 p.
- Walters, B. B.; Sabogal, C.; Snook, L. K.; Almeida, E. de. 2005. Constraints and opportunities for better silvicultural practice in tropical forestry: an interdisciplinary approach. *Forest Ecology and Management* 209. (2005)

3-18.

Yared, J. A.; Kanashiro, M.; Castro, L. M.; Pantoja, J. R. 1993. Comportamento silvicultural de castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & K.), em diversos locais na Amazônia. Anais do 1º Congresso Florestal Panamericano; 7º Congresso Florestal Brasileiro, p. 416-418.

## APÊNDICE

Tabela 9. Base de dados para a amostragem proporcional por espaço vital de crescimento e classe diamétrica da população. Número de classes, número de indivíduos por classe e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores cortadas para a amostragem destrutiva.

EV (m <sup>2</sup> )	Classes	Nº de indivíduos	Intervalo das classes (cm)	DAP (cm)
12	1	15	5,2 † 9,8	7,4
	2	11	9,9 † 14,5	12,0
	3	8	14,6 † 19,2	16,2
	4	13	19,3 † 23,9	21,3
	5	11	24 † 28,6	26,4
	6	7	28,7 † 33,3	31,5
	7	2	33,4 † 38	33,7
16	1	15	5,2 † 9,5	6,9
	2	8	9,6 † 13,7	11,8
	3	10	13,8 † 18	15,8
	4	7	18,1 † 22,2	20,3
	5	7	22,3 † 26,5	24,1
	6	6	26,6 † 30,7	27,9
	7	2	30,8 † 35	31,7
20	1	10	5,4 † 11,4	6,7
	2	12	11,5 † 17,5	14,9
	3	4	17,6 † 23,5	20,0
	4	14	23,6 † 29,5	26,2
	5	1	29,6 † 35,5	31,3
	6	1	35,6 † 41,5	41,5
25	1	4	7,4 † 12,0	9,6
	2	3	12,1 † 16,6	12,6
	3	4	16,7 † 21,2	18,2
	4	6	21,3 † 25,8	21,9
	5	2	25,9 † 30,4	27,6
	6	6	30,5 † 35	33,0
30	1	7	7,3 † 14,1	10,2
	2	2	14,2 † 21	16,8
	3	4	21,1 † 27,9	25,5
	4	1	28 † 34,8	29,2
	5	2	34,9 † 41,7	35,3
36	1	4	2,9 † 10,2	15,3
	2	3	10,3 † 17,5	23,1
	3	3	17,6 † 24,8	28,4
	4	2	24,9 † 32,1	31,0
	5	3	32,2 † 39,4	38,0