

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E  
AMBIENTAIS – PPGCIFA

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Bertholletia  
excelsa* Bonpl. EM FUNÇÃO DE TRATAMENTOS SILVICULTURAIS, EM UM  
PLANTIO NA AMAZÔNIA CENTRAL

MANAUS

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E  
AMBIENTAIS – PPGCIFA

Yago Pereira Souza

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Bertholletia  
excelsa* Bonpl. EM FUNÇÃO DE TRATAMENTOS SILVICULTURAIS, EM UM  
PLANTIO NA AMAZÔNIA CENTRAL

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

**Orientador:** Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio

MANAUS

2019

## Ficha Catalográfica

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

S729p Souza, Yago Pereira  
Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Bertholletia excelsa* bonpl. em função de tratamentos silviculturais, em um plantio na Amazônia central. / Yago Pereira Souza. 2019  
66 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Nabor da Silveira Pio  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Qualidade da madeira. 2. Desbaste. 3. Densidade básica. 4. Módulo de ruptura e elasticidade. I. Pio, Nabor da Silveira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

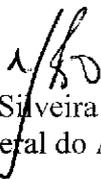
YAGO PEREIRA SOUZA

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA  
MADEIRA DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. EM FUNÇÃO  
DE TRATAMENTOS SILVICULTURAIS, EM UM  
PLANTIO NA AMAZÔNIA CENTRAL

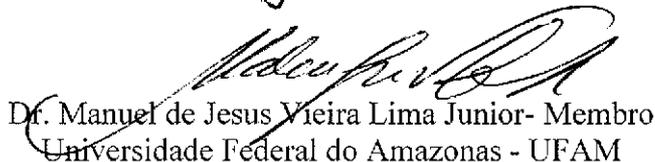
Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Florestais e  
Ambientais da Universidade Federal do  
Amazonas, como requisito para obtenção  
do título de Mestre em Ciências Florestais e  
Ambientais, área de concentração em  
Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovada em 03 de setembro de 2019

BANCA EXAMINADORA



Dr. Nabor da Silveira Pio- Presidente  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Dr. Manuel de Jesus Vieira Lima Junior- Membro  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Dr. Roberto Daniel de Araújo - Membro  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e saúde para realização deste trabalho.

À minha querida mãe Suely, meu pai Ivan e meu irmão Ygor, pelo amor e apoio nas horas mais difíceis.

A minha filha Yasmin, pelos seus maravilhosos sorrisos me mostrando que sempre devo seguir em frente, e a sua mãe, minha companheira Marrieth, por estarem sempre ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio, pelos anos de orientação, amizade, apoio e incentivo ao ingresso no programa de Pós-Graduação.

Aos amigos Mauricio Sá, Tiago Oliveira, Antônio Carlos, Francinei, Bruno Moura, Israel Junior, Carlos Alexandre, Jardel Rodrigues e Rodolfo Oliveira pelo auxílio nos trabalhos de campo, nas análises, nas refeições no famoso filé e pelos muitos momentos de alegria e descontração.

A Universidade Federal do Amazonas pela disponibilização da estrutura e seu quadro de funcionários de campo e de serraria.

A direção da Agropecuária Aruanã S/A e a todo o quadro de funcionários que apoiaram com o trabalho de campo.

Aos meus colegas de Pós Graduação, pelo respeito, amizade e companheirismo oferecidos durante o mestrado.

Aos professores do PPG-CIFA da UFAM que somaram ao meu aprendizado e aos funcionários do programa pela paciência e apoio aos mestrandos.

A CAPES, pela concessão da bolsa.

E a todos que estiveram direta e indiretamente envolvidos para a realização deste trabalho, eu deixo o meu **MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

Algumas pesquisas recentes sugerem que a calagem, a fertilização com fósforo e o desbaste, podem influenciar o crescimento e desenvolvimento de plantações de *Bertholletia excelsa*. Neste sentido, avaliamos como esses tratamentos influenciam as variáveis de qualidade da madeira. O objetivo deste trabalho é analisar a relação das propriedades físicas da madeira, com as variáveis teor de umidade, densidade básica e estabilidade dimensional, em função das propriedades mecânicas de resistência a flexão estática e compressão paralela as fibras, a partir das respostas ao efeito dos tratamentos silviculturais aplicados, além de classificar o de melhor resultado ao aprimoramento das propriedades tecnológicas, aplicadas em um povoamento florestal implantado na Amazônia Central. A estatística de análise de variância foi utilizada para determinar se houve efeito significativo nos valores das propriedades testadas em relação aos tratamentos. A calagem não tem efeito significativo no crescimento, mas o fósforo e o desbaste aumentaram em 47% e 82%, respectivamente, e as respostas das árvores ao desbaste foram independentes da calagem e da adição de fósforo. Os tratamentos apresentaram efeito significativo entre si, com o de melhor resposta em relação as propriedades tecnológicas, sendo a interação entre os tratamentos silviculturais de calagem, desbaste e fertilização fosfatada, apresentando densidade média de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, baixa variação volumétrica dimensional, e com valores de 104,77 MPa e 49 MPa para o módulo de ruptura de flexão estática e compressão paralela as fibras, respectivamente, e 17.495 MPa e 5.173 MPa para o módulo de elasticidade nos mesmos ensaios. Salienta-se, que o tratamento de Desbaste também obteve resultados satisfatórios, apresentando valores similares estatisticamente ao tratamento Calagem + P + Desbaste, classificando-se como o melhor tratamento, se relacionado ao viés econômico e prático. Nossos resultados sugerem a utilização da madeira de Castanheira, oriunda de plantios, para uso comercial na indústria madeireira, exceto em uso estrutural.

**Palavras chave:** Qualidade da madeira, Desbaste, Densidade básica, Módulo de ruptura e elasticidade.

## ABSTRACT

Some recent research suggests that liming, phosphorus fertilization and thinning may influence the growth and development of *Bertholletia excelsa* plantations. In this sense, we evaluated how these treatments influence the wood quality variables. The objective of this study is to analyze the relationship between the physical properties of wood and the variables moisture content, basic density and dimensional stability, as a function of the mechanical properties of resistance to static flexion and parallel compression of fibers, based on the responses to the effect of applied silvicultural treatments, besides classifying the best result to the improvement of technological properties, applied in a forest stand implanted in Central Amazon. The analysis of variance statistics was used to determine if there was a significant effect on the values of the properties tested in relation to the treatments. Liming has no significant effect on growth, but phosphorus and thinning increased by 47% and 82%, respectively, and the responses of trees to thinning were independent of liming and phosphorus addition. The treatments presented a significant effect among themselves, with the best response in relation to the technological properties, being the interaction between the silvicultural treatments of liming, thinning and phosphate fertilization, presenting an average density of 0.65 g/cm<sup>3</sup>, low dimensional volumetric variation, and with values of 104.77 MPa and 49 MPa for the modulus of static bending rupture and parallel compression of fibers, respectively, and 17,495 MPa and 5,173 MPa for the modulus of elasticity in the same tests. It should be noted that the thinning treatment also obtained satisfactory results, presenting values similar statistically to the liming + P + thinning treatment, being classified as the best treatment, if related to the economic and practical bias. Our results suggest the use of chestnut wood from plantations for commercial use in the timber industry, except in structural use.

**Keywords:** Wood quality, Thinning, Basic density, Modulus of rupture and elasticity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESQUEMA DO DELINEAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DOS BLOCOS E TRATAMENTOS APLICADOS NO EXPERIMENTO .....	16
<b>FIGURA 2.</b> PRANCHAS DE MADEIRA, 10 CM DE ESPESSURA E 2,5 M DE COMPRIMENTO.....	17
<b>FIGURA 3.</b> A - CORPOS DE PROVA SATURADOS; B - ESTUFA COM CIRCULAÇÃO FORÇADA, ESTABILIZADA EM 103 °C; C - CORPOS DE PROVA ACONDICIONADOS EM ESTUFA .....	19
<b>FIGURA 4.</b> A - PESO DOS CORPOS DE PROVA SATURADO; B - PESO DOS CORPOS DE PROVA SECOS EM ESTUFA .....	20
<b>FIGURA 5.</b> MEDIÇÃO DE 2 PONTOS NO SENTIDO LONGITUDINAL, EM CORPO DE PROVA SATURADO .....	21
<b>FIGURA 6.</b> CORPO DE PROVA SUBMETIDO AO ENSAIO FÍSICO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	24
<b>FIGURA 7.</b> CRESCIMENTO ANUAL DE BERTHOLLETIA EXCELSA, EM RESPOSTA AOS TRATAMENTOS COM DESBASTE, CALAGEM E FERTILIZAÇÃO COM FÓSFORO .....	25
<b>FIGURA 8.</b> FREQUÊNCIA (A E B) E CRESCIMENTO (C E D) DE BERTHOLLETIA EXCELSA EM DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO, EM REPOSTA AOS TRATAMENTOS DE DESBASTE, CALAGEM E FERTILIZAÇÃO COM FÓSFORO .....	26
<b>FIGURA 9.</b> ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE TEOR DE UMIDADE POR MEIO DO DIAGRAMA DE BOXPLOT, PARA OS 6 TRATAMENTOS.....	29
<b>FIGURA 10.</b> ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE DENSIDADE BÁSICA POR MEIO DO DIAGRAMA DE BOXPLOT, PARA OS 6 TRATAMENTOS.....	32
<b>FIGURA 11.</b> ANÁLISE DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL POR MEIO DO DIAGRAMA DE BOXPLOT, PARA OS 6 TRATAMENTOS.....	35
<b>FIGURA 12.</b> ANÁLISE DA VARIAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) E RUPTURA (MOR), POR MEIO DO DIAGRAMA DE BOXPLOT, PARA OS 6 TRATAMENTOS.....	40
<b>FIGURA 13.</b> ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) E RUPTURA (MOR), POR MEIO DO DIAGRAMA DE BOXPLOT, PARA OS 6 TRATAMENTOS.....	43

## LISTA DE QUADROS

**QUADRO 1.** DENSIDADE BÁSICA DE ESPÉCIES UTILIZADAS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA..... 31

**QUADRO 2.** COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DIMENSIONAL, QUALIDADE E USO DA MADEIRA 37

## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1.** RESUMO DOS TRATAMENTO SILVICULTURAIS APLICADOS EM PLANTIO DE BERTHOLLETIA EXCELSA, ITACOATIARA - AM .. .....15

**TABELA 2.** NORMAS UTILIZADAS, DIMENSÕES E QUANTIDADE DOS CORPOS DE PROVA. .... 18

**TABELA 3.** RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE UMIDADE ENTRE OS TRATAMENTOS..... 27

**TABELA 4.** TEORES MÉDIOS DE UMIDADE (%) POR TRATAMENTO. .... 28

**TABELA 5.** RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE OS TRATAMENTOS..... 30

**TABELA 6.** TEORES MÉDIO DE DENSIDADE BÁSICA (/CM<sup>3</sup>) POR TRATAMENTO ..... 31

**TABELA 7.** RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIAÇÕES DA SEÇÃO TRANSVERSAL E O ÍNDICE ANISOTRÓPICO, ENTRE OS TRATAMENTOS..... 33

**TABELA 8.** VALORES PERCENTUAIS MÉDIO DA VARIAÇÃO EM RETRAÇÃO E INCHAMENTO POR TRATAMENTO..... 34

**TABELA 9.** VALORES MÉDIO DO ÍNDICE ANISOTRÓPICO, POR TRATAMENTO ..... 36

**TABELA 10.** RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOE E MOR PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA, ENTRE OS TRATAMENTOS. .... 38

**TABELA 11.** VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA, NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA, POR TRATAMENTO..... 39

**TABELA 12.** RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOE E MOR PARA O ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA, ENTRE OS TRATAMENTOS..... 41

**TABELA 13.** VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA, NO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA, POR TRATAMENTO. .... 42

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. PRESSUPOSTO .....	4
3. JUSTIFICATIVA .....	5
4. OBJETIVOS .....	6
4.1 Objetivo Geral .....	6
4.2 Objetivos Específicos .....	6
5. REFERENCIAL TEÓRICO .....	7
5.1 <i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl .....	7
5.2 Desbaste .....	7
5.3 Calagem .....	9
5.4 Fertilização fosfatada .....	9
5.5 Propriedades físicas .....	10
5.5.1 Teor de umidade .....	10
5.5.2 Densidade .....	11
5.5.3 Estabilidade Dimensional .....	11
5.6 Propriedades Mecânicas .....	12
5.6.1 Compressão Paralela às Fibras .....	12
5.6.2 Resistência a Flexão estática .....	12
6. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
6.1 Área de estudo .....	13
6.2 Plantio .....	14
6.3 Tratamentos .....	14
6.4 Calagem .....	15
6.5 Fertilização fosfatada .....	15
6.6 Desbaste .....	15
6.7 Amostragem .....	16
6.8 Crescimento mensal e anual das árvores .....	17
6.9 Propriedades físicas e mecânicas .....	17
6.10 Teor de umidade .....	18
6.11 Densidade básica .....	19
6.12 Estabilidade dimensional .....	20
6.13 Compressão paralela às fibras .....	22
6.14 Resistência a flexão estática .....	23
6.15 Análise estatística .....	24

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
7.1 Crescimento dos indivíduos .....	25
7.2 Propriedades Físicas .....	27
7.2.1 Teor de umidade.....	27
7.2.2 Densidade básica .....	29
7.2.3 Estabilidade dimensional .....	33
7.3 Propriedades Mecânicas.....	37
7.3.1 Valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) para Flexão Estática .....	37
7.3.2 Valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) para Compressão Paralela às fibras .....	41
8. CONCLUSÃO .....	44
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional, o consumo de madeira aumentou aceleradamente, causando um forte impacto nos estoques de madeiras nativas, principalmente das florestas tropicais (Rocha, 2000). Diante desta necessidade surgiu então o interesse pela utilização de espécies de rápido crescimento como fonte de matéria prima para obtenção de produtos sólidos de madeiras e dessa forma, os plantios florestais, que inicialmente eram utilizados para suprir determinadas demandas de madeira, estão cada vez mais se configurando como a principal fonte de abastecimento de madeira para usos múltiplos na atualidade.

O surgimento de iniciativas de plantio de espécies nativas tropicais para fins comerciais e recentemente um forte movimento de interiorização desse crescimento, com novos desafios para o setor de base florestal, como a implantação de grandes projetos industriais-florestais nas regiões que incorporam oportunidades para o desenvolvimento regional, como Centro-Oeste, Norte e Nordeste (IBA, 2014).

Um dos grandes desafios da produção de madeira de reflorestamento é minimizar a formação de madeira juvenil em árvores jovens, de crescimento rápido e de pequenas dimensões que, inevitavelmente, tendem a compor o mercado madeireiro num futuro bastante próximo

Uma das espécies nativas mais valiosas da floresta amazônica de terra firme é a Castanha do Brasil ou Castanha da Amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), utilizada há várias gerações como fonte de alimentação e renda. Apresenta rusticidade, crescimento relativamente rápido e características adequadas da madeira, sendo uma das mais importantes espécies para programas de reflorestamento na Amazônia (Yared, 1990), com rotações estimadas entre 30 e 40 anos e perspectivas de produção de madeira acima de  $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Yared et al., 1993).

Atualmente, a exploração de exemplares nativos é proibida pelo Decreto nº 1282, de 19/10/1994, o que faz com que seu plantio seja incentivado.

O plantio é realizado devido as características intrínsecas dessa espécie a fim de produção, seja por frutos ou madeira, apresentando-se como uma árvore

de grande porte, copa grande e emergente; fuste retilíneo, com desrama natural de galhos em plantios, formando um eixo ortotrópico de excelente forma para a indústria. Sua madeira é de ótima qualidade para construção civil e naval, bem como para esteios e obras externas (Loureiro et al., 1979). É uma espécie com grande potencial silvicultural para reflorestamentos com fins madeireiros (Tonini e Arco-verde, 2005).

De modo geral, podem-se melhorar, modificar, controlar ou minimizar os fatores que afetam a quantidade e qualidade da madeira, por meio de tratamentos silviculturais. Entre os tratamentos silviculturais que possibilitam alterações nas condições e taxas de crescimento das árvores, destacam-se a aplicação de fertilizantes e os desbastes que podem ser utilizados para aumentar a quantidade e melhorar a qualidade da madeira produzida.

Segundo Malan (1995), a prática de desbastes causa efeito no desenvolvimento da copa e na taxa de crescimento das árvores, podendo causar alteração significativa na formação da madeira. Isso pode resultar em aumento da área de madeira juvenil, produzindo madeira de baixa densidade e fibras curtas, além de alta retração longitudinal sob secagem e do alto teor relativo de lignina.

As características naturais de um solo, bem como sua adubação, são fatores que podem influenciar a qualidade da madeira, por meio de sua interferência na taxa de crescimento dessa madeira. Os efeitos do uso de adubos dependem da idade das árvores, do tipo de fertilizante, da época de aplicação, da quantidade aplicada e da frequência de aplicação, entre outros (ANDRADE et al., 1994). Porém, os efeitos da adubação são difíceis de prever, enquanto alguns estudos apontam aumento e outros, declínio na qualidade da madeira (PUNCHES e COUNTRY, 2004).

As propriedades físicas e mecânicas da madeira são importantes para definir sua melhor utilização industrial e inseri-las no mercado, reduzindo a demanda por espécies cujas reservas estejam se exaurindo (GOMES et al., 2011; MIRANDA et al., 2012).

O comportamento físico e mecânico da madeira varia entre espécies, entre indivíduos da mesma espécie e dentro de um único fuste no sentido medula-

casca e da base para o topo (MELLO et al., 2008; LIMA; GARCIA, 2010; COUTO et al., 2012), sendo influenciado pela idade, taxa de crescimento, tratamentos silviculturais e sítio (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; LONGUI et al., 2012; MIRANDA et al., 2012; SOTELO MONTES et al., 2007).

A densidade é o principal índice de qualidade da madeira, devido à sua relação com as demais propriedades (COUTO et al., 2012) e por isso, é uma das características mais estudadas. Em geral, madeiras com alta densidade apresentam maior variação volumétrica, devido a maior quantidade de água de impregnação na parede celular por unidade de volume. Quando em processo de secagem abaixo do ponto de saturação das fibras, a perda desse tipo de água ocasiona acentuada contração (SILVA; OLIVEIRA, 2003; GLASS; ZELINKA, 2010).

Alguns estudos comprovam não haver um padrão único na variação de densidade básica. Panshin e De Zeew (1980); Downes e Raymond (1997) apresentaram alguns modelos de variação dessa propriedade ao longo do tronco das árvores. No Brasil, estudos dessa natureza são predominantes para as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

A heterogeneidade dos componentes constituintes da madeira implicam diretamente em suas características físicas e mecânicas, e conseqüentemente em sua trabalhabilidade e definição do uso final. Mesmo em indivíduos clonados e originados do mesmo sítio, é verificado variabilidade nestas características, ocorrendo principalmente em função da idade, fatores genéticos e ambientais (EVANS et al., 2000).

Desta forma, é fundamental determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Bertholletia excelsa* Bonpl., relacionando seu melhor desenvolvimento a partir da aplicação de tratamentos silviculturais em estágio juvenil oriunda de plantios, com base em sua estrutura lenhosa, nas idades mais jovens, qualificando-a para usos alternativos e propiciando a garantia de competição para mercados futuros, assim como necessidade de transferência de informações para os polos produtivos e outros setores industriais de base florestal, quanto às características e possibilidades de uso da madeira de Castanha do Brasil como matéria prima competitiva ao mercado florestal.

## 2. PRESSUPOSTO

I) A ausência de informações sobre características tecnológicas associadas a tratamentos silviculturais em reposta à propriedades inerentes a madeira oriundas de florestas plantadas implicam na ineficiência de uso comercial;

II) O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Bertholletia excelsa*, aliado com as melhores técnicas de implantação e condução de um povoamento florestal, resultaria na utilização da espécie como alternativa para o manejo florestal, em substituição ou diminuição da pressão de exploração de espécies oriundas de florestas nativas;

### 3. JUSTIFICATIVA

A falta de conhecimento das madeiras de espécies nativas da Amazônia, principalmente a ausência de informações das propriedades tecnológicas aliadas a tratamentos silviculturais, determinam uma barreira de utilização de espécies que podem ser altamente produtivas, principalmente o baixo número de plantios florestais que visam altos valores de produção. O fator limitante de avaliação das propriedades da madeira em estágio juvenil dos indivíduos oriundos de plantios, inviabilizam seu uso, impedindo esta espécie de tornar-se utilizável comercialmente. Aliado a este fator, a espécie estudada é proibida para a exploração em sua forma nativa, portanto, o manejo é restrito à áreas plantadas dificultando a seleção desta espécie para inclusão na lista de exploração e comercialização.

A Castanha da Amazônia tem excelentes características silviculturais, e tem sido utilizada pelo seu crescimento rápido e potencial econômico em plantios para restauração de áreas degradadas, sistemas agroflorestais, enriquecimento florestal e plantios homogêneos para a produção de frutos e madeira. Em todos esses sistemas de plantios, a espécie tem apresentado elevadas taxas de crescimento, quando plantada em diferentes regiões da Amazônia

Assim, com vista na construção de conhecimento que subsidiem a elaboração de programas de manejo de plantações florestais, o presente estudo será realizado com a expectativa de responder a seguinte questão: Quais os efeitos das práticas de desbaste, calagem e fertilização fosfatada, bem como da interação entre estes tratamentos para explicar uma possível variação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de um plantio de *Bertholletia excelsa* Bonpl.?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo Geral**

Avaliar as variações das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em um plantio submetido à tratamentos silviculturais.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Analisar a qualidade da madeira, determinando os valores das propriedades físicas e mecânicas no plantio de 18 anos avaliado.

Verificar os efeitos dos tratamentos desbaste, calagem e adubação, em resposta ao aprimoramento das propriedades tecnológicas da madeira de *Bertholletia excelsa*.

Verificar qual tratamento possibilita a melhor resposta dos indivíduos em função das propriedades físicas e mecânicas.

## 5. REFERENCIAL TEÓRICO

### 5.1 *Bertholletia excelsa* Bonpl.

*Bertholletia excelsa*, pertence à família Lecythidaceae e foi descrita em 1808 por Aimé de Bonpland, sendo a única espécie desse gênero (Mori 2014). A castanha da amazônia é uma espécie arbórea de grande porte, com copa dominante, fuste reto e cilíndrico, apresentando casca fendilhada de coloração pardo acidentada. Ocorre em toda a região amazônica, em áreas de terra firme e em solos argilosos a argilo-arenosos (Locatelli e Souza 1990). A sua ocorrência está associada com temperaturas médias que variam de 24,3°C a 27,2°C e precipitação total entre 1.400 mm e 2.800 mm (Diniz e Bastos 1974).

A Castanha da Amazônia, ocorre nos estados brasileiros do Acre, Amazonas, Pará, Roraima, e Rondônia, bem como em boa parte do Maranhão, Tocantins e do Mato Grosso. Sua madeira é de ótima qualidade para construção civil e naval, bem como para esteios e obras externas (LOUREIRO et al., 1979).

A castanheira tem excelentes características silviculturais, e tem sido utilizada pelo seu crescimento rápido e potencial econômico em plantios para restauração de áreas degradadas, sistemas agroflorestais, enriquecimento florestal e plantios homogêneos para a produção de frutos e madeira (Ferreira e Tonini 2009; Ferreira et al. 2012; Salomão et al. 2014; Scoles et al. 2014). Em todos esses sistemas de plantios, a espécie tem apresentado elevadas taxas de crescimento, quando plantada em diferentes regiões da Amazônia. Adicionalmente, não há relatos de pragas e doenças que ataquem *B. excelsa* a ponto de comprometer sua produtividade (Albuquerque 1960; Costa et al. 2009).

### 5.2 Desbaste

A atividade de desbaste é uma operação silvicultural, cujo principal objetivo é reduzir a densidade de árvores num povoamento, a fim de melhorar a qualidade e o crescimento das árvores remanescentes (Onyekwelu et al. 2011; Forrester et al. 2012). O aumento das taxas de crescimento de plantações florestais sob tratamento de desbaste, deve-se a redução da competição ocasionada pela retirada de árvores de má qualidade, (Onyekwelu et al. 2011;

Forrester et al. 2012), sendo que a magnitude dos efeitos do desbaste sobre o crescimento das plantações depende entre outros fatores da idade do povoamento e das condições do sítio (Goudiaby et al. 2011).

No que diz respeito a idade, o desbaste deve ser administrado entre o início do fechamento das copas e o pico do incremento médio anual. Caso seja aplicado cedo, por exemplo, na fase juvenil, ele pode afetar o crescimento dos fustes, a qualidade da madeira e a forma das copas das árvores, caso seja aplicado tarde, como por exemplo, na fase de maturação, as árvores podem não responder, ou responder muito lentamente a esse tratamento silvicultural, o que inviabiliza essa atividade do ponto de vista econômico (West 2014). Em relação as condições de sítio, destaca-se a fertilidade do solo que parece ser determinante para a magnitude dos efeitos do desbaste sobre o crescimento das plantações (Forrester et al. 2013).

A maioria das experiências com desbaste no mundo foi realizada com espécies de regiões temperadas, onde se observa que o número de artigos publicados entre 1950 e 2015 sobre desbaste com espécies de regiões temperadas foi trinta vezes maior que o número de artigos publicados com espécies de regiões tropicais (Figura 1). No Brasil, a maior parte dos estudos sobre desbastes florestais foi realizada nas regiões Sul e Sudeste do país e concentram-se basicamente em duas espécies: *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* (Finger e Schneider 1999; Monte et al. 2009; Coelho e Hosokawa 2010). Na região Norte, as poucas experiências com desbastes florestais podem ser atribuídas à: i) Poucas iniciativas com plantios florestais na região em escala comercial e ii) Falta de conhecimento sobre as técnicas de produção e cultivo das espécies nativas plantadas.

O desbaste pode influenciar a ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, impactar a fertilidade do solo. Portanto, o tratamento silvicultural de desbaste constitui uma prática de manejo importante para a conservação da fertilidade do solo. Além disso, o desbaste também melhora o fornecimento de nutrientes de maneira indireta, devido à redução da concorrência entre as árvores remanescentes (Han et al. 2009; Blanco et al. 2008; Inagaki et al. 2008).

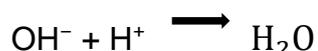
### 5.3 Calagem

A realização da aplicação da calagem é uma prática silvicultural importante para aumentar as taxas de crescimento de culturas em solos ácidos (Moore e Ouimet 2012). A aplicação de calcário em quantidades apropriadas favorece mudanças químicas e biológicas nos solos, as quais podem resultar em aumento da produtividade das plantações (Ouimet e Moore 2015). A realização da calagem (aplicação de  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$  no solo) atua aumentando o pH do solo, a disponibilidade de cátions trocáveis (cálcio - Ca e magnésio - Mg) e reduz a mobilidade do alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Novais et al. 2007), conforme as seguintes reações:

1º) O calcário dolomítico no solo ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ) é dissolvido pela água e forma cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), íon hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ):



2º) O íon  $\text{OH}^-$  formado reage com o  $\text{Al}^{3+}$  para formar alumínio sólido ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ou reage com  $\text{H}^+$  para formar água:



Desta forma, a calagem reduz a concentração de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  por meio de reações com os íons  $\text{OH}^-$ . O íon  $\text{OH}^-$  formado a partir da aplicação do calcário dolomítico resulta no aumento do pH dos solos (Novais et al. 2007).

### 5.4 Fertilização fosfatada

O fósforo (P), em função de suas baixas concentrações e da alta capacidade dos solos em fixar este nutriente, tem sido apontado como sendo um dos fatores mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento de plantas em grande parte dos ecossistemas terrestres (Kochian 2012; Lambers e Plaxton 2015). Em florestas tropicais, como a Amazônia, evidências sugerem que o

crescimento da floresta é determinado, entre outros fatores, pela disponibilidade de P na solução do solo (Aragão, 2009; Cleveland et al. 2011; Alvarez-Clare et al. 2013, Yang et al. 2014).

Assim, a fertilização fosfatada tem sido apontada como sendo um prática silvicultural determinante para se obter aumento de produtividade em plantações em regiões tropicais. Entre os fertilizantes fosfatados disponíveis, destaca-se a eficiência dos fosfatos naturais, como por exemplo, o fosfato natural de Araxá que tem sido recomendado para plantios florestais, por possuir entre outras características, efeito residual prolongado por ser mais lentamente dissolvido no solo e também é mais indicado para solos ácidos, devido ser dissolvido no solo principalmente por efeito da acidez, conforme a seguinte reação:

1º) O fosfato natural ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ) reage com os íons  $\text{H}^+$  do solo formando cálcio ( $\text{Ca}^+$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) e fluoreto ( $\text{F}^-$ ):



## 5.5 Propriedades físicas

### 5.5.1 Teor de umidade

O teor de umidade expressa a quantidade de água presente na madeira, mais precisamente a proporção entre a massa de água contida na madeira e a massa dessa madeira totalmente sem água. É o ponto de saturação e da umidade de equilíbrio, onde o ponto de saturação da madeira é a umidade abaixo da qual toda água existente é de impregnação, cujo valor gira em torno de 33% (CARRASCO, 2004).

O teor de umidade da madeira também está relacionado com as propriedades de resistência da madeira, com a maior ou menor facilidade em trabalhar com este material, com seu poder calorífico, sua suscetibilidade a fungos, entre outras propriedades (OLIVEIRA et al., 2005). As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de umidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos

quanto à obtenção de menor variabilidade em torno do teor de umidade médio pretendido. A umidade da madeira na árvore pode variar de 31 a 249% no cerne e de 40 a 213% no alburno (FOREST P., 1987).

### **5.5.2 Densidade**

A densidade básica é importante, uma vez que a mesma serve na prática como uma referência para a classificação da madeira, pois expressa a quantidade de material lenhoso por unidade de volume. Quanto maior seu valor, maior será a retratilidade em alguns casos e maiores serão as dificuldades em se trabalhar a madeira (OLIVEIRA, 1997).

São fatores que afetam a densidade básica, a espécie florestal; umidade da madeira; relação de lenho inicial e lenho tardio; largura dos anéis de crescimento; posição de retirada do material no tronco; local de crescimento da árvore; e métodos silviculturas empregados, como desbaste, poda e adubação. (MORESCHI, 2010).

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a densidade, em função da idade da árvore em geral aumenta rapidamente durante o período juvenil, depois mais lentamente até atingir a maturidade, quando permanece mais ou menos constante, e a madeira de lenho tardio apresentava densidade básica maior que a de lenho juvenil. A densidade, além de ser um bom indicativo da qualidade de determinada espécie de madeira, estabelece como um bom índice para análise de viabilidade de seu emprego em diversas finalidades (LOPES & GARCIA, 2002).

### **5.5.3 Estabilidade Dimensional**

A retratilidade é o fenômeno de variação dimensional da madeira, quando há uma alteração no seu teor de umidade. As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer quando esta perde ou ganha umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. O princípio da retratilidade se deve ao fato das moléculas de água estar ligadas por pontes de hidrogênio as microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira. Quando estas são forçadas

a sair, deixam um espaço e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando uma contração da madeira como um todo. (IPT, 1985).

As características de estabilidade dimensional das madeiras diferem bastante entre espécies, dependendo do modo de condução do processo de secagem e do comportamento específico da madeira, o que, geralmente, acarreta à alteração da forma e à formação de fendas e empenos. (OLIVEIRA, 2007).

## **5.6 Propriedades Mecânicas**

### **5.6.1 Compressão Paralela às Fibras**

A resistência à compressão axial, também conhecida por compressão paralela às fibras, consiste na determinação da resistência e da rigidez de um lote de madeira considerado homogêneo, e é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar na madeira (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004).

A resistência da madeira à compressão pode ser determinada em pequenas amostras de madeira, livres de defeitos e com dimensões pré-definidas em norma, pela aplicação de carga no sentido perpendicular ou paralelo às fibras, para a determinação do limite de elasticidade e a obtenção do MOE (KLOCK, 2000; SERVOLO FILHO, 2013).

A utilização das classes de resistência permite orientar a escolha do material para uso estrutural, podendo as madeiras disponíveis em cada região serem utilizadas, desde que os valores das propriedades mecânicas se enquadrem na classe definida no projeto (SALES, 1996).

### **5.6.2 Resistência a Flexão estática**

Assim como para análise da compressão, neste ensaio é utilizada uma peça de madeira com dimensões pré-definidas, com fibras orientadas paralelamente ao seu comprimento, onde a peça é deformada em forma de arco devido à carga aplicada. Esta deformação provoca o encurtamento das fibras no

lado côncavo (compressão) e um alongamento no lado convexo (tração) (ROCHA, et al., 1988).

O ensaio determina a máxima resistência à flexão ou módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, fornecendo a rigidez da madeira e a capacidade de resistir à deformação, quando sujeita aos esforços de flexão. A deformação poderá ser elástica ou plástica, sendo a primeira reversível quando se retira a carga. (OLIVEIRA, 2007).

## 6. MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Área de estudo

A área onde foi realizado o experimento fica localizada no quilômetro 215 da rodovia AM 010, no Município de Itacoatiara, Amazonas. O plantio em questão pertence a Empresa Agropecuária Aruanã S. A. (3°0'30.63" S, 58°50'1.50" O). A topografia da área apresenta ondulações, com altitudes variando entre 120 m e 170 m (Ferreira et al. 2012). O solo predominante é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico de textura muito argilosa (Gomes 2012). O clima da região é do tipo Amw (Köppen 1948). A temperatura e precipitação média anual é 25°C e 1.800 mm, respectivamente (INMET 2016).

A área originalmente foi coberta por floresta até o início de 1970. Então foi convertida para pastagem, sendo mantida até 1973. Em 1977, devido à degradação das pastagens e baixa produtividade agropecuária, buscou-se outra alternativa agrícola, dessa vez que fosse sustentável, para manter uma atividade econômica. Em 1981, foram plantados os primeiros povoamentos de *B. excelsa* para produção de frutos no espaçamento 20 x 20 m e depois 10 x 10 m. A partir de 1995 foram formados, nas entrelinhas destas plantações, os primeiros plantios para produção de madeira no espaçamento 2,5 x 1,5 m.

A fazenda possui 3.800 ha de plantios de Castanha da Amazônia para produção de frutos e madeira, e de Pupunheira (*Bactris gasipaes*) para produção de frutos e palmito, possui ainda serviço de reposição florestal para empresas ou pessoas físicas, com atividades madeireiras obrigadas à reposição florestal

com 1.257.000 (um milhão duzentas e cinquenta e sete mil) árvores de Castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) plantadas. Sendo 318.000 árvores enxertadas destinadas a produção de frutos e 939.000 para produção de madeira em plantios adensados.

## 6.2 Plantio

O plantio foi realizado entre 2000 e 2001 em área de 2,69 ha, apresentando um total de 7000 indivíduos estabelecidos inicialmente. Foram utilizadas mudas de sete meses, com altura média de 30 cm, produzidas no viveiro da própria empresa. O espaçamento utilizado foi 2,5 x 1,5 m. O solo e as mudas não foram adubados. O controle da vegetação secundária foi feito por meio de roçada mecanizada, duas vezes ao ano, uma no início das chuvas (outubro) e outra no início do período de colheita de frutos (dezembro).

## 6.3 Tratamentos

Este trabalho está inserido em uma pesquisa mais ampla na área da ecofisiologia, ao qual foram aproveitados os mesmos tratamentos para fazer a análise das propriedades tecnológicas descritas neste estudo. Os tratamentos foram aplicados em meados de 2016, portanto, seguindo o cronograma de atividades estabelecido, os dados foram coletados após 2 anos da aplicação dos tratamentos.

O plantio de *Bertholletia excelsa* foi submetido simultaneamente aos tratamentos de desbaste, calagem e fertilização fosfatada, bem como a interação entre esses tratamentos (Tabela 1). Os níveis de desbaste refere-se a retirada de 0 e 50% da área basal do povoamento. Os níveis de calagem tiveram a aplicação de 0 e 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, enquanto os de P tiveram a aplicação de 0 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Arad (33% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A intensidade de desbaste foi definida considerando-se os resultados apresentados por Costa (2015). A estimativa da necessidade de calagem foi realizada com base na metodologia proposta por Batista (2014), enquanto a necessidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi extrapolada a partir de sugestões para eucalipto (CFSEMG 1999).

**Tabela 1.** Resumo dos tratamento silviculturais aplicados em plantio de *Bertholletia excelsa*, Itacoatiara - AM

<b>Tratamentos</b>	<b>Descrição</b>
Controle	Condições naturais
Desbaste	Retirada de 50% da área basal do povoamento
Calagem	2,0 t ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico
Calagem + P	Calagem + aplicação de 150 kg ha <sup>-1</sup> de P
Calagem + desbaste	Calagem + desbaste
Calagem + P + desbaste	Calagem + P + desbaste

P = Aplicação de Fósforo

#### **6.4 Calagem**

A aplicação do calcário foi realizada conforme metodologia proposta por Magalhães et al. (2007), modificando apenas a profundidade de aplicação. O calcário dolomítico (PRNT 91%) foi aplicado no período chuvoso (14/03 a 01/04/2016), em faixas de 20 cm de profundidade que foram abertas a uma distância de 50 a 60 cm (região onde há maior densidade de raízes finas) do fuste das árvores, o calcário dolomítico foi então revolvido ao solo exposto e colocado novamente nas faixas. Foram aplicados 824 g de calcário dolomítico por árvore.

#### **6.5 Fertilização fosfatada**

Trinta dias após a aplicação do calcário dolomítico, foi aplicado o fósforo. A fonte de fósforo utilizada foi o fosfato natural de Arad (33% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O procedimento de aplicação do adubo fosfatado foi o mesmo utilizado para o calcário dolomítico. Foram aplicados cerca de 56 g de adubo por árvore.

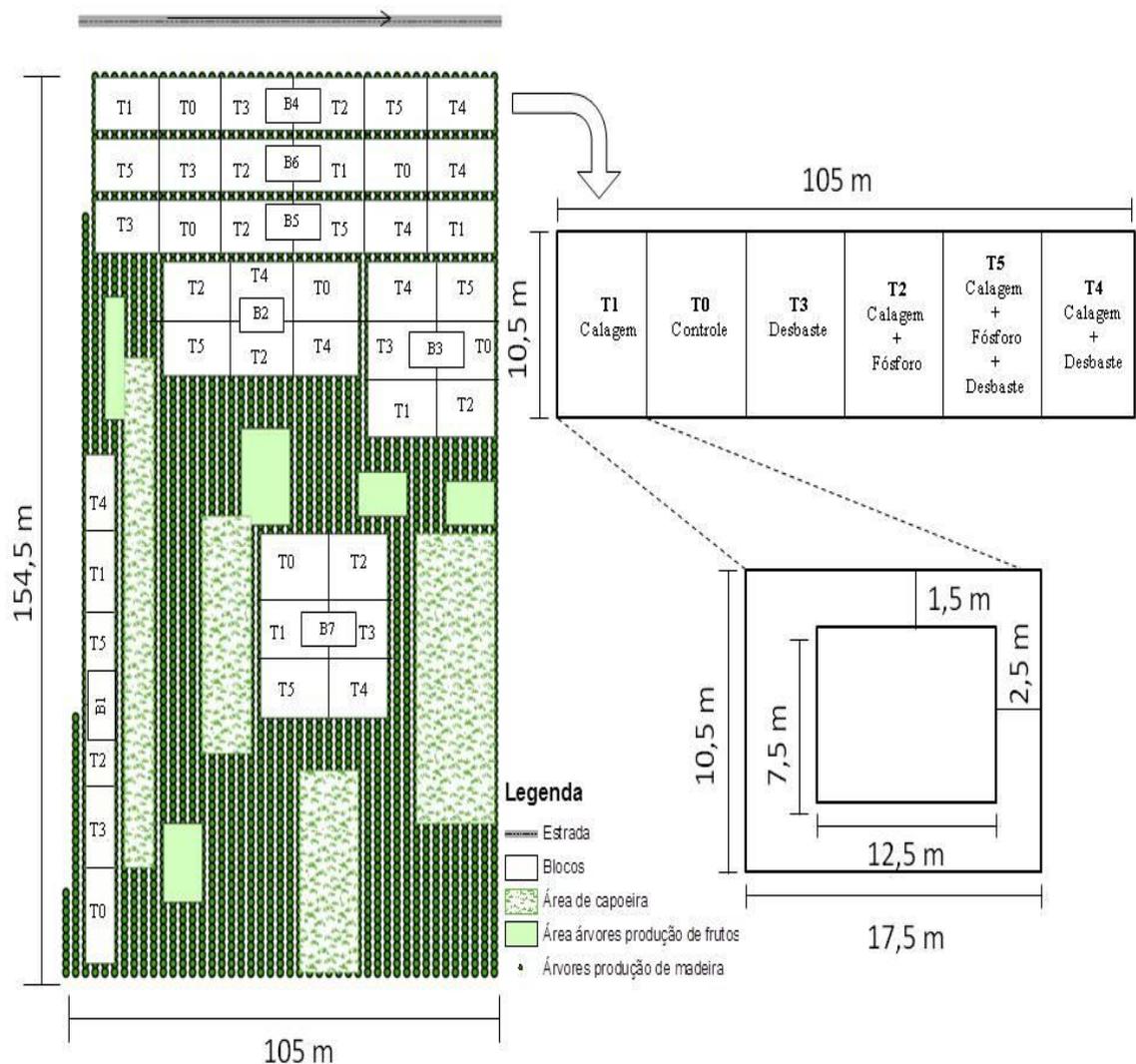
#### **6.6 Desbaste**

Após a aplicação do fertilizante fosfatado foi realizado o desbaste. O método de desbaste aplicado foi o seletivo por baixo, foi removido o equivalente a 50% da área basal do plantio. As árvores eliminadas foram as suprimidas, tortuosas e bifurcadas. Após o desbaste, foi mantido na área do plantio todo o resto de folhas e galhos das árvores que foram cortadas assim como proposto por Costa et al. (2015).

## 6.7 Amostragem

O experimento é amostrado em blocos casualizados (DBC) com 6 tratamentos e 7 repetições, cada bloco apresenta uma área de 326,25 m<sup>2</sup> (7,5 x 47,5 m) com os 6 tratamentos sendo distribuídos aleatoriamente e separados entre si por uma linha de borda de 5 m (Figura 1). A área de cada parcela útil em um total de 93,75 m<sup>2</sup> (7,5 x 12,5), apresentando 25 árvores na parcela útil, excluindo os indivíduos presentes nas bordas.

Figura 1. Esquema do delineamento e distribuição dos blocos e tratamentos aplicados no experimento



Fonte: Alves 2017

## 6.8 Crescimento mensal e anual das árvores

O crescimento anual foi obtido a partir da medição do diâmetro sobre casca a 1,3 m de altura (DAP) acima do solo, tomada para todas as árvores (1.200 árvores no total) para calcular o incremento anual atual de 2016-2017 e 2017-2018. O número e a amplitude das classes de diâmetro foram calculados de acordo com Sturges (1926) utilizando dados de crescimento do período 2017-2018. O crescimento mensal no período 2017-2018 foi obtido a partir de uma banda dendrométrica fixada no caule das árvores-amostra, o crescimento em circunferência foi medido com um paquímetro digital de acordo com Muller-Landau e Dong (2010).

## 6.9 Propriedades físicas e mecânicas

Na coleta de dados foram retirados de cada árvore duas seções ao longo do fuste, aos quais foram encaminhadas para serraria da Universidade Federal do Amazonas para beneficiamento. As propriedades físicas analisadas foram: Teor de umidade, Densidade básica e Estabilidade dimensional. As propriedades mecânicas analisadas foram: Compressão paralela às fibras e Resistência a flexão estática.

**Figura 2. Pranchas de madeira, 10 cm de espessura e 2,5 m de comprimento**



Fonte: Saltão 2017

De cada seção do fuste coletada em campo, foram retiradas duas pranchas de madeira de 10 cm de espessura e 2,5 m de comprimento, de cada indivíduo abatido (Figura 2), destas pranchas foram retirados todos os corpos de prova para a realização dos ensaios de propriedades físicas e mecânicas, de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT 7190/1997, para a realização dos ensaios físicos, e a norma da Sociedade Americana de Testes e Materiais - ASTM D 143-94, para a realização dos ensaios mecânicos (Tabela 2).

**Tabela 2. Normas utilizadas, dimensões e quantidade dos corpos de prova.**

<b>Propriedades físicas</b>	<b>Norma</b>	<b>Dimensões (cm)</b>	<b>Quant.</b>
Teor de umidade	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	7
Densidade básica	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	7
Estabilidade Dimensional	ABNT 7190/1997	2,0 x 3,0 x 5,0	7
<b>Propriedades mecânicas</b>	<b>Norma</b>	<b>Dimensões (cm)</b>	<b>Quant.</b>
Compressão paralela às fibras	ASTM D 143-94 (2000)	5,0 x 5,0 x 20	12
Flexão estática	ASTM D 143-94 (2000)	2,5 x 2,5 x 41	12

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas; ASTM = Sociedade Americana de Testes e Materiais.

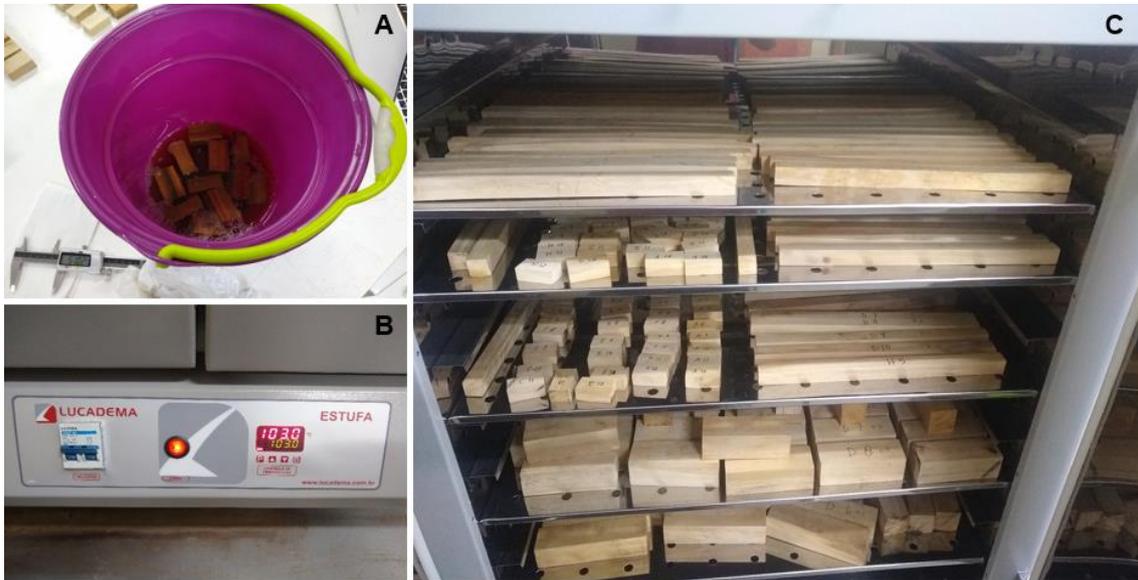
Antes da realização dos testes físicos e mecânicos, os corpos de prova foram acondicionados em sala de climatização, com temperatura de  $20 \pm 2$  °C e umidade relativa do ar de  $65 \pm 5\%$ , até estabelecimento de massa constante, esse ambiente controlado condiciona os corpos de prova a um teor de umidade próximo ao PSF (Ponto de Saturação das Fibras), minimizando a possibilidade de ocorrência de defeitos e rachaduras no material a ser testado.

### **6.10 Teor de umidade**

Para a determinação do teor relativo de umidade, as amostras foram submersas em água destilada para saturação (Figura 3 A), até o peso do corpo de prova obter valor constante, realizando-se a aferição da massa saturada, posteriormente o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar e

temperatura média de  $103 \pm 2$  °C (Figura 3 B e C), até obter peso constante, determinando a massa seca. A massa foi considerada constante quando não houve diferença entre duas pesagens consecutivas, com diferença de 24 horas.

**Figura 3. A - Corpos de prova saturados; B - Estufa com circulação forçada, estabilizada em 103 °C; C - Corpos de prova acondicionados em estufa**



Fonte: Autoria própria

O teor de umidade (TU %) é calculado em relação à massa seca:

$$TU = \frac{m_i - m_s}{m_s} * 100$$

Em que:

$m_i$  = massa inicial da madeira (saturada) (g) (Figura 4 A);

$m_s$  = massa da madeira seca (g);

### 6.11 Densidade básica

A densidade básica foi calculada pela razão entre a massa seca e o volume saturado, como mostra a fórmula abaixo:

$$\rho_{bas} = \frac{Ms}{V_{sat}}$$

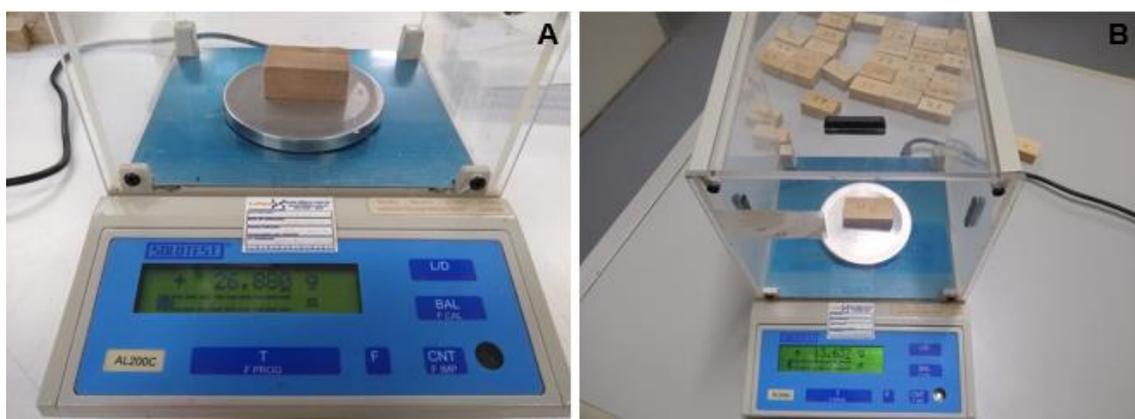
Em que:

$Ms$  = massa seca da madeira (g);

$V_{sat}$  = Volume da madeira saturada (cm<sup>3</sup>);

A massa seca foi obtida pelos mesmos procedimentos descritos no teste de teor de umidade (Figura 4 B). Para a determinação do volume saturado, foram medidos os lados da seção transversal e do comprimento com paquímetro, efetuando-se duas medidas em cada direção, considerando a média dos valores obtidos como as dimensões de cada seção do corpo de prova.

**Figura 4. A - Peso dos corpos de prova saturado; B - Peso dos corpos de prova secos em estufa**



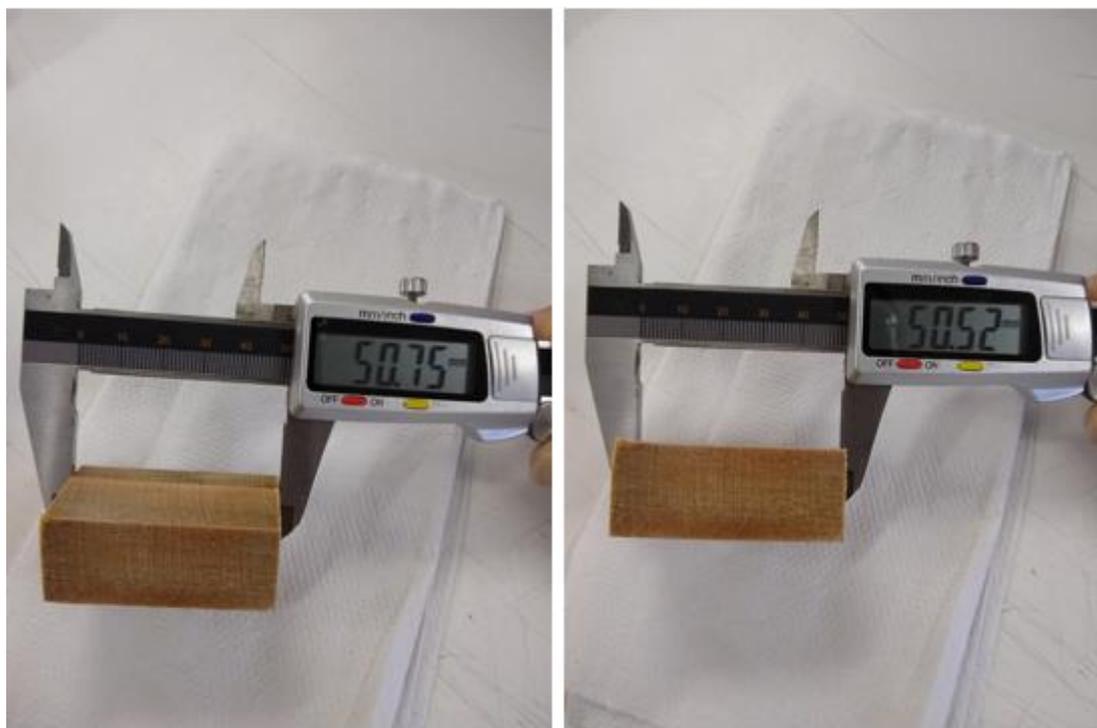
Fonte: Autoria própria.

## 6.12 Estabilidade dimensional

A massa saturada e seca foram obtidas pelos mesmos procedimentos descritos no teste de teor de umidade.

Com um paquímetro digital foram realizadas 2 medidas para cada sentido (radial, tangencial e longitudinal) de cada corpo de prova, considerando a média como medida final para cada seção do corpo de prova (Figura 5).

Figura 5. Medição de 2 pontos no sentido longitudinal, em corpo de prova saturado



Fonte: Autoria própria

As deformações específicas de retração  $\epsilon_r$  e de inchamento  $\epsilon_i$  são consideradas como índices de estabilidade dimensional e foram determinadas, para cada uma das direções dos corpos de prova, em função das respectivas dimensões da madeira saturada e seca, sendo dadas por:

$$\epsilon_{r(i)} = \left[ \frac{L_{sat} - L_{seca}}{L_{sat}} \right] * 100$$

$$\epsilon_{i(i)} = \left[ \frac{L_{sat} - L_{seca}}{L_{seca}} \right] * 100$$

Em que:

$L_{sat}$  = é a dimensão na direção  $i$  ( $i$  = radial,  $i$  = tangencial ou  $i$  = longitudinal) na condição saturada;

$L_{seca}$  = é a dimensão na direção  $i$  ( $i$  = radial,  $i$  = tangencial ou  $i$  = longitudinal) na condição seca;

A variação volumétrica foi determinada em função das dimensões do corpo de prova nos estados saturado e seco, sendo dada por:

#### Inchamento volumétrico

$$\Delta V_i = \frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{seco}} * 100$$

#### Retração Volumétrica

$$\Delta V_r = \frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{sat}} * 100$$

Em que:

$V_{sat}$  = produto das dimensões radial, tangencial e longitudinal na condição saturada;

$V_{seco}$  = produto das dimensões radial, tangencial e longitudinal na condição seca;

Com os dados de retração e inchamento foi possível calcular o coeficiente de anisotropia da madeira dos indivíduos coletados, sendo obtido por:

$$A_r = \frac{\varepsilon_{r\ tang}}{\varepsilon_{r\ rad}} \quad A_i = \frac{\varepsilon_{i\ tang}}{\varepsilon_{i\ rad}}$$

Em que:

$A_r$  = coeficiente de anisotropia dimensional na retração;

$A_i$  = coeficiente de anisotropia dimensional no inchamento;

### **6.13 Compressão paralela às fibras**

A resistência à compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal quadrada, sendo dada por:

$$f_{c0} = \frac{f_{c0,max}}{A}$$

Em que:

$f_{c0,max}$  = máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio (N);

$A$  = área inicial da seção transversal comprimida (m<sup>2</sup>);

$f_{c0}$  = resistência a compressão paralela às fibras (Mpa);

#### **6.14 Resistência a flexão estática**

A resistência da madeira à flexão ( $f_M$ ) é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova, calculada a partir da hipótese de que a madeira é um material elástico, sendo dado por:

$$f_M = \frac{M_{max}}{W_e}$$

Em que:

$M_{max}$  = máximo momento aplicado ao corpo de prova (N/m);

$W_e$  = módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova, dado por  $bh^2/6$ , em m<sup>3</sup> (b e h correspondem, respectivamente, à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova em metros);

**Figura 6. Corpo de prova submetido ao ensaio físico de flexão estática**



Fonte: Autoria própria

A caracterização da rigidez da madeira foi verificada pelo valor médio do módulo de elasticidade determinado a partir do trecho linear do diagrama tensão x deformação como descrito na norma.

### **6.15 Análise estatística**

Os valores referentes às propriedades físicas e mecânicas da madeira foram tabulados na planilha Microsoft Excel e analisados no Software RStudio. Para comparar os efeitos dos tratamentos de desbaste, fertilização e calagem, os dados foram submetidos aos testes de Shapiro Wilk para verificação do atendimento as premissas de normalidade.

Nas situações em que os dados não sugeriram diferença estatística a partir dos pressupostos da ANOVA, eles foram submetidos ao teste Tukey para comparação da média dos tratamentos.

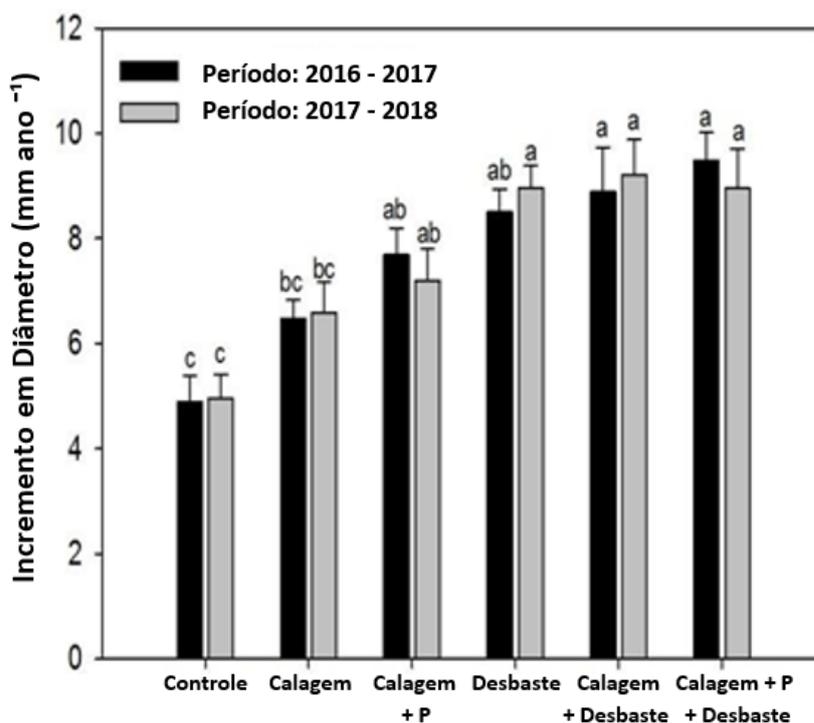
## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Crescimento dos indivíduos

Analisando os números do primeiro ano é possível observar aumento no crescimento em todos os tratamentos relacionados ao controle (Fig. 7). Após dois anos, embora a calagem tenha aumentado em 30% o crescimento das árvores de *B. excelsa*, apenas os efeitos do fósforo e do desbaste foram significativos quando comparados com o controle.

A fertilização com fósforo aumentou o crescimento das árvores em 47%, enquanto o desbaste aumentou, em média, o crescimento das árvores em 82%, não foram observadas diferenças entre as parcelas desbastadas com ou sem calagem, ou calagem + P (Fig. 7).

Figura 7. Crescimento anual de *Bertholletia excelsa*, em resposta aos tratamentos com desbaste, calagem e fertilização com fósforo

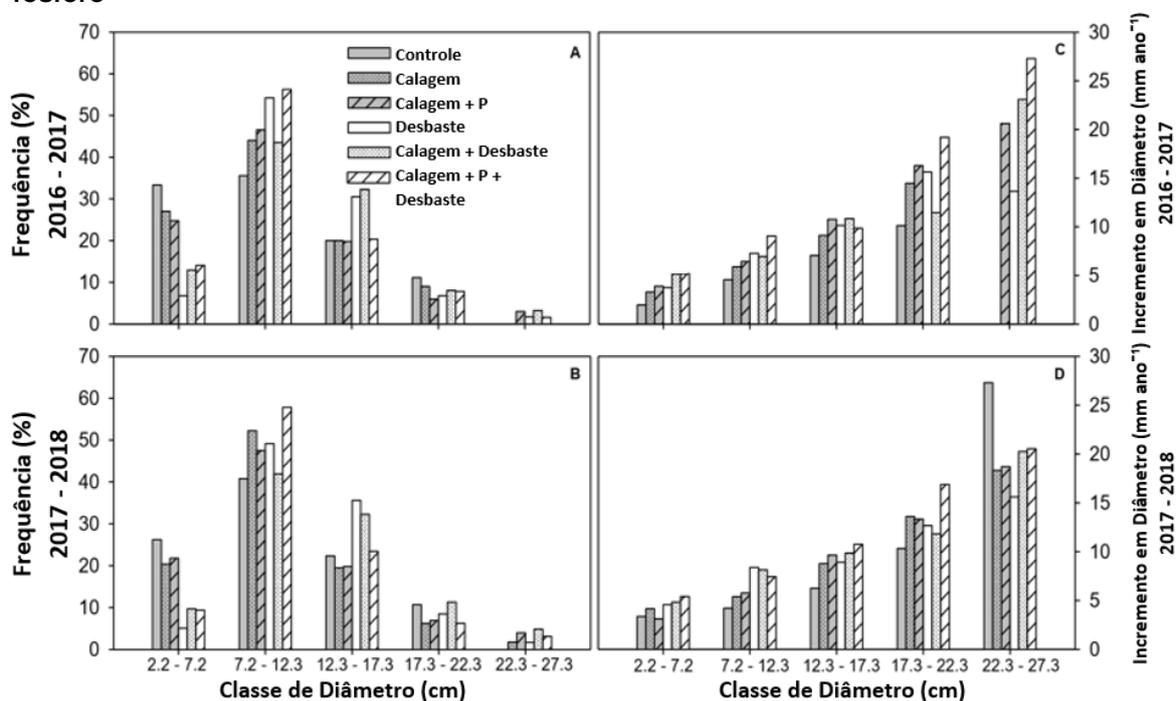


Fonte: Autoria própria

Os tratamentos alteraram a estrutura do povoamento, observou-se que em resposta ao desbaste, os tratamentos calagem e calagem + P apresentaram redução da frequência de árvores em classe de diâmetro menor e um aumento

em classe média e maior (Fig. 8 A e B), e também que as árvores maiores apresentaram taxas de crescimento maior em relação as árvores de classes de diâmetro menores (Fig. 8 C e D).

**Figura 8. Frequência (A e B) e crescimento (C e D) de *Bertholletia excelsa* em diferentes classes de diâmetro, em reposta aos tratamentos de desbaste, calagem e fertilização com fósforo**



Fonte: Autoria própria

Os resultados encontrados neste estudo indicam que a luz pode ser no geral um fator limitante mais importante do que o fósforo no crescimento das plantações de *B. excelsa*.

Outra constatação é que árvores grandes eram mais sensíveis à fertilização do que árvores menores, e para árvores maiores, a disponibilidade de fósforo pareciam ser os recursos mais limitantes. A maior eficiência das árvores maiores para utilizar a disponibilidade de recursos no local tem sido discutida em vários estudos e tem sido atribuída, especialmente, ao potencial genético (Campoe et al. 2013).

Apesar de muitos estudos terem demonstrado o efeito positivo da disponibilidade de luz no crescimento de *B. excelsa* (Myers et al. 2000, Scoles et al. 2011, Scoles e Gribel 2012a, Kainer et al. 2018), alguns estudos também

mostraram que *B. excelsa* é uma espécie demandante de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Corrêa 2013, Schroth et al. 2015).

A maior eficiência das árvores de maior diâmetro para utilizar a disponibilidade de recursos no local tem sido discutida em vários estudos e tem sido atribuída, especialmente, ao potencial genético (Campoe et al. 2013). Sendo que as respostas de uma árvore grande também podem refletir a não-limitação pela luz, muito provavelmente ao estabelecimento de seu porte, que proporciona acesso mais irrestrito a disponibilidade de luz.

## 7.2 Propriedades Físicas

### 7.2.1 Teor de umidade

Comparando os valores do teor de umidade da madeira em relação aos 6 tratamentos aplicados na área do plantio, constatou-se que essa variável apresentou diferença significativa ( $F = 46.38$ ,  $P < 0.0001$ ), como pode ser visto na tabela 3.

A variação da umidade se encontra diretamente ligada a densidade básica da madeira, sendo inversamente proporcional a mesma, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira, resultando na combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos, parênquimas e arranjo dos elementos anatômicos (Foelkel et al. 1971).

A resposta dos indivíduos aos tratamentos, possivelmente, acarretou diferenciação química e física nas árvores coletadas, causando variação em sua estrutura anatômica, ocorrendo variação nas taxas de teor de umidade.

**Tabela 3. Resultado da análise de variância do Teor de Umidade entre os tratamentos.**

TU (%)	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	Valor - P
<b>Tratamentos</b>	5	3506	701.1	46.38	3.18e-13 ***
<b>Resíduo</b>	30	453	15.1		

Valor P e significância (0\*\*\* 0.001\*\* 0.01\* 0.05)

Os valores do teste de teor de umidade atenderam as premissas de normalidade, calculada a partir do teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0.9546$ ,  $P = 0.146$ ), e coeficiente de variação de 6,67 %.

Esses indivíduos testados são oriundos de um plantio jovem, portanto com predominância de lenho juvenil na constituição do fuste, caracterizando maior proporção de tecidos ativos e, portanto, maior proporção de água quando comparados à indivíduos nativos.

A variação da umidade corrobora com o trabalho desenvolvido por Assis (2009), ao relatar que a proporção de madeira juvenil existente em uma tora é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, do ambiente de plantio e do manejo.

A tabela 4 apresenta os percentuais médios, por tratamento, dos indivíduos coletados, com a técnica de Desbaste apresentando os menores teores de umidade, sendo admitida como a de melhor resposta dentre todos os tratamentos, pois menores taxas de umidade proporcionam uma secagem mais correta da madeira, resultando em melhoria das características de trabalhabilidade, redução da movimentação dimensional, do ataque por fungos e insetos e maior controle de defeitos (Logsdon e Calil Junior 2002; Glass e Zelinka 2010).

**Tabela 4. Teores médios de umidade (%) por tratamento.**

<b>Tratamentos</b>	<b>Média (%)</b>
Controle	77,07 a
Calagem + P + desbaste	61,06 b
Calagem	58,90 b
Calagem + desbaste	55,81 bc
Calagem + P	52,00 c
Desbaste	44,95 d

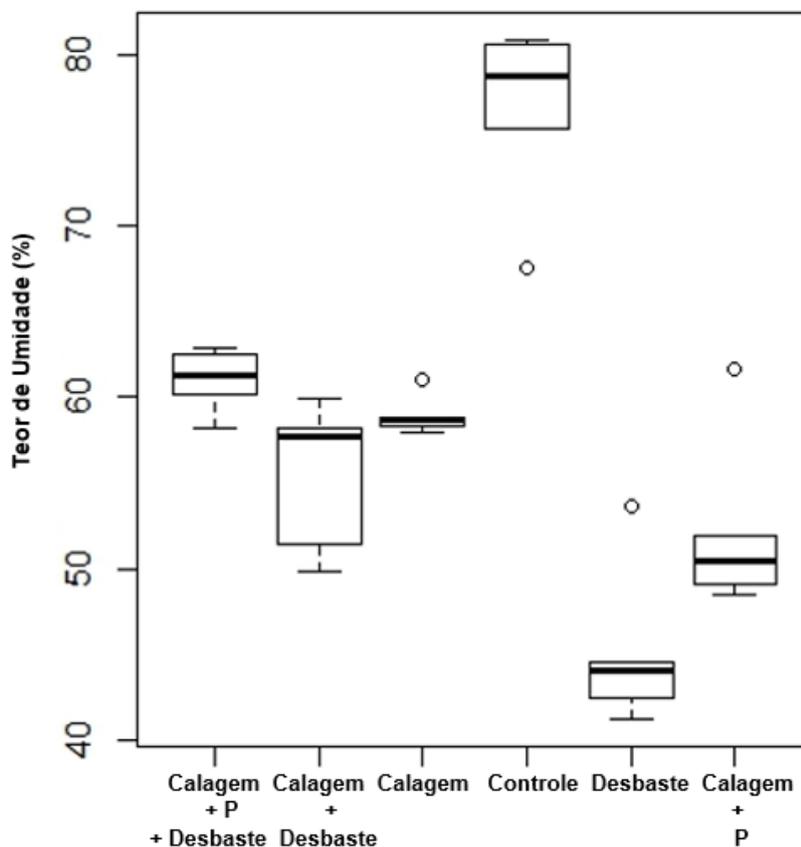
**Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).**

Considerando que o ponto de saturação das fibras médio é 30% (Glass e Zelinka 2010), a quantidade de água livre percentual entre os tratamentos variou de 15% a 47%.

O diagrama de boxplot da figura 9, mostram a distribuição dos valores médios de Teor de Umidade de cada tratamento, a partir dos valores

adimensionais obtidos pela divisão dos valores experimentais pelo valor da mediana do respectivo conjunto de dados.

**Figura 9. Análise da variação de Teor de Umidade por meio do diagrama de boxplot, para os 6 tratamentos**



Fonte: Autoria própria

Pela figura 9, foi possível observar os valores discrepantes (outliers), de algumas amostras dos tratamentos implantados, principalmente, do Desbaste, Calagem + P e Controle. As técnicas que apresentaram as menores dispersões em relação aos valores medianos foram Calagem + P + Desbaste e Calagem, esses tratamentos apresentaram menor variação dos valores médios das amostras, sendo os mais indicados para implantação de outro plantio desta mesma espécie, visando melhores respostas a variável Teor de umidade.

### 7.2.2 Densidade básica

Comparando os valores de densidade básica da madeira em relação aos 6 tratamentos aplicados na área do plantio, constatou-se que essa variável

apresentou diferença significativa ( $F = 33.39$ ,  $P < 0.0001$ ), como pode ser visto na tabela 5.

A densidade da madeira é um referencial importante no que tange a qualificação da madeira para o uso mais apropriado, aliado as características anatômicas e físicas, são de fundamental importância para a utilização da madeira. Inclusive orienta na elaboração de programas de secagem e imunização da madeira (PAULA & COSTA, 2011).

A variação da densidade dentro de uma mesma espécie deve-se à diferença de sítios, considerando principalmente a diferença na fertilidade dos solos (Baker et al. 2004; Muller-Landau 2004; Malhi 2006), o que corrobora com esse trabalho, se adotarmos que essa variação esteja relacionada a resposta dos indivíduos aos tratamentos aplicados.

**Tabela 5. Resultado da análise de variância da Densidade Básica entre os tratamentos.**

<i>Tu (%)</i>	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Valor - P</i>
<b>Tratamentos</b>	5	0.11085	0.022169	33.39	2.15e-11 ***
<b>Resido</b>	30	0.01992	0.000664		

**Valor P e significância (0\*\*\* 0.001\*\* 0.01\* 0.05).**

Os valores do teste de Densidade básica atenderam as premissas de normalidade, calculada a partir do teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0.9614$ ,  $P = 0.2373$ ), e coeficiente de variação de 4,25 %.

A tabela 6, apresenta os valores médios, por tratamento, dos indivíduos coletados, a partir da análise do teste de comparações de médias múltiplas, observamos que os tratamentos Desbaste, Calagem + Desbaste e Calagem + P + Desbaste não apresentaram diferença significativa entre si, com uma média de 0.65 g/cm<sup>3</sup>, valores esses, maiores que o encontrado pelo IPT (1981) para a espécie de castanheira na forma nativa que foi de 0,63 g/cm<sup>3</sup>.

Os tratamentos de maiores valores evidenciam a melhor resposta da espécie *Bertholletia excelsa*, com o aumento da disponibilidade de luz, aplicação da técnica de desbaste, e com uso da fertilização fosfatada, superando inclusive os valores de indivíduos nativos.

**Tabela 6. Teores médios de Densidade Básica (g/cm<sup>3</sup>) por tratamento**

<b>Tratamentos</b>	<b>Média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Calagem + Desbaste	0.650 a
Desbaste	0.648 a
Calagem + P + Desbaste	0.647 ab
Calagem	0.603 bc
Calagem + P	0.602 c
Controle	0.492 d

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem pelo teste Tukey (p > 0,05).

A castanheira possui densidade maiores que outras espécies utilizadas na região amazônica (Quadro 1).

**Quadro 1. Densidade básica de espécies utilizadas na indústria madeireira.**

<b>Nome científico</b>	<b>Nome vulgar</b>	<b>Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	Castanheira	0,63
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	0,44
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	0,52
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess	Jacaréuba	0,52
<i>Euplassa pinnata</i>	Louro faia	0,57
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Amapá doce	0,59
<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Cardeiro	0,63
<i>Torressea acreana</i> Ducke	Cerejeira	0,53

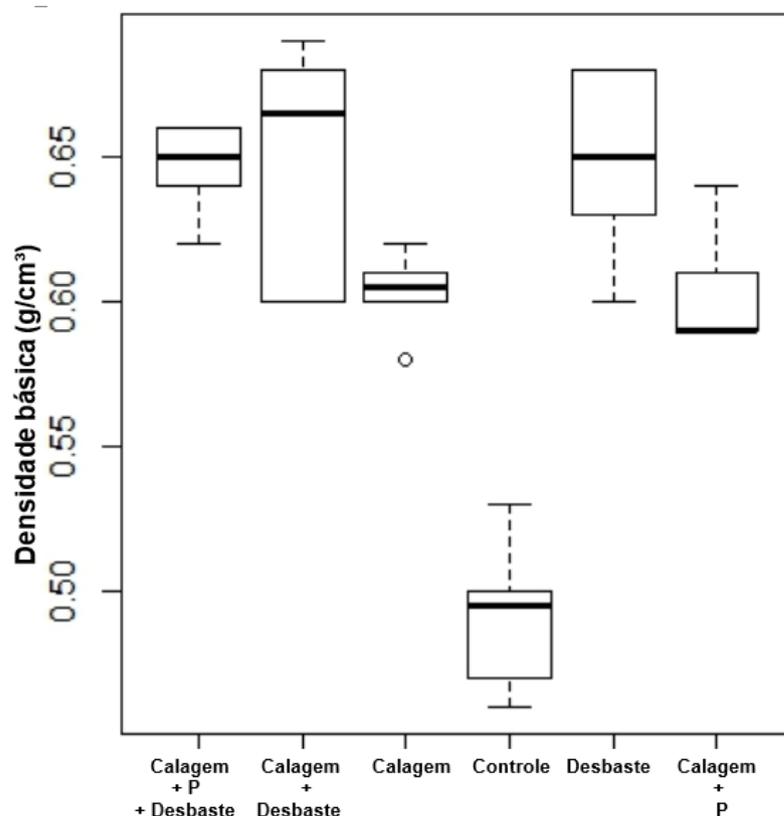
Fonte: IBA 2014

Segundo Moraes Neto et al. (2009), quanto maior a densidade básica da madeira, maiores serão os parâmetros de resistência (módulo de ruptura à flexão estática e compressões paralela) e de rigidez (módulo de elasticidade à flexão estática).

Observamos que a densidade encontrada nesse estudo possui valores maiores que algumas espécies comercializadas na indústria madeireira e construção civil (parte interna) como móveis decorativos, portas, esquadrias e etc.

O diagrama de boxplot da figura 10, mostra a distribuição dos valores médios de Densidade básica de cada tratamento, a partir dos valores adimensionais obtidos pela divisão dos valores experimentais pelo valor da mediana do respectivo conjunto de dados.

**Figura 10. Análise da variação de Densidade básica por meio do diagrama de boxplot, para os 6 tratamentos**



Fonte: Autoria própria

Pela figura 10, foi possível observar apenas um valor discrepante (outlier), referindo-se ao tratamento de aplicação de Calagem, esse ponto fora dos limites do conjunto de dados médios, pode ser explicado, possivelmente, por algum corpo de prova com defeito, pois refere-se a apenas uma unidade amostral do tratamento.

A Calagem e o tratamento de Calagem + P + Desbaste, foram as técnicas que apresentaram as menores dispersões em relação aos valores medianos, esses tratamentos apresentaram menor variação dos valores médios das amostras, sendo assim, são os tratamentos que provavelmente apresentariam os resultados mais próximos ao deste trabalho, levando em consideração a variável Densidade básica, na implantação de outro povoamento florestal de *Bertholletia excelsa*.

### 7.2.3 Estabilidade dimensional

Comparando os valores de variação de retração da madeira em relação aos 6 tratamentos aplicados na área do plantio, constatou-se que essa variável apresentou diferença significativa ( $F = 3.529$ ,  $P < 0.01$ ) entre os tratamentos, como pode ser visto na tabela 7. Seguindo inversamente o mesmo padrão, observou-se que a variação de inchamento da madeira, também apresentou diferença significativa ( $F = 3.598$ ,  $P < 0.01$ ).

Com os resultados de variação de retração e inchamento, foi calculado o índice anisotrópico de cada movimento dimensional, para todos os tratamentos. Os valores obtidos foram submetidos à uma análise de variância, onde constatou-se não haver diferença significativa entre os tratamentos, para a variável índice anisotrópico de retração ( $F = 1.332$ ,  $P > 0.05$ ) e índice anisotrópico de inchamento ( $F = 0.32$ ,  $P > 0.05$ ).

Tabela 7. Resultado da análise de variância das variações da seção transversal e o índice anisotrópico, entre os tratamentos

Varição de Retração (%)	gl	SQ	MQ	F	valor - P
Tratamentos	5	17.67	3.534	3.529	0.0126 *
Resíduo	30	30.04	0.000664		
Varição de Inchamento (%)	gl	SQ	MQ	F	valor - P
Tratamentos	5	28.03	5.606	3.598	0.0114 *
Resíduo	30	46.75	1.558		
Anisotropia de Retração	gl	SQ	MQ	F	valor - P
Tratamentos	5	0.956	0.1913	1.332	0.278
Resíduo	30	4.309	0.1436		
Anisotropia de Inchamento	gl	SQ	MQ	F	valor - P
Tratamentos	5	0.429	0.08586	0.32	0.897
Resíduo	30	8.051	0.26838		

Valor P e significância (0\*\*\* 0.001\*\* 0.01\* 0.05).

O efeito da variação volumétrica, relacionada à retração e inchamento, se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira. Quando estas moléculas são agitas e forçadas a sair, deixam um espaço, e as forças de coesão

tendem a reaproximar as microfibrilas, causando contração da madeira como um todo, causando o mesmo efeito reverso no inchamento da madeira. Assim, é esperado que as madeiras mais densas, por terem maior concentração de células de paredes mais espessas, absorvam ou percam mais água por unidade de volume e, conseqüentemente, tendem a expandir ou retrair mais do que aquelas de menor densidade (OLIVEIRA et al., 2010; SERPA et al., 2003; SILVA; OLIVEIRA, 2003; LIMA et al., 2014).

Fato corroborado com os resultados encontrados para as árvores de *B. excelsa*, onde os tratamentos que apresentaram madeiras mais densas, tiveram maiores variações volumétricas.

Os tratamentos de Calagem, Calagem + P, Calagem + Desbaste e Calagem + P + Desbaste, não apresentaram diferença significativa, a partir do teste de comparação de médias múltiplas (Tabela 8), tendo em vista que apresentaram os melhores resultados de Densidade básica, conseqüentemente com os valores de variação dimensional superior.

**Tabela 8. Valores percentuais médio da variação em retração e inchamento por tratamento**

<b>Tratamentos</b>	<b>Δ Retração (%)</b>	<b>Δ Inchamento (%)</b>
Calagem + P + Desbaste	11,96 a	13,59 a
Calagem + Desbaste	10,81 ab	12,16 ab
Calagem	10,78 ab	12,09 ab
Calagem + P	10,61 ab	11,87 ab
Controle	10,07 b	11,21 b
Desbaste	9,73 b	10,78 b

**Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem pelo teste Tukey (p > 0,05).**

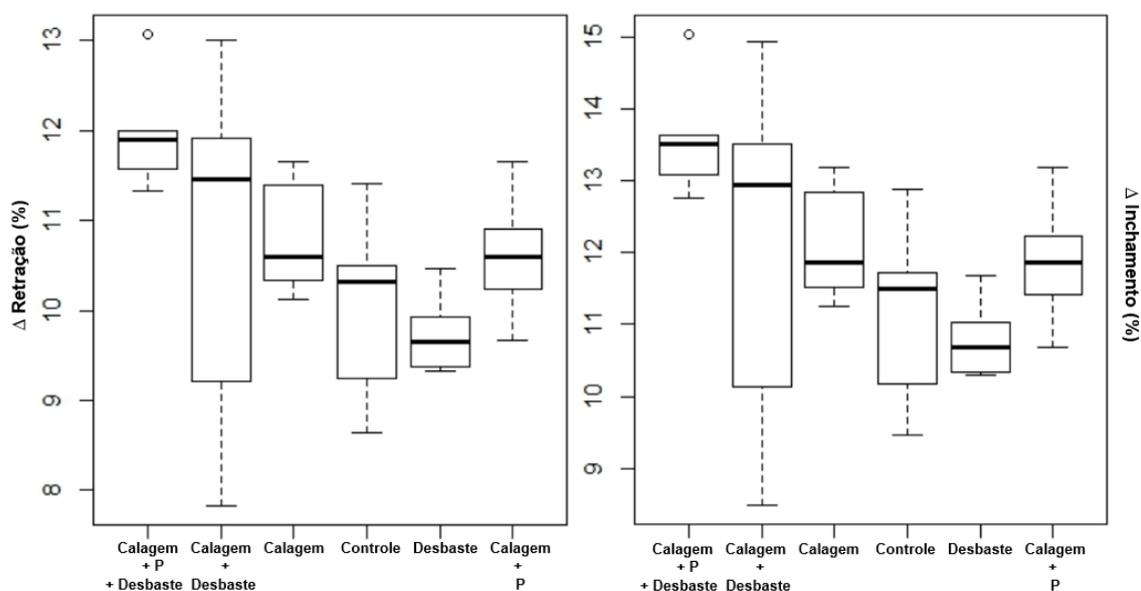
Os tratamentos de Controle e Desbaste, apresentaram menores valores de variação de retração (10,07 %, 9,73 %, respectivamente), não apresentando diferença significativa entre eles, enquanto para indivíduos nativos essas variações chegaram a 13,20 % (IPT 1989).

A associação da menor movimentação dimensional da madeira é condicionada pela presença predominante de madeira juvenil. Os indivíduos oriundos de plantio e que tenham sofrido poucas intervenções silviculturais

possuem proporcionalmente maiores quantidades de lenho juvenil, formadas nos períodos iniciais de crescimento próximo à medula, caracterizando-se como uma madeira com maiores ângulos micro fibrilares da camada S2, maior diâmetro do lume e conteúdo de lignina, menor densidade, resistência e rigidez (BENDTSEN, 1978; BALLARIN; PALMA, 2003; VIDAURRE et al., 2011).

Os diagramas de boxplot da figura 11, mostram a distribuição dos valores médios de Variação dimensional de cada tratamento, a partir dos valores adimensionais obtidos pela divisão dos valores experimentais pelo valor da mediana do respectivo conjunto de dados.

**Figura 11. Análise da Variação dimensional por meio do diagrama de boxplot, para os 6 tratamentos**



Fonte: Autoria própria

Pela figura 11, foi possível observar apenas um valor discrepante (outlier), referindo-se ao tratamento de aplicação de Calagem + P + Desbaste, esse ponto fora dos limites do conjunto de dados médios, pode ser explicado, possivelmente, por algum corpo de prova com defeito, pois refere-se a apenas uma unidade amostral do tratamento.

O Desbaste e o tratamento de Calagem + P + Desbaste, foram as técnicas que apresentaram as menores dispersões em relação aos valores medianos, esses tratamentos apresentaram menor variação dos valores médios das amostras, sendo assim, são os tratamentos que provavelmente resultariam em

menores variações volumétricas da madeira de outros indivíduos plantados homogeneamente desta mesma espécie.

**Tabela 9. Valores médios do Índice anisotrópico, por tratamento**

<b>Tratamentos</b>	<b>Anisotropia Retração</b>	<b>Anisotropia Inchamento</b>
Calagem + P + Desbaste	1.32 a	1.35 a
Calagem + Desbaste	1.30 a	1.31 a
Desbaste	1.06 a	1.49 a
Calagem + P	1.08 a	1.45 a
Calagem	1.53 a	1.56 a
Controle	1.15 a	1.63 a

**Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).**

A tabela acima apresenta os valores médios do índice de variação volumétrica, por tratamento. Interpretando a análise de variância (Tabela 7), seguida do teste de comparações de médias múltiplas (Tabela 9), observamos que não existe diferença significativa entre os tratamentos, ao avaliarmos essa variável.

O tratamento de Calagem + P + Desbaste, que tem apresentado bons resultados em relação as demais propriedades físicas apresentadas neste trabalho, obteve uma média de 1.32 de índice anisotrópico de retração, um valor bem abaixo se relacionarmos com indivíduos nativos, que apresentam uma média 2,0 (IPT 1989), classificando os indivíduos deste trabalho como excelente (Quadro 2).

A importância desse índice, portanto, é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, mais propensa será a madeira a fendilhar e empenar durante as alterações dimensionais provocadas pela variação higroscópica (KLOCK, 2000).

**Quadro 2. Coeficiente de anisotropia dimensional, qualidade e uso da madeira**

Coeficiente de anisotropia em:		Qualidade da madeira	Utilização indicada para a madeira
Retração - $A_r$	Inchamento - $I_r$		
Até 1,50	Até 1,54	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, instrumentos musicais, aparelhos de esporte e etc.
1,50 a 2,00	1,54 a 2,10	Normal	Estantes, mesas, armários e usos que permitam pequenos empenamentos
Acima de 2,00	Acima de 2,10	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha e etc.

Fonte: LOGSDON et al., (2008)

### 7.3 Propriedades Mecânicas

#### 7.3.1 Valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) para Flexão Estática

Comparando os valores do Módulo de elasticidade (MOE) e Módulo de ruptura (MOR) da madeira de *Bertholletia excelsa*, em relação aos 6 tratamentos aplicados na área do plantio, constatou-se que essas variáveis apresentaram diferença significativa ( $F = 14.24$ ,  $P < 0.0001$  - MOE), ( $F = 8.703$ ,  $P < 0.0001$  - MOR), como pode ser observado na tabela 10.

Associando a variação dos valores de Flexão estática, CALIL JÚNIOR et al. (2000), argumentam que na análise das propriedades da madeira, devem-se considerar fatores relacionados ao ambiente em que a madeira se encontrava antes de seu corte, tais como densidade e tipo de manejo aplicado ao povoamento, incidência de chuvas e a localização da árvore, que podem gerar alterações nas propriedades mecânicas da madeira formada até mesmo em árvores da mesma espécie.

Embora essas variações sejam comuns em pesquisas dessa natureza, as intervenções silviculturais e de manejo, bem como as diferenças edafoclimáticas regionais também contribuem para as desigualdades tecnológicas (SANTINI et al., 2000).

A resposta dos indivíduos aos tratamentos, possivelmente, acarretou diferenciação química e física nas árvores coletadas, causando variação em sua estrutura anatômica, possivelmente causando variação nos valores de resistência a Flexão estática.

**Tabela 10. Resultado da análise de variância do MOE e MOR para o ensaio de flexão estática, entre os tratamentos.**

<b>Fe MOR (MPa)</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor - p</b>
<b>Tratamentos</b>	5	6282	1256.3	8.703	9.58e-05 ***
<b>Resido</b>	23	3320	144.3		
<b>Fe MOE (MPa)</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor - p</b>
<b>Tratamentos</b>	5	153441615	30688323	14.24	2.12e-06 ***
<b>Resido</b>	23	49564663	2154985		

**Valor P e significância (0\*\*\* 0.001\*\* 0.01\* 0.05)**

Os valores do ensaio de Flexão estática atenderam as premissas de normalidade, calculada a partir do teste de Shapiro-Wilk, ( $W = 0.986$ ,  $p = 0.146$  para o Módulo ruptura e  $W = 0.9792$ ,  $p = 0.8176$  para o Módulo elasticidade), e coeficiente de variação de 13.57 % (MOR) e 11.34 % (MOE).

Os tratamentos de Desbaste, Calagem + Desbaste, e Calagem + P + Desbaste, não apresentaram diferença significativa, a partir do teste de comparação de médias múltiplas (Tabela 11), tendo em vista que apresentaram os maiores resultados para o Módulo de ruptura.

Corroborando com o estudo de Haselein et al. (2002), que verificou o efeito da adubação nas propriedades de flexão estática em madeira verde e seca de *Eucalyptus saligna* de 10 anos de idade, constatando efeitos significativos sobre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura. Concluíram que, quanto maior a dose de adubação, maiores os valores absolutos das propriedades.

**Tabela 11. Valores médios do módulo de elasticidade e ruptura, no ensaio de Flexão estática, por tratamento**

Tratamentos	Fe MOR (MPa)	Fe MOE (MPa)
Calagem + P + Desbaste	104.77 a	17495.04 a
Calagem + Desbaste	102.99 a	14570.89 ab
Desbaste	97.81 a	12672.91 bc
Calagem + P	90.29 ab	12417.68 bc
Calagem	71.28 b	11499.13 c
Controle	67.34 b	9938.36 c

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).

O módulo de ruptura (MOR), forma convencional de avaliação da resistência à flexão, importante responsável por conferir a capacidade de carregamento em peças estruturais na forma de vigas, comportou-se de forma satisfatória, apresentado maior homogeneidade nos resultados dos tratamentos que tiveram interação das técnicas de desbaste, calagem e fertilização fosfatada. Destacando-se o tratamento de Calagem + P + Desbaste, que apresentou o valor de 104,77 (MPa), um pouco inferior ao encontrado para castanheira nativa pelo IPT (1989) de 116,0 MPa, porém, superior aos valores encontrados para outras espécies da família Lecythidaceae, como por exemplo, as espécies *Tauari couratari* e *Lecythis sapucaya* que apresentaram valores de 88,8 MPa e 101 MPa, respectivamente.

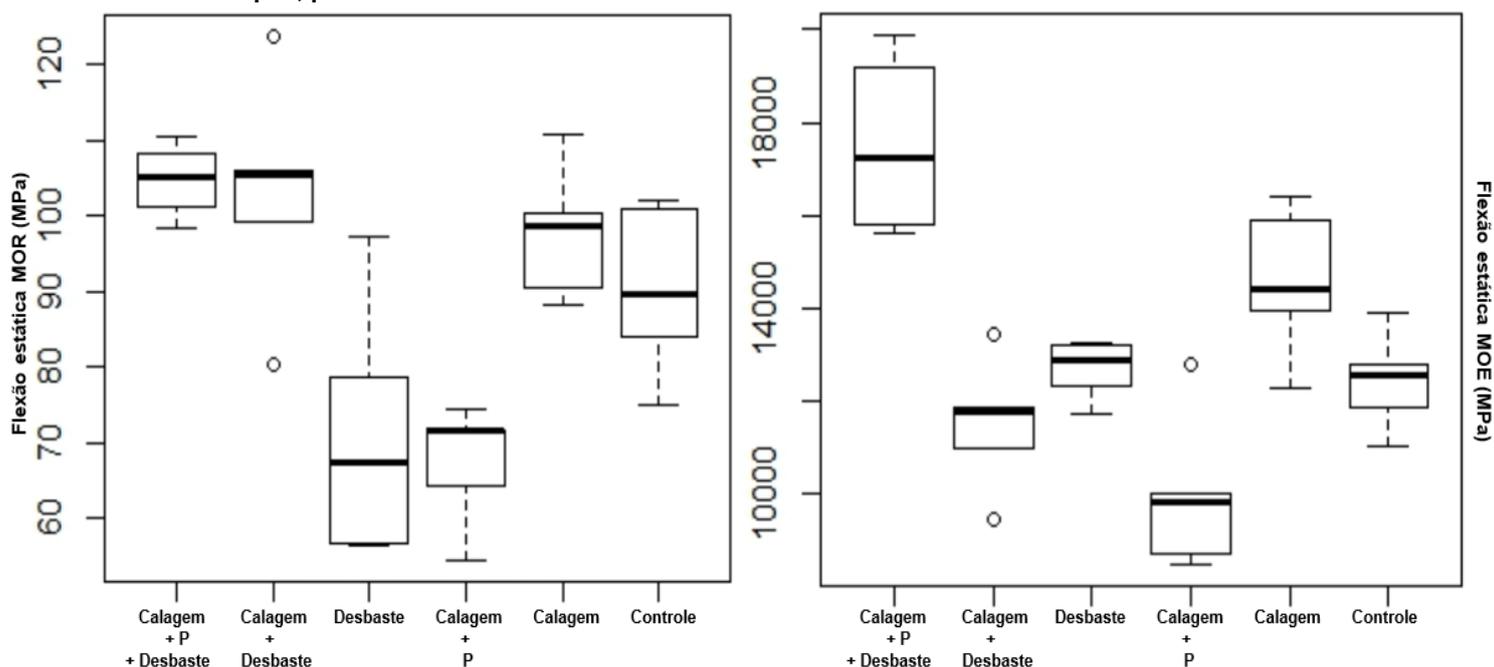
As mesmas observações feitas para o módulo de ruptura (MOR) podem ser aqui aplicadas ao módulo de elasticidade (MOE). No entanto, as amostras demonstraram maior heterogeneidade nos resultados entre todos os tratamentos. Conforme observado nas médias de MOE (Tabela 13). O tratamento de maior destaque foi o de interação Calagem + P + Desbaste, apresentando valor de 17.495,04 (Mpa), resultado superior a Castanheira nativa que foi de 12.553 Mpa (IPT 1989). O IPT encontrou para as espécies de *Tauari couratari* e *Lecythis sapucaya*, ambas pertencentes a família Lecythidaceae, respectivamente 10.591 e 8.875 Mpa.

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira,

pois representa a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da madeira (SCANAVACA JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Os diagramas de boxplot da figura 12, mostram a distribuição dos valores médios de Variação do módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), de cada tratamento, a partir dos valores adimensionais obtidos pela divisão dos valores experimentais pelo valor da mediana do respectivo conjunto de dados.

**Figura 12. Análise da Variação módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), por meio do diagrama de boxplot, para os 6 tratamentos**



Fonte: Autoria própria

Por esses diagramas foi possível perceber a distribuição dos dados, e amplitude dos valores máximos e mínimos obtidos nos ensaios para as peças de cada tratamento, que consequentemente afetaram os valores característicos calculados.

Para os valores de MOR, percebeu-se que o tratamento Calagem + Desbaste apresentou alguns valores discrepantes (outliers), fora dos limites do conjunto de dados médios. Foi observado que o tratamento Calagem + P + Desbaste, obteve os maiores valores médios de módulo de ruptura, com menor dispersão de dados em relação aos demais tratamentos.

Para os valores de MOE, percebeu-se que os tratamentos de Calagem + Desbaste e Calagem + P, apresentaram alguns valores fora da curva mediana

(outliers). Foi observado que o tratamento de Desbaste, apresentou menor dispersão de dados em relação aos demais tratamentos, e com resultados médios de módulo de elasticidade, (Tabela 11), similares ao valor referente a indivíduos nativos (IPT 1989).

### 7.3.2 Valores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) para Compressão Paralela às fibras

Comparando os valores do Módulo de elasticidade (MOE) e o Módulo de ruptura (MOR) para compressão paralela da madeira de *Bertholletia excelsa*, em relação aos 6 tratamentos aplicados na área do plantio, constatou-se que essas variáveis não apresentaram diferença significativa ( $F = 0.96$ ,  $P > 0.05$  - MOE), ( $F = 1.515$ ,  $P > 0.05$  - MOR), como pode ser observado na tabela 12.

Corroborando a variação não significativa dos valores de Compressão paralela, Gonçalves et al. (2004), realizaram vasta revisão bibliográfica sobre os efeitos de tratamentos silviculturais (adubação, espaçamento, controle de ervas daninhas e desbastes) na produtividade e qualidade da madeira em plantações de eucalipto, e concluíram que não há regra específica para explicar o efeito de diferentes tratamentos silviculturais nas propriedades mecânicas da madeira, por exemplo. Afirmaram que fatores ambientais, como disponibilidade de luz, pluviosidade e temperatura, causam efeitos mais significativos na composição da madeira.

**Tabela 12. Resultado da análise de variância do MOE e MOR para o ensaio de compressão paralela, entre os tratamentos.**

<b>Cp MOR (MPa)</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor - P</b>
<b>Tratamentos</b>	5	97.47	19.49	1.515	0.222
<b>Resido</b>	24	308.83	12.87		
<b>Cp MOE (MPa)</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor - P</b>
<b>Tratamentos</b>	5	3099165	619833	0.96	0.462
<b>Resíduo</b>	24	15496032	645668		

Valor P e significância (0\*\*\* 0.001\*\* 0.01\* 0.05)

Os valores do ensaio de Compressão paralela atenderam as premissas de normalidade, calculada a partir do teste de Shapiro-Wilk, ( $W = 0.954$ ,  $p = 0.212$  para o Módulo ruptura e  $W = 0.941$ ,  $p = 0.095$  para o Módulo elasticidade), e coeficiente de variação de 7.68% (MOR) e 16.67% (MOE).

Os tratamentos não apresentaram diferença significativa, contudo foram classificados a partir do teste de comparação de médias múltiplas (Tabela 13), apresentando os resultados com valores médios de cada tratamento para o Módulo de ruptura e elasticidade no ensaio de Compressão paralela.

**Tabela 13. Valores médios do módulo de elasticidade e ruptura, no ensaio de Compressão paralela, por tratamento.**

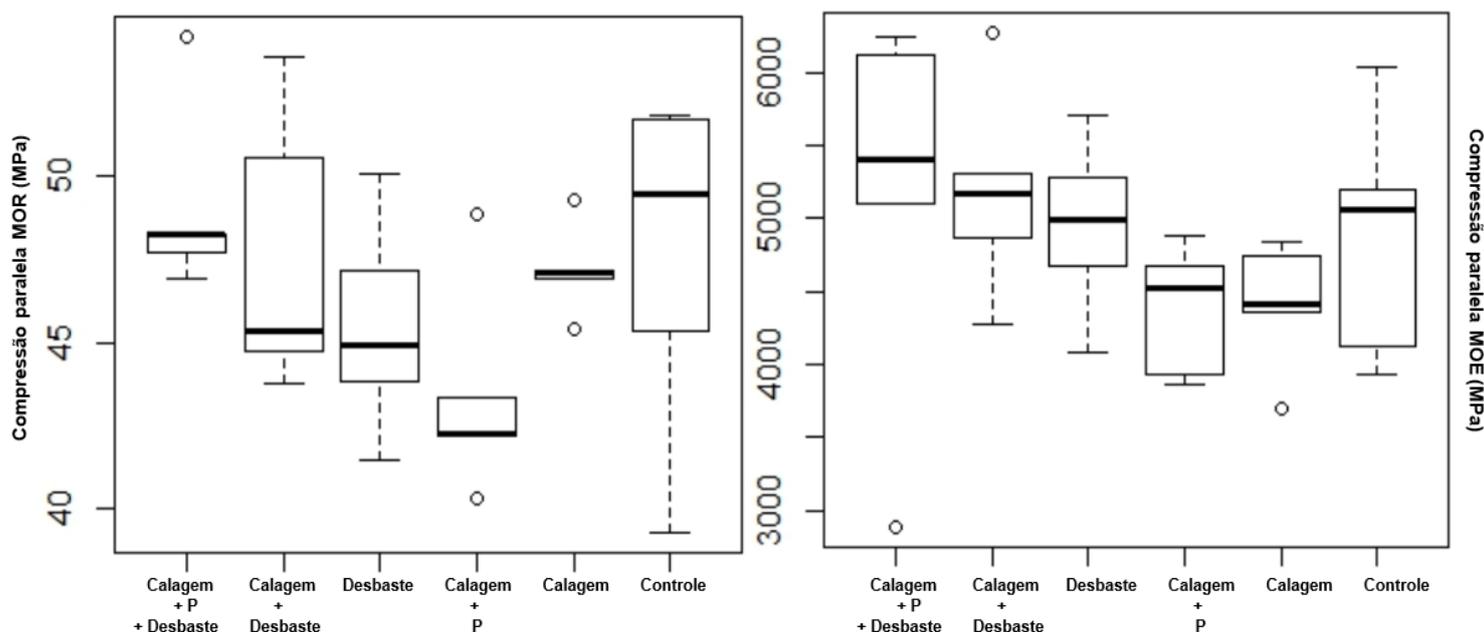
<b>Tratamentos</b>	<b>Cp MOR (MPa)</b>	<b>Cp MOE (MPa)</b>
Calagem + P + Desbaste	49.034 a	5173.346 a
Calagem + Desbaste	47.562 a	5150.514 a
Calagem + P	47.504 a	4945.696 a
Desbaste	47.152 a	4869.030 a
Calagem	45.482 a	4409.076 a
Controle	43.388 a	4374.266 a

**Médias seguidas por uma mesma letra na linha, não diferem pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).**

O conhecimento da resistência à Compressão paralela é importante quando se utiliza a madeira para colunas e treliças. Os dados apresentaram maior homogeneidade nos resultados de MOR e MOE para os tratamentos que tiveram interação das técnicas de desbaste, calagem e fertilização fosfatada, esses tratamentos apresentaram média de 47,81 e 5034,65 Mpa (MOR e MOE, respectivamente), sendo o valor de Módulo de ruptura um pouco inferior ao encontrado para indivíduos nativos de pelo IPT (1989) de 58,3 MPa.

Os diagramas de boxplot da figura 13, mostram a distribuição dos valores médios de Variação do módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), de cada tratamento, a partir dos valores adimensionais obtidos pela divisão dos valores experimentais pelo valor da mediana do respectivo conjunto de dados.

Figura 13. Análise da Variação do módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), por meio do diagrama de boxplot, para os 6 tratamentos



Fonte: Autoria própria

Por esses diagramas foi possível perceber a distribuição dos dados, e amplitude dos valores máximos e mínimos obtidos nos ensaios para as peças de cada tratamento, que conseqüentemente afetaram os valores característicos calculados.

Para os valores de MOR, percebeu-se que o tratamento Calagem + P apresentou alguns valores mais discrepantes (outliers), fora dos limites do conjunto de dados médios, ignorando esses valores fora da curva, observou-se que os tratamentos de Calagem e Calagem + P + Desbaste, obtiveram as menores variações entre os dados, indicando haver menor variabilidade na madeira, o que a torna de melhor qualidade em relação a essa propriedade.

Para os valores de MOE, percebeu-se que alguns tratamentos, apresentaram valores fora da curva mediana (outliers), ignorando esses valores fora da curva, observou-se que o tratamento de Calagem, obteve a menor variação entre os dados, indicando haver menor variabilidade na madeira, o que a torna de melhor qualidade em relação a essa propriedade.

## 8. CONCLUSÃO

Os tratamentos aplicados influenciam diretamente nas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

O tratamento Calagem + P + Desbaste, foi o que apresentou os melhores resultados dentre as propriedades testadas no geral, porém, relacionando com questões econômicas, a aplicação apenas do Desbaste resulta em valores satisfatórios, se considerarmos a disponibilidade de luz o fator mais limitante para crescimento e aprimoramento das propriedades tecnológicas da madeira de *Bertholletia excelsa*.

Essa espécie apresenta baixas taxas de variação volumétrica, com a densidade básica da madeira classificada como média e com valores de resistência mecânicos medianos, sendo assim indicada para uso comercial, tais como, embalagens, pallets, pequenos objetos de madeiras, exceto uso estrutural;

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7190: Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ALVAREZ-CLARE, S.; Mack, M. C.; Brooks, M. 2013. **A direct test of nitrogen and phosphorus limitation to net primary productivity in a lowland tropical wet forest**. Ecology, v. 94, n. 7, p. 1540-1551.

ANDRADE, A.M. et al. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto**. Revista Árvore, v.18, n.1. p.69-78, 1994.

ARAGÃO, L. E. O.; Malhi, Y.; Metcalfe, D. B.; Silva-Espejo, J. E.; Jiménez, E.; Navarrete, D.; Almeida, S.; Costa, A. C. L.; Salinas, N.; Phillips, O. L.; Anderson, L. O.; Alvarez, E.; Baker, T. R.; Gonçalves, P. H.; Huamán-Ovalle, J.; Mamani-Solórzano, M.; Meir, P.; Quesada, C. A.; Rozas-Dávila, A.; Rudas, A.; Silva Jr., J. A.; Vásquez, R. 2009. **Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils**. Biogeosciences, Göttingen, v. 6, s. n., p. 2759-2778.

BAKER, T.R.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Fiore, A.; Erwin, T.; Killen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Lloyd, J. 2004. **Variation in wood density determines spatial patterns in amazonian forest biomass**. Global Change Biology, 10: 545-562.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. **Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L.** Revista Árvore, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BATISTA, I. M. P. 2014. **Recomendação de calagem para alguns solos do estado do Amazonas**. Tese de Doutorado em Agronomia Tropical. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 30 p.

BENDTSEN, B. **Properties of wood from improved and intensively managed trees**. Forest Products Journal, Madison, v. 28, n. 10, p. 61-72, 1978.

BLANCO J.A.; Imbert J.B.; Castillo F.J. 2008. **Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities**. Forest Ecology Management, v. 256, s. n., p. 1840-1852.

CALIL JÚNIOR, C.; BARALDI, L.T.; STAMATO, G. C.; FERREIRA, N. S. S. **Estruturas de madeira**. São Carlos: USP – Departamento de Engenharia de Estruturas, 2000.101p.

CAMPOE, O.C.; Luiz Stape, J.; Nouvellon, Y.; Laclau, J.-P.; Bauerle, W.L.; Binkley, D.; et al. 2013. **Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil**. Forest Ecology and Management 288: 14–20.

CARRASCO, E.V.M. **Estruturas Usuais de Madeira**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 2004.

CLEVELEND, C. C.; Townsend, A. R.; Taylor, P.; Alvarez-Clare, S.; Bustamante, M. M. C.; Chuyong, G.; Dobrowski, S. Z.; Grierson, P.; Harms, K. E.; Houlton, B. Z.; Marklein, A.; Parton, W.; Porder, S.; Reed, S. C.; Sierra, C. A.; Silver, W. L.; Tanner, E. V. J.; Wieder, W. R. 2011. **Relationships among net primary productivity, nutrients and climate in tropical rain forest: a pan-tropical analysis**. Ecology Letters, v. 14, s. n., p. 939-947.

COELHO, V. C. M.; Hosokawa, R. T. 2010. **Avaliação da reação de crescimento aos desbastes em *Pinus taeda* L**. Revista Agro@mbiente, v. 4, n. 1, p. 42-48.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.

CORRÊA, V.M. 2013. **Crescimento, aspectos nutricionais e fotossintéticos de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* H. B. submetidas à diferentes tratamentos de fertilização**. 42p, ([http://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/1561/2/Dissertação\\_Viviane Maia Corrêa.pdf](http://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/1561/2/Dissertação_Viviane%20Maia%20Corr%C3%AAa.pdf)).

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.

COSTA, K. C. P. da. 2015. **Características ecofisiológicas e crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em plantio florestal submetido ao desbaste**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 50 p.

COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. P.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. P. F. **Amostragens longitudinais alternativas para determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus sp.*** Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 184-193, 2012.

DINIZ, T. D.; Bastos, T. X. 1974. **Contribuição ao conhecimento do clima típico da castanha-do-Brasil**. Boletim técnico 64, IPEAN. 19 p.

DOWNES, G. M.; RAYMOND, C. A. Variation in wood density in plantation eucalypts. In: DOWNS, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Melbourne: CSIRO Publishing, p. 88-99, 1997.

EVANS, J. W., SENFT, J. F., GREEN, D. W. **Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones**. Forest Products Journal, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FERREIRA, L. 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. 393-40.

FINGER, C. A.; Schneider, P. R. 1999. **Determinação do peso do desbaste para floresta de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo.** Ciência Florestal, v. 9, n. 1, p. 79-87.

FINGER, F. A.; FINGER, Z.; LOGSDON, N. B. **Qualificação da madeira de Teca, *Tectona grandis* L. f. oriunda do primeiro desbaste comercial, com vistas a seu aproveitamento.** Madeira: Arquitetura e Engenharia, ano 4, n.10, jan/abril, 2003.

FOELKEL, C.E.B.; Brasil, M.A.M.; Barrichelo, L.E.G. 1971. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas.** Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2/3: 67-74.

FOREST PRODUCTS LABORATORY \_ FPL. **Wood handbook: Wood as an engineering material.** Washington: U.S.D.A., 466p. (Agriculture Handbook, 72). 1987.

FORRESTER, D. I.; Stephen, R. E.; Thomas, G. B. 2012. **Tree growth-competition relationships in thinned *Eucalyptus* plantations vary with stand structure and site quality.** Journal Forest Research, n. 1, p. 241-252.

FORRESTER, D. I.; Collopy, J. J.; Beadle, C. L.; Baker, T. G. 2013 a. **Effects of thinning, pruning and nitrogen fertilizer application light interception and light-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation.** Forest Ecology and Management, v. 288, p. 21-30.

GLASS, S.; ZELINKA; S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: ROSS, R. (Ed.) Wood Handbook: **Wood as an Engineering Material.** Madison: UDSA Forest Service, 2010. p.4-1-4-19. (FPL General Technical Report, 190).

GLASS, S.V.; Zelinka, A.L. 2010. **Moisture relations and physical properties of wood.** General Technical Report FPL- GTR. 190: 20 pp.

GOMES, A. R. S.; CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALES, J. C.; SANTOS, L. C. **Espécies alternativas de madeiras para a indústria moveleira.** Revista da Madeira. Curitiba, n. 128, 2011.

GOMES, I. B. 2012. **Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas à fertilização em plantio**

**homogêneo.** Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 61 p.

GOUDIABY, V.; Brais, S.; Grenier, Y.; Berninger, F. 2011. **Thinning effects on jack pine and black spruce photosynthesis in eastern boreal forest of Canada.** Silva Fennica, v. 45 n. 4, p. 596-609.

HAN, Q.; Chiba, Y. 2009. **Leaf photosynthetic responses and related nitrogen changes associated with crown reclosure after thinning in a young Chamaecyparis obtusa stand.** J For Res, v. 14, s. n., p. 349-357.

HASELEIN, C. R. et al. **Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de Eucalyptus saligna Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação.** Revista Ciência Florestal, v.12, n.2, p.147-152, 2002.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Florestas plantadas: bases para a política nacional.** Número 01 | JUN 2014.

INAGAKI, Y.; Kuramoto, S.; Torii, A.; Shinomiya, Y.; Fukata, H. 2008. **Effects of thinning on leaf-fall and leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress (Chamaecyparis obtusa Endlicher) plantation stands in Japan.** Forest Ecology and Management, v. 255, s. n., p. 1859-1867.

INMET 2016. <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso: 02/02/2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Madeira: O que é e como pode ser processada e utilizada.** São Paulo, 189 p., 1985.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Substituição da madeira de castanheira (Bertholletia excelsa Humb e Bonpl.).** São Paulo, 12 p., 1989.

KAINER, K.A.; Wadt, L.H.O.; Staudhammer, C.L. 2018. **The evolving role of Bertholletia excelsa in Amazonia: contributing to local livelihoods and forest conservation.** Desenvolvimento e Meio Ambiente 48.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de Pinus maximinoi H. E. Moore.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal - Ciências Florestais. Curitiba-PR, 2000

- KOCHIAN, L. V. 2012. Rooting for more phosphorus. *Nature*, v. 488, n. 23, p. 466-467.
- KOLLMANN, F.R. & COTÉ, W.A., **Principles of Wood science and technology**. Berlin, Springer-Verlag. 592p., 1968.
- KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica, México. 479 p.
- LAMBERS, H.; Plaxton, W. 2015. **Phosphorus: back to the roots**. *Annual Plant Reviews*, v. 48, s. n., p. 3-22.
- LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; ZANATA, M.; FLORSHEIM, S. M. B.; BORTOLETTO JR., G. **Physical-mechanical and anatomical characterization in 26-year-old Eucalyptus resinifera wood**. *Floresta e Ambiente, Seropédica*, v. 21, n. 1, p. 91-98, 2014.
- LOCATELLI, M.; Souza, V. F. 1990. Castanha-do-brasil - **Características agrônomicas, produção de mudas e propagação vegetativa**. Circular Técnica, 17, EMBRAPA/UEPAE, Porto Velho, Rondônia. 13 p.
- LOGSDON, N.B.; Calil Junior, C. 2002. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, 18: 77-107.
- LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; PENNA, E. S. **Caracterização físico-mecânica da madeira de Cedro-marinho, Guarea trichilioides L. (Meliaceae)**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 43-51, 2008.
- LONGUI, E. L.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; MELO, A. C. G.; ROMEIRO, D.; SUCKOW, I. M. S.; TESTONI, L. N. **Estrutura do lenho de Plathymentha reticulata e algumas implicações na eficiência hidráulica e resistência mecânica**. *Floresta, Curitiba* v. 42, n. 2, p. 335-346, 2012.
- LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. **Densidade básica e umidade natural da madeira de Eucalyptus saligna Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população**. *IPEF*, n. 62, p. 13-23, 2002.
- LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. E.; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. INPA. VI: 121-125, 1979.

MALAN, F. S. Eucalypts improvement for lumber production. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA**, São Paulo, 1995. Anais...Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, 1995.p.1-19.

MALHI, Y.; Wood, D.; Baker, T.R.; Wright, J.; Phillips, O.L.; Cochrane, T.; Meir, P.; Chave, J.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Higuchi, N. 2006. **The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests**. Global Change Biology, 12: 1107-1138.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento de Estruturas em Madeira - Coberturas e Pavimentos**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

MELLO, Sérgio Luis de Miranda and GONCALVES, José Leonardo de Moraes. **Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas**. Rev. Árvore vol.32, n.1, p. 101-111, 2008.

MIRANDA, M. C.; CASTELO, P. A. R.; MIRANDA, D. L. C.; RONDON, E. V. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke**. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2012.

MONTE, M. A.; Reis, M. d.; Reis, G. G.; Leite, H. G.; Cacau, F. V.; Alves, F. D. 2009. **Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste**. Revista Árvore, v. 33, n. 5, p. 777-787.

MOORE, J-D.; Ouimet, R.; Duschesne, L. 2012. **Soil and sugar maple response 15 years after dolomitic lime application**. Forest Ecology and Management, v. 281, s. n., p. 130-139.

MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O; VALE, A. T.; SOUZA, M. R. **Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. hondurensis implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Boletim de pesquisa e desenvolvimento 251. 20p. 2009.

- MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 175p. 2010.
- MORI, S. A, 2014 . Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). (<http://www.eoearth.org/view/article/150770>). Acessado em: 22/03/2014.
- NOVAIS, R.F.; Smyth, T.J.; Nunes, F.N. Fósforo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-537.
- MULLER-Landau, H.C. 2004. **Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees**. *Biotropica*, 36 (1): 20-32.
- MYERS, G.P.; Newton, A.C.; Melgarejo, O. 2000. **The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia**. *Forest Ecology and Management* 127: 119–128.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.
- OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. **Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto**. *Revista Árvore*, v.29, n.1, p.115-127, 2005.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira**. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. *Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro*. Vitória: Aquarius, p. 129-163, 2007.
- OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. **Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus***. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.
- ONYEKWELU, J. C.; Stimm, B.; Evans, J. 2011. Review Plantation Forestry. In: G. S. **Silviculture in the tropics**. Springer-Verlag, Berlim. p. 399-454.

- OUIMET, R.; More, J-D. 2015. **Effects of fertilization and liming on tree growth, vitality and nutrient status in boreal balsam fir stands**. Forest Ecology and Management, v. 345, s. n., p. 39-49.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. Text **book of wood technology**. 4 ed. New York: 722p., 1980.
- PAULA, J. E.; COSTA, K. P. **Densidade da madeira de 932 espécies nativas do Brasil**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2011. 324p.
- PUNCHES, J.; COUNTRY, D. Tree growth, **forest management and their implications for wood quality**. Roseburg: Pacific Northwest Extension Publication, 2004. p.245-253.
- ROCHA, J. S.; DE PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. **Flexão estática em amostras livres de defeitos**. Acta Amazônica, 18 (1-2). p. 147-162, Manaus-AM, 1988.
- ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. Curitiba, 185p., Tese de doutorado – Universidade Federal do Paraná. 2000.
- SALES, A. **Proposição de classes de resistência para madeira**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, 1996.
- SALOMÃO, R. de P.; Santana, A. C. de, Brienza Junior, S.; Rosa, N. de A.; Precinoto, R. S. 2014. **Crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castanheira) na Amazônia trinta anos após a mineração de bauxita**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., v. 9, n. 2, p. 307-320.
- SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D.A. **Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas**. Ciência Florestal, v. 10. n. 1, p. 85-93, 2000.
- SCANAVACA JR, L. e GARCIA, J. N. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla***. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 65, p. 120 - 129, 2004.

SCHROTH, G.; Mota, M. do S. da; Elias, M.E. de A. 2015. **Growth and nutrient accumulation of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in agroforestry at different fertilizer levels.** Journal of Forestry Research 26: 347–353.

SCOLES, R.; Gribel, R. 2011. **Population Structure of Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, *Lecythidaceae*) Stands in Two Areas with Different Occupation Histories in the Brazilian Amazon.** Human Ecology 39: 455–464.

SCOLES, R.; Gribel, R. 2012a. **The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil.** Forest Ecology and Management 265: 71–81.

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.

SERPA, P. N.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.** Revista Árvore, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 723-733, 2003.

SERVOLO FILHO, H. J. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* - RRIM600 E GT1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais. Piracicaba-SP, 2013.

SILVA, J. C. e OLIVEIRA, J. T. S. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SORIANO, J.; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C. TRINCA, A. J. **Aplicações do método de ensaio esclerométrico em peças de *Eucalyptus saligna*.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. vol.15. n.3 Campina Grande, 2011.

SOTELO MONTES, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAULIEU, J. **Radial variation in wood density and correlations with growth of *Calycophyllum spruceanum***

**at an early age in the Peruvian Amazon.** Wood and Fiber science, Madison, v. 39, n. 3, p. 377-387, 2007.

STURGES, H.A. 1926. **The choice of a class interval.** Journal of the American Statistical Association 21: 65–66.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. **Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima - andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.).** Revista Acta Amazônica. vol.35 n. 3. Manaus-AM, 2005.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. **Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.**

VIGNOTE PEÑA, S. & JIMÉNEZ PERIS, F.J. **Tecnología de la Madera. 2ª** Edición, Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentacion. Mundi-Prensa, 2000  
WEST, P. W. **Growing plantation Forest.** 2. ed. New York: Springer, 2014. 332 p.

YANG, X.; Thornton, P. E.; Ricciuto, D. M.; Post, W. M. 2014. **The role of phosphorus dynamics in tropical forests – a modeling study using CLM-CNP.** Biogeosciences, v. 11, s. n., p. 1667-1681.

YARED, J.A.G. **Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia,** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO; 6 1990, Campos do Jordão. Anais... Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1990 V. 1 p. 119-122.

YARED, J.A.G.; KANASHIRO, M.; VIANA, L. M.; CASTRO, T.C.A . de; PANTOJA, J. R. de S. **Comportamento silvicultural de castanheira (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) em diversos locais da Amazônia.** In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, 1993, Curitiba-Pr. Anais... Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1993 v.2 p.416-419.