



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**ANTÔNIA GEICIANE SILVA DE OLIVEIRA DANTAS**

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE OCO EM ÁRVORES DE UMA FLORESTA**  
**OMBRÓFILA Densa NA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA**

**Orientador:** Prof. D. Phil José Natalino Macedo Silva  
**Co- orientador:** Prof Dr Hassan C. David

**BELÉM- PA**

**2021**

**ANTÔNIA GEICIANE SILVA DE OLIVEIRA DANTAS**

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE OCO EM ÁRVORES DE UMA FLORESTA  
OMBRÓFILA DENSA NA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em ciências florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Dr. José Natalino Macedo Silva  
Co-orientador: Dr. Hassan C. David

**BELÉM- PA**  
**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- 
- D192e Dantas, Antônia Geiciane Silva de Oliveira  
Estimativa do Volume de Oco em Árvores de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Oriental Brasileira / Antônia Geiciane Silva de Oliveira Dantas. - 2021.  
41 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.  
Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Hassan C. David.
1. Exploração Florestal. 2. Deterioração da Madeira. 3. Oco nos Troncos. 4. Volume do Oco.  
I. Silva, José Natalino Macedo, *orient.* II. Título
- 

634.9098115

CDD

## DEDICO

A Deus por ter me dado o dom da vida. Aos meus pais Luiz Gonzaga e Maria das Graças, ao meu esposo Hadley Dantas e ao meu filho Francisco por me apoiarem todos os dias.

## AGRADECIMENTOS

À Deus “meu pai eterno” a qual me permitiu galgar e conquistar mais uma jornada.

À UFRA e todo o corpo docente, cujos ensinamentos me moldaram como profissional.

Ao Dr. José Natalino Macedo Silva pela orientação desta dissertação, ensino, e confiança depositada.

Ao Dr. Hassan C. David pela compreensão e por todos os ensinamentos.

Aos meus pais, Luiz Gonzaga e Maria das Graças que se doaram a minha criação ultrapassando todos os limites das dificuldades e com a mais bela expressão de amor e respeito me educaram.

Ao meu esposo Hadley Solano Dantas, meu maior incentivador, amigo e verdadeiro amor.

À “minha herança” dada por Deus, meu filho Francisco Lucas, que apesar de pouca idade me apoiou, compreendeu minha ausência e assim como seu pai me incentivou.

Às minhas amigas conquistadas durante a graduação, que continuam comigo durante a vida, me mostrando como é importante continuar lutando. Obrigada pela amizade e amor peculiar de cada uma, Alynne, Raylane e Taiane.

À Empresa EBATA PRODUTOS FLORESTAIS LTDA pela cessão dos dados utilizados nesta dissertação, como parte do Acordo de Cooperação Técnica de número 06/2018, processo número 23084.020633/2018-94, firmado entre aquela empresa e a Universidade Federal Rural da Amazônia.

À Engenheira Florestal Vivian Barroso Almeida pelo apoio na cessão do banco de dados e pelas explicações passadas sobre ele.

*Por isso não desanimamos. Embora exteriormente estejamos a desgastar-nos, interiormente estamos sendo renovados dia após dia, pois os nossos sofrimentos leves e momentâneos estão produzindo para nós uma glória eterna que pesa mais do que todos eles.*

*Bíblia sagrada (2 Coríntios 4: 16-17)*

## RESUMO

A ocorrência de oco em árvores da floresta amazônica, em muitos casos, pode ser expressiva e impactar negativamente a produção de madeira em florestas manejadas. Neste contexto, o uso de modelos matemáticos para estimar o volume de oco dos troncos em árvores em pé, em inventários para determinação dos estoques, pode ajudar na estimativa dos volumes líquidos. O objetivo do estudo foi de investigar e avaliar a viabilidade de uso de modelos matemáticos para estimar volumes de ocos em uma floresta ombrófila densa situada no oeste do estado do Pará, Amazônia brasileira. Foram calculados os volumes dos ocos de 532 árvores amostra de dezessete espécies comerciais. Para estimar o volume de oco foram testados três modelos lineares e três modelos linearizados, comumente utilizados na estimativa de volume de troncos foram testados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Os modelos foram ajustados para o conjunto de todas as espécies do banco de dados para obter equações gerais e especificamente para a espécie *Manilkara elata*. Duas estratégias foram aplicadas para testar os modelos: o volume do oco foi estimado tendo como variáveis independentes o diâmetro D do oco e seu respectivo comprimento - estratégia A, e o DAP e comprimento do oco – estratégia B. Os critérios usados para a avaliação dos modelos foram o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), menor erro padrão da estimativa porcentagem e (Syx%) e distribuição homogênea dos resíduos. Os melhores ajustes foram obtidos com os modelos de Schumacher & Hall linearizados e com o de Spurr em sua forma linear. Os resultados foram semelhantes para *Manilkara elata*. Em todos os modelos testados a distribuição dos resíduos não foi homogênea. Como o foco principal da pesquisa foi o de estimar o volume de ocos em árvores em pé, e dada a impossibilidade de fazer a estimativa do comprimento do oco no campo, recomenda-se a aplicação das equações apenas para estimar os volumes de oco de árvores derrubadas. Recomenda-se também a continuidade deste estudo com um banco de dados mais robusto, tendo um maior número de árvores amostras nas menores e nas maiores classes de diâmetro do oco na tentativa de melhorar a precisão das estimativas. O uso de técnicas de aprendizagem de máquinas tais como as redes neurais artificiais pode ser um caminho a ser seguido.

**Palavras chave:** Modelagem, Análise de regressão, Defeitos em árvores.

## ABSTRACT

The occurrence of hollows in trees in the Amazon rainforest, in many cases, can be expressive and has a negative impact on the production of timber in managed forests. In this context, the use of mathematical models to estimate the volume of hollows in standing tree boles in stock surveys, can help on estimating of the net standing volume. The aim of the study was to investigate and evaluate the feasibility of using mathematical models to estimate volume of tree hollows in a tropical rain forest in the western Pará State, Brazilian Amazon. Hollow volumes were calculated for 532 sample trees of 17 commercial species. To estimate hollow volumes, three linear and three linearized mathematical models commonly used to estimate volumes of tree boles were tested by the Ordinary Least Squares Method (OLS). The models were tested for the set of all species thus generating a general equation, and one specific equation for *Manilkara elata*. Two strategies were applied to test the models: the hollow volume was estimated having as independent variables the diameter D of the hollow of the hollow and its corresponding length (h) - strategy (A), and the DBH and the length of the hollow – strategy B. The criteria used for selecting the best models were the highest determination coefficient ( $R^2$ ), the lowest standard error of the estimate percent (Syx%) the distribution of the residues. The best fit was achieved for the linearized models, and the Spurr in linear form. Similar results were to obtained to *Manilkara elata*. For all the tested models, the distribution of residues was not homogeneous. The research findings indicated that the Spurr and the Schumacher & Hall mathematical models which use the length of the hollow as independent variables can only be used for used to estimate bole volumes of fallen trees. As the main focus of the research was to estimate the volume of hollows in standing trees and due to the impossibility of estimating the length of the hollow in the field, is recommended using the equations only for fallen boles. It is also recommended the continuity of the study with a more robust data set, having more sample trees in the smaller and in the larger hollow sizes as an attempt to improve the precision. The use of machine learning techniques such artificial neural networks could be a path to be followed.

**Keywords:** Modeling. Regression Analysis, Defects in trees

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-</b> Localização da UPA 5 e suas quatro Unidades de Trabalho na Unidade de Manejo Florestal II na Flona de Saracá-Taquera, estado do Pará. ....  | 18 |
| <b>Figura 2</b> - Medição dos diâmetros e comprimento dos ocos na base e topo das toras das árvores amostra.....   | 19 |
| <b>Figura 3</b> - Medição do comprimento do oco nas toras. ....  | 19 |
| <b>Figura 4</b> - Forma de tronco de cone para representar o oco em fustes de árvores. ....  | 20 |
| <b>Figura 5</b> - Box-plot da variável Volume de oco com presença de outliers. ....  | 27 |
| <b>Figura 6</b> - Box-plot da variável Volume de oco das árvores amostras sem outliers. ....   | 28 |
| <b>Figura 7-</b> Gráfico de Dispersão dos Resíduos <i>versus</i> Volume estimado, com base na variável Diâmetro do oco (estratégia A) sem especificidade por espécie. ....   | 32 |
| <b>Figura 8</b> - Gráfico de Dispersão dos Resíduos <i>versus</i> Volume estimado com base na variável Diâmetro do oco (estratégia A) específico para espécie <i>Manilkara elata</i> .....                             | 33 |
| <b>Figura 9</b> – Dispersão dos Resíduos <i>versus</i> Volume estimado do ajuste, Modelo 2, após transformação Box-Cox, sem especificação por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A).....  | 35 |
| <b>Figura 10</b> - Dispersão dos Resíduos <i>versus</i> Volume estimado do ajuste, Modelo 4, após transformação Box-Cox, sem especificação por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A)..... | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1-</b> Modelos, autorias e tipo testados na estimativa do volume de oco de árvores da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Pará.....  | 21 |
| <b>Tabela 2</b> - Número de árvores amostras por espécie com ocorrência de oco na UPA 5/2016, UMF II na Flona de Saracá-Taquera, usadas para estimativa do volume de oco.....   | 25 |
| <b>Tabela 3</b> - Características descritivas do diâmetro médio do oco, DAP da árvore, altura e volume de oco, com a presença de outliers, de árvores da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Pará.....   | 26 |
| <b>Tabela 4</b> - Análise descritiva das variáveis após a retirada dos outliers das espécies amostras. ....   | 26 |
| <b>Tabela 5-</b> Ajuste de modelos para estimativa de volume de oco sem especificidade por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA. ....  | 29 |
| <b>Tabela 6</b> - Ajuste de modelos para estimativa de Volume de oco, específica para espécie <i>Manikara elata</i> , com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera.....                                  | 29 |
| <b>Tabela 7</b> - Ajuste de modelos para estimativa de Volume de oco sem especificidade por espécie com base na variável DAP (estratégia B) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.....   | 31 |
| <b>Tabela 8</b> - Ajuste de modelos para estimativa de Volume de oco específica para espécie <i>Manilkara elata</i> com base na variável DAP (estratégia B) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.....   | 31 |
| <b>Tabela 9</b> - Ajuste de Modelos para estimativa de volume de oco, após aplicação da transformação Box-Cox, sem especificidade por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/Pa. ....     | 34 |
| <b>Tabela 10</b> - Ajuste de Modelos para estimativa de volume de oco, após transformação Box-Cox específica para espécie <i>Manilkara elata</i> , com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA. .... | 34 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 11 |
| <b>2 HIPÓTESES</b> .....  | 12 |
| <b>3 OBJETIVO GERAL</b> .....   | 12 |
| <b>4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....  | 12 |
| <b>5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | 13 |
| <b>5.1 Surgimento de oco nos troncos</b> .....  | 13 |
| <b>5.2 Perdas na Atividade de exploração</b> .....  | 14 |
| <b>5.3 Determinação do volume de oco</b> .....  | 15 |
| <b>5.4 Modelos de volume para florestas tropicais</b> .....                                 | 15 |
| <b>6 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | 17 |
| <b>6.1 Caracterização da área de estudo</b> .....   | 17 |
| <b>6.2 Identificação e Medições dos ocos</b> .....  | 18 |
| <b>6.3 Volume do oco</b> .....  | 20 |
| <b>6.4 Análise exploratória dos dados</b> .....   | 21 |
| <b>6.5 Modelos de volume de oco</b> .....   | 21 |
| <b>6.6 Verificação do pressuposto da homocedasticidade</b> .....                            | 22 |
| 6.6.1 Transformação Box Cox.....  | 22 |
| <b>6.7 Critérios de seleção do modelo ajustado para a estimativa do volume de oco</b> ..... | 22 |
| <b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 25 |
| <b>7.1 Número de árvores ocas por espécies</b> .....  | 25 |
| <b>7.2 Análise exploratória dos dados</b> .....   | 26 |
| <b>7.3 Ajuste dos modelos</b> .....   | 28 |
| <b>8 CONCLUSÕES</b> .....   | 37 |
| <b>9 RECOMENDAÇÕES</b> .....  | 37 |
| <b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | 38 |

## 1 INTRODUÇÃO

Fatores ambientais tais como temperatura e umidade do ar são importantes para a propagação de fungos e insetos xilófagos que deterioram e degradam a madeira. Quando essa degradação ocorre internamente à madeira, decorrente da quebra da parede celular originam-se ocos nos troncos de árvores vivas ou mortas. A temperatura que favorece o aparecimento de fungos situa-se de 25° a 30°C, a uma umidade acima de 20% na madeira (MENDES; ALVES, 1988). Essa deterioração e formação do oco pode ocupar expressivas partes do tronco, além de que, a ocorrência de ocos é mais comum em árvores de grandes dimensões diamétrica.

Várias pesquisas em florestas amazônicas revelam o padrão de ocorrência de ocos. Almeida (2018), por exemplo, relatou que mais da metade (53,54%) das árvores de espécies comerciais com diâmetros  $\geq 40$  cm, inventariadas em uma área de 977 ha estavam ocas. Nogueira et al. (2006) reportaram que até 30% das áreas transversais em discos dos fustes coletados à altura do peito (DAP), estavam ocupadas por oco. Apolinário e Martius (2004) examinaram troncos de 110 árvores de 16 famílias botânicas, encontrando 41 árvores com grandes cavidades longitudinais. Segundo esses autores, cerca de um terço das árvores de grande diâmetro da floresta amazônica podem apresentar ocos no interior de seus troncos e que, desses, 15% podem estar infestados de cupins.

A ocorrência de ocos em árvores não é algo particular das florestas amazônicas, já que também é observado em outras florestas tropicais. Por exemplo, em floresta de pântano na Malásia, Monda et al. (2015) revelou que o volume de oco dos troncos variou de 0,23 a 1,08 m<sup>3</sup> por árvore, sendo que em alguns indivíduos esse volume representou 42,3% do volume do fuste.

Para fins de manejo, conhecer o volume do oco é importante para que se possa descontá-lo do volume de madeira do tronco. Isso porque a Instrução Normativa nº 5, limita e controla o volume de madeira a ser extraído da floresta (BRASIL, 2006). Se o volume de oco não for descontado, e geralmente não é, o volume de madeira extraído acaba sendo menor que o previsto em plano de manejo. Estudos têm revelado que a presença de oco ocasiona uma superestimativa do volume e da biomassa das árvores, afetando a estimativa dessas variáveis em inventários florestais (BROWN; LUGO, 1992; BROWN et al., 1995; FEARNSSIDE, 2000; NOGUEIRA et al., 2006).

A problemática de quantificar o volume de oco foi o que motivou esta pesquisa. A literatura apresenta trabalhos sobre a determinação de equações para estimativa do volume

dos troncos de árvores, mas não para estimar o volume perdido neste tronco pela presença de oco. Neste estudo, modelos matemáticos para estimar volume de oco são explorados de forma análoga aos modelos de volume de tronco. O propósito final é gerar informações importantes para a gestão de florestas da Amazônia brasileira, uma vez que estudos como esses ainda são incipientes.

Dada à importância da ocorrência de oco em florestas da Amazônia brasileira, o presente estudo procurou responder à seguinte questão geral: os modelos matemáticos comumente utilizados na ciência florestal para estimar os volumes de troncos podem ser utilizados para estimar, com precisão aceitável, o volume de oco existente em troncos?

## **2 HIPÓTESES**

$H_0$ : Os modelos matemáticos, comumente utilizados na ciência florestal para estimar os volumes de troncos são adequados para estimar o volume do oco com precisão aceitável.

$H_1$ : Os modelos matemáticos, comumente utilizados para estimar os volumes de troncos não são adequados para estimar o volume do oco com precisão aceitável.

## **3 OBJETIVO GERAL**

Investigar e avaliar a viabilidade de uso de modelos matemáticos para estimar volumes de ocos em árvores de florestas ombrófilas densas situadas na Amazônia brasileira.

## **4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar volumes de ocos de árvores amostra de uma floresta situada no oeste do estado do Pará;
- Testar e avaliar a eficácia dos modelos de regressão linear comumente utilizados para estimar volumes de troncos na estimativa do volume de ocos nos troncos.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Surgimento de oco nos troncos

A degradação biológica da madeira é causada por organismos xilófagos, incluindo fungos, insetos, moluscos, crustáceos e bactérias, dos quais fungos e insetos são os responsáveis pela maior parte dessa degradação, pois as condições estáveis de temperatura e alta umidade relativa do ar, proporcionada pela floresta tropical úmida, lhes confere um favorável habitat ao desenvolvimento. (MENDES; ALVES,1988).

Na ação de fungos e bactérias, a deterioração é causada pela liberação de enzimas, as quais reagem com constituintes da madeira da parede celular ao nível molecular, causando a quebra desta estrutura e dando início à podridão, pardas ou brancas que podem apenas manchar ou decompor totalmente a madeira (MENDES; ALVES,1988). O grau dessa atividade enzimática vai ser determinado pela heterogeneidade dos microambientes do interior do vegetal, que poderão inibir ou favorecer o estabelecimento dos fungos na madeira (RAYNER; BODDY,1988).

As espécies de fungos das subdivisões Basidiomycotina e Ascomycotina são associadas ao apodrecimento do cerne, sendo os Basidiomycotina mais frequentes e causam cavidades mais expressivas no processo de colonização. As rotas de infecção e colonização mais praticadas por estes são: grandes injurias que expõe o cerne, provenientes de podas e quebras de galho, pequenos galhos secos e podres sem cerne formado, cujo apodrecimento pode atingir o cerne do tronco, infecção ectotrófica das raízes e contato entre raízes saudias e raízes afetadas por fungos (RAYNER; BODDY,1988).

A madeira no centro (cerne) das árvores vivas é um tecido biologicamente morto e, como tal, suscetível ao ataque de fungos e insetos xilófagos. Por sua vez, o ataque ao alburno praticamente só ocorre quando o mesmo fica exposto por injúria ou morte da casca, resultando na descoloração do lenho e, eventualmente, no apodrecimento, pois o alburno apresenta maior umidade e, portanto, menor quantidade de oxigênio, fatores desfavoráveis aos fungos (BRANZOLIN, 2009).

Para maioria dos fungos xilófagos, a temperatura ideal para o desenvolvimento varia de 25° a 30°C, e o pH ótimo situa-se na faixa ácida, de 4,5 a 5,5, que coincide com os valores de pH apresentados pela maioria das espécies de madeira. Em geral, o ataque de fungos ocorre quando a madeira apresenta umidade acima de 20%, e atinge o ponto de saturação das fibras (MENDES; ALVES,1988)

Os sintomas a serem observados em madeiras atacadas por fungos são: mudança de coloração da madeira com o aparecimento de listas ou bandas marrom escura ou marrom arroxeada, amolecimento da madeira com textura quebradiça e mudança de cheiro, com odor semelhante à de lugares abafados e úmidos (MENDES; ALVES, 1988).

Os insetos, cupins, besouros, vespas, abelhas e formigas causam a deterioração pela escavação da estrutura da madeira. Estes se aproveitam da madeira apodrecida pelos fungos para se alimentarem da celulose do lenho, geralmente iniciada na raiz ou no colo do tronco propagando-se em direção à parte superior da árvore, onde os cupins fazem construção de galerias no interior do tronco, destruindo o cerne e deixando as árvores ocas (MENDES; ALVES, 1988).

Em estudo realizado na Amazônia central, Apolinário e Martius (2004) constataram que 70% das árvores com núcleos podres continham *Coptotermes*, indicando que esse gênero desempenha um papel importante na formação inicial das cavidades. Esses autores notaram que a maioria das outras espécies de cupins encontradas nos troncos ocos das árvores eram húmidoras e provavelmente se alimentam da matéria orgânica acumulada nos troncos por *Coptotermes*.

A taxa de decomposição causada por estes organismos dentro da árvore é menor que em outros tipos de madeira morta, devido à taxa de respiração ser menor em seu interior. Entretanto mesmo sendo esta decomposição mais lenta, ainda apresenta grandes cavidades, longitudinalmente orientadas ao longo do eixo central do tronco (APOLINÁRIO; MARTIUS, 2004).

## **5.2 Perdas na Atividade de exploração**

A exploração da madeira de forma legal realizada através de Projetos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) estabelecida por meio da IN nº05 de 11 de dezembro 2006, determina a intensidade de corte, o total máximo de 30 m<sup>3</sup> por hectare do volume das árvores das espécies selecionadas para corte, em cada UPA (BRASIL, 2006), entretanto perdas durante a atividade de exploração são ocorrentes, devido às situações de descarte, dentre elas, árvore morta, afilamento do fuste, difícil acesso a árvore selecionada, árvore não encontrada e a principal delas a presença de ocos nos troncos que afetam diretamente o rendimento de madeira.

Na Amazônia, o rendimento médio da maioria das espécies processadas nas serrarias é de aproximadamente 30% (CLEMENT, HIGUCHI, 2006), A espécie maçaranduba (*Manilkara spp.*) estudada por Danielli (2013), no processo de modelagem do rendimento no

desdobro de toras, apresentou baixo rendimento e alta geração de resíduos devido à presença de oco.

O desconto do volume de oco não é considerado na legislação federal, logo, segundo Almeida (2018) o volume perdido devido a ocorrência de oco, somado a outras perdas em longo prazo pode comprometer a receita empresarial, bem como a viabilidade do manejo, visto que a rentabilidade da atividade florestal é importante para determinar as decisões futuras de acordo com o desempenho financeiro da empresa.

### **5.3 Determinação do volume de oco**

Na busca pela determinação do volume do tronco de uma árvore, diversas expressões matemáticas foram desenvolvidas com estudos direcionados à forma da árvore, entre elas, as fórmulas de Huber, Smalian e Newton, com as quais se calculam os volumes reais ou rigorosos dos troncos (SOARES; NETO; SOUZA, 2012; HUSCH et al., 2003).

Assim como se faz necessário na obtenção do volume de um fuste de árvore a observação da sua forma, que pode assemelhar-se a um cone, parabolóide, neiloide e cilindro (SOARES; NETO; SOUZA, 2012), o formato do oco ocorrente em uma árvore, também precisa ser observado.

Secco (2011), buscando detectar o oco usando propagação de ondas ultrassônicas, observou que as velocidades das ondas no fuste da árvore em função da posição de medição diminuíam significativamente com o aumento das dimensões da área ( $\text{mm}^2$ ) do oco, determinando por meio dessa variação da velocidade da onda o formato do oco, aproximado de um cone truncado.

A forma cone truncado é oriunda de um cone que sofreu a intersecção de um plano paralelo à sua base circular, a uma determinada altura, que constituiu essa nova figura geométrica espacial, cuja fórmula para estimativa de seu volume é dada pelos valores do raio maior ( $R$ ), raio menor ( $r$ ) e altura ( $h$ ) (DOLCE; POMPEU, 1993). A partir dessas variáveis, pode ser determinado o volume de oco de troncos de árvores.

### **5.4 Modelos de volume para florestas tropicais**

As equações de volume são modelos de regressão ajustados a partir de variáveis dendrométricas correlacionadas, coletadas no campo, que buscam estimar o volume com baixo erro de estimativa (COUTO; BASTOS, 1987). A variável dendrométrica mais utilizada para ajuste de modelos de volume é o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), devido à facilidade

de obtenção no campo e por apresentar maior correlação com o volume real (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014). A altura é outra importante variável a ser obtida, seja por medição ou estimação, porém a dificuldade de medir a altura em árvores em pé, devido à estrutura da floresta e limitação de instrumentos, provoca muitas vezes erros de estimativa (SOARES et al., 2011).

O volume de tronco é comumente estimado por meio de modelos tradicionais como os de Schumacher-Hall, Spurr, Hohenadl & Krenn, e Husch, dentre outros (CAMPOS; LEITE, 2009). Esses modelos são divididos em modelos de simples entrada, com apenas a variável independente DAP, e os dupla entrada, que incluem a altura da árvore junto ao DAP (RUMSEY, 2014).

Uma forma amplamente utilizada para ajuste de modelos de regressão linear é o método dos Mínimos Quadrados Ordinários, que consiste em um estimador que minimiza a soma dos quadrados do resíduo (RUMSEY, 2014). Porém para que se comprove se há ou não regressão linear, relação entre duas variáveis, é necessário proceder à análise de variância da regressão, por meio do teste “F”. Entretanto, ainda que comprovada a existência da regressão, o teste não garante que todas as variáveis são estatisticamente significativas a um dado nível de probabilidade. Neste caso o teste t de Student deve ser aplicado aos coeficientes das variáveis separadamente (SOARES; NETO; SOUZA, 2012).

Alguns critérios são utilizados para selecionar modelos estatísticos que melhor representem os dados populacionais de uma floresta. Os critérios de precisão mais comumente utilizados são o maior coeficiente de determinação e coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), menor coeficiente de variação (CV%), menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), e a distribuição normalizada dos resíduos (SOARES; NETO; SOUZA, 2012).

A relação entre a variável dependente e as variáveis independentes aponta o modelo a ser utilizado (ZEVIANI et al., 2013). No caso das florestas naturais tropicais, Rolin (2006), em seu estudo “Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, na Serra dos Carajás (PA)”, notou que o modelo logarítmico de dupla entrada de Schumacher-Hall foi o que melhor estimou o volume para a floresta estudada. Esse modelo apresentou elevado coeficiente de determinação, não tendencioso e apresentou um baixo erro padrão da estimativa. O autor propôs também o uso do modelo de simples entrada de Husch, com o DAP como variável independente, pois apresentou resultado satisfatório. Dentre todos os doze modelos ajustados no referido estudo, o de Spurr correspondeu ao pior resultado para o erro padrão da estimativa percentual  $S_{yx}\%$ . Por outro lado, Almeida (2018), em estudo realizado na floresta Nacional de Saracá-Taquera (PA), após testes de nove modelos de regressão,

encontrou que o modelo proposto por Spurr se ajustou melhor aos dados das árvores amostras para aquela área.

## **6 MATERIAIS E MÉTODOS**

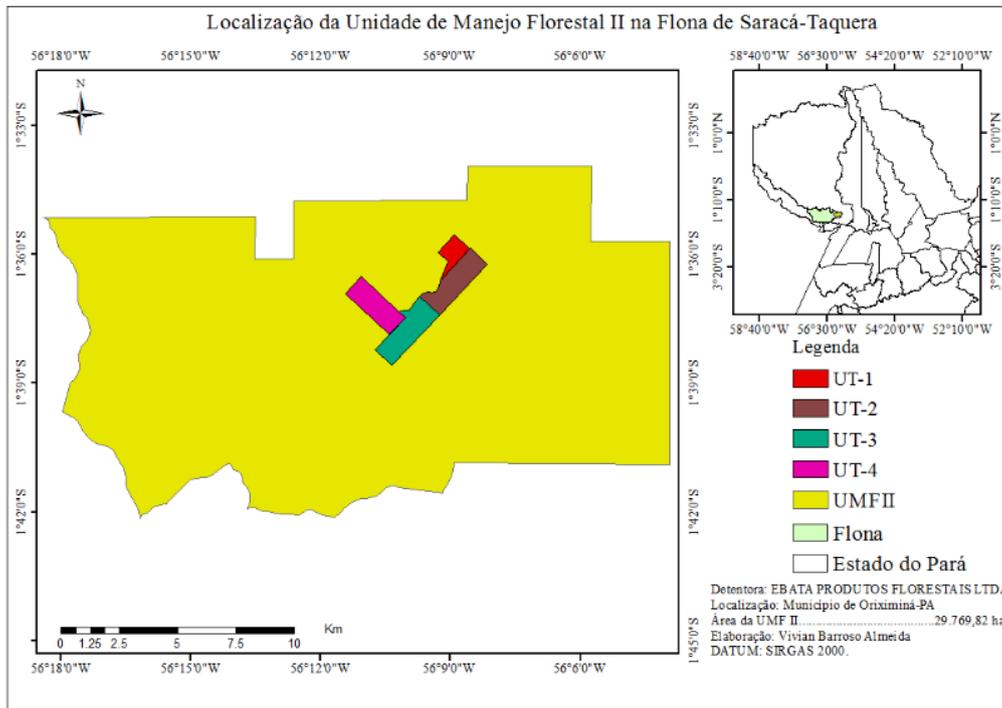
### **6.1 Caracterização da área de estudo**

Os dados do presente estudo provêm de uma área de floresta manejada (Unidade de Produção Anual - UPA 5) com área de 977,96 ha da Unidade de Manejo Florestal (UMF II). Essa unidade encontra-se sob contrato de concessão outorgada à empresa EBATA, na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, no estado do Pará (Figura 1). A UMF II localiza-se no município de Oriximiná (55°51'50,45" S e 01°45'48,86" W), limitada ao norte com a Reserva Biológica do Rio Trombetas.

A vegetação caracteriza-se pelo predomínio de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. O relevo da área de estudo apresenta platôs de topo aplainado e encostas íngremes, e entremeada por superfícies rebaixadas chamadas terras baixas. O solo predominante é Neossolo Quartzarênico, de textura arenosa e ausência de horizonte B diagnóstico. A área da Floresta Nacional do Saracá-Taquera é banhada pelas bacias do rio Trombetas e rio Nhamundá, que por sua vez encontram-se inseridas no grande Sistema Hidrográfico do rio Amazonas (BRASILIA, 2009).

O clima da região apresenta precipitação pluviométrica média anual variando de 2.200 a 2.500mm. Ocorrem dois períodos distintos de precipitação na área da Floresta Nacional de Saracá-Taquera: a estação chuvosa que inicia em dezembro e termina em maio e a estação seca, que inicia em julho, estendendo-se até outubro (IBAMA, 2011).

**Figura 1-** Localização da UPA 5 e suas quatro Unidades de Trabalho na Unidade de Manejo Florestal II na Flona de Saracá-Taquera, estado do Pará.

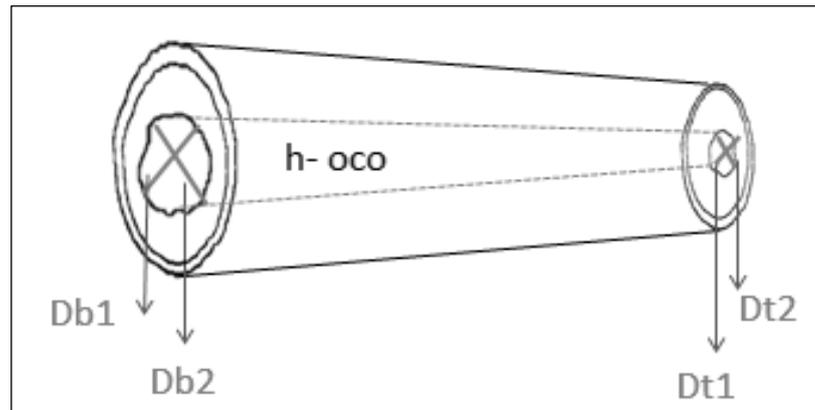


Fonte: Almeida (2018).

## 6.2 Identificação e Medições dos ocos

A identificação das toras que estavam ocas foi feita visualmente no pátio de estocagem. As medições para o cálculo dos volumes de ocos das toras foram feitas com o auxílio de uma fita métrica, medido, o comprimento e dois diâmetros perpendiculares nos ocos situados na base do tronco (Db1 e Db2) e aqueles situados no topo (Dt1 e Dt2). As médias aritméticas das medições da base (Db1 e Db2) e do topo (Dt1 e Dt2) do tronco representam o diâmetro médio do oco no tronco (Figura 2). No caso do oco não ter alcançado a outra extremidade da tora, o comprimento foi considerado como sendo a metade do comprimento da tora e o diâmetro foi assumido como sendo o diâmetro medido na extremidade visível.

**Figura 2** - Medição dos diâmetros e comprimento dos ocos na base e topo das toras das árvores amostra.



**Fonte:** A autora.

Em que:

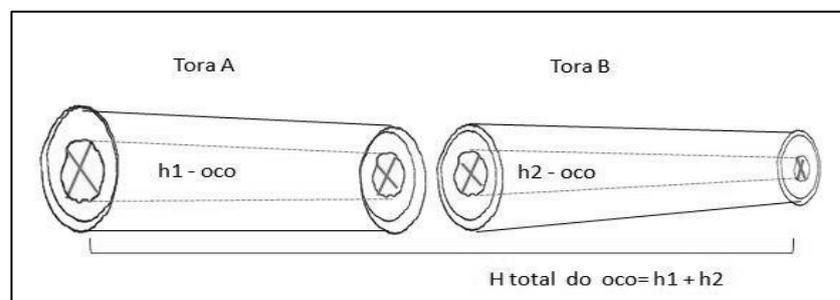
Db1 e Db2: Diâmetros da base do oco (cm);

Dt1 e Dt2: Diâmetros do topo do oco (cm);

h-oco: Comprimento do oco (m).

Quando um tronco de uma árvore amostra apresentou mais de uma tora, o comprimento total do oco foi considerado como a soma dos comprimentos do oco de cada tora individualmente. O mesmo raciocínio se aplica ao volume total do oco da árvore (Figura 3).

**Figura 3** - Medição do comprimento do oco nas toras.



**Fonte:** A autora.

### 6.3 Volume do oco

O volume dos ocos dos troncos foi calculado usando a forma geométrica “tronco de cone” (equação 1; DOLCE; POMPEU, 1993) em que o valor do raio, obtido a partir das médias dos diâmetros ( $Db1$ ,  $Db2$ ) e ( $Dt1$ ,  $Dt2$ ), equação 2 e 3. A justificativa para isso vem de observações de campo, em que os diâmetros da base do oco ( $Db$ ) sempre eram maiores que diâmetros do topo ( $Dt$ ), e o oco se estendia verticalmente ( $h$ ) por toda extensão do tronco (Figura 4).

$$Vo = \pi h/3.(R^2 + Rr + r^2) \quad (1)$$

$$R = (Db1 + Db2)/4 \quad (2)$$

$$r = (Dt1 + Dt2)/4 \quad (3)$$

Em que:

$Db1$  e  $Db2$ = Diâmetros da base do oco (cm);

$Dt1$  e  $Dt2$ = Diâmetros do topo do oco (cm);

$R$  = Raio da base maior (m);

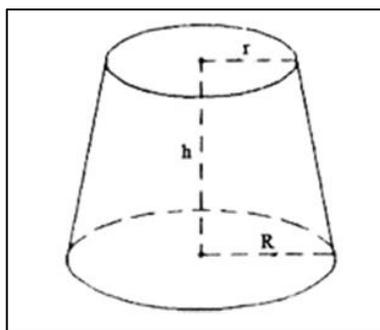
$r$  = raio da base menor (m);

$Vo$  = Volume do oco;

$\pi$  = Constante PI;

$h$  = Comprimento do tronco de cone (m).

**Figura 4** - Forma de tronco de cone para representar o oco em fustes de árvores.



Fonte: Moreira (2018).

## 6.4 Análise exploratória dos dados

A partir dos dados amostrados fora realizado a análise exploratória. Uma abordagem prévia do conjuntos de dados de modo a resumir as características principais das variáveis com métodos visuais (TEIXEIRA, 2003). Aplicado as variáveis DAP, diâmetro médio oco (o valor obtido por meio da média de Db1, Db2, Dt1 e Dt2), comprimento e volume de oco pode se observar os valores de mínimo, média, mediana, máximo e coeficiente de variação (CV).

Para identificação de outliers fora aplicado a técnica gráfica, por meio da plotagem de gráfico Box plot com auxílio do software Minitab/19, que dispôs sobre a posição, dispersão, assimetria, caudas e valores de mínimo, máximo, primeiro quartil, mediana e o terceiro quartil, referentes à variável volume de oco, em que foram considerados outliers dados que se posicionaram acima do valor máximo e apresentaram pontos fora da curva normal. Para efeito comparativo a análise exploratória dos dados foi aplicada antes e após a eliminação dos outliers.

## 6.5 Modelos de volume de oco

Os modelos escolhidos para serem testados estão apresentados na Tabela 1. Esses modelos são comumente adotados na modelagem do volume de fuste de árvores (CAMPOS; LEITE, 2013; SOARES; NETO; SOUZA, 2012). Três deles são modelos lineares, e outros três foram linearizados na escala ln. O método de ajuste Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) foi utilizado para o ajuste dos modelos, com auxílio do programa Minitab/19.

**Tabela 1-** Modelos, autorias e tipo testados na estimativa do volume de oco de árvores da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Pará.

| Nº | Modelos   | Autor             | Tipo        |
|----|---|-------------------|-------------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$                         | Kopezky-Gehrhardt | Linear      |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$             | Hohenadl & Krenn  | Linear      |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$                       | Spurr             | Linear      |
| 4  | $\ln V_o = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$                  | Husch             | Linearizado |
| 5  | $\ln V_o = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2 h) + \varepsilon$              | Spurr             | Linearizado |
| 6  | $\ln V_o = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon$ | Schumacher & Hall | Linearizado |

Em que:  $V_o$ : Volume do oco ( $m^3$ );  $\ln$ : logaritmo natural do volume do oco ( $m^3$ );  $h$ : altura do oco (m);  $d$ : diâmetro do oco (m) ou DAP;  $\beta_i$ : parâmetros do modelo a ser estimado; e  $\varepsilon$ : erro aleatório.

Os modelos foram ajustados sem especificidade por espécie, gerando assim um modelo global, e também um modelo específico para a espécie *Manilkara elata* (Allemão ex. Miq.) Monarch. (Maçaranduba), já que havia um número considerável de observação para esta espécie. Além disso, os modelos foram testados considerando duas estratégias de ajuste: na primeira estratégia (A), o volume de oco foi estimado em função do diâmetro médio do oco, e na segunda (B), em função do DAP da árvore. A variável comprimento se fez presente em três modelos, estando convertida ( $d^2h$  e  $\ln(d^2h)$ ) nos modelos 3 e 5.

## 6.6 Verificação do pressuposto da homocedasticidade

Para verificação da homogeneidade das variâncias (homoscedasticidade) dos resíduos dos modelos ajustados, foi aplicado o método informal gráfico, por meio da análise visual da distribuição dos resíduos, em que os resíduos ( $\hat{u}_i^2$ ) foram plotados *versus* os valor estimado ( $\hat{y}_i$ ). O  $y_i$  estimado pela linha de regressão, para descobrir se o valor médio estimado de Y está sistematicamente relacionado aos resíduos elevados ao quadrado e se os resíduos estavam distribuídos de forma homogênea, com valores em torno de zero (GUJARATI; POTER, 2011).

### 6.6.1 Transformação Box Cox

Para satisfazer a pressuposição da análise de variância dos resíduos, em que os resíduos devem estar distribuídos de forma homogênea e com valores em torno de zero, aplicou-se com auxílio do programa Minitab/19 a transformação da variável volume de oco utilizando a família Box-Cox. Esta família de transformações Box-Cox é amplamente utilizada, pois permite identificar a melhor transformação, com base na utilização de um valor  $\lambda$  (lambda) que maximize o estimador de máxima verossimilhança e minimize o resíduo (LÚCIO et al., 2011).

## 6.7 Critérios de seleção do modelo ajustado para a estimativa do volume de oco

Os seguintes critérios foram usados para selecionar o melhor modelo para cada estratégia utilizada para estimar os volumes de ocos:

- Maior coeficiente de determinação  $R^2$  ajustado

Ajustado para o número de preditores no modelo o coeficiente de determinação ajustado é uma medida descritiva da qualidade do ajuste, que mede a proporção da variabilidade nos dados explicada pelo modelo de regressão ajustado. Se situa entre 0 e 1. Se for 1, a linha de regressão ajustada explicará 100% da variação de Y. Por outro lado, se for 0, o modelo não explicará nada da variação de Y. Quanto mais próximo o valor de  $R^2$  situar-se de 1, melhor a qualidade do ajustamento (GUJARATI; POTER, 2011).

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{STQ} = 1 - \frac{\sum \hat{u}_i^2}{\sum Y_i^2} = R^2_{aj} = 1 - \frac{(n-3)}{n-(k+1)} (1 - R^2) \quad (4)$$

Em que:

SQR: Soma dos quadrados dos resíduos;

STQ: Soma dos quadrados das diferenças entre a média e cada valor observado;

n: Número de observações;

K+1: Número de variáveis explicativas mais a constante.

- Menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) em porcentagem;

O erro padrão é o desvio padrão dos valores de Y em relação à linha de regressão estimada, sendo frequentemente usada como uma medida da “qualidade do ajustamento” da linha de regressão estimada, em que valores menores são melhores porque indicam que as observações estão mais próximas da linha ajustada (GUJARATI; POTER, 2011).

$$S_{xy}\% = \frac{\sqrt{\frac{(Y-\hat{Y})^2}{n-k-1}}}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que:

$S_{xy}\%$  = Erro padrão da estimativa em porcentagem

Y= volume real de oco

$\hat{Y}$ = volume estimado de oco

n= número de observações

k = número de graus de liberdade da regressão

$\bar{Y}$  = média do volume real de oco.

- Distribuição dos resíduos padronizados mais homogênea

Modelo que apresentou melhor distribuição gráfica com valores de resíduos dispersos aleatoriamente em torno de zero, com variância mínima constante, concentrados mais próximos, entre o eixo Y -2 e 2 e pouquíssimos pontos acima de 3 ou abaixo de -3 (GUJARATI; POTER, 2011)..

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Número de árvores ocas por espécies

As espécies comerciais identificadas com presença de oco durante a atividade de exploração florestal estão listadas na Tabela 2. A espécie *Manilkara elata* (Allemão ex. Miq.) Monarch. (Maçaranduba) apresentou maior frequência de árvores com ocorrência de oco, 286 árvores. Esta representatividade pode ser justificada pela ocorrência generalizada e abundância desta espécie na Amazônia (HIRAI et al., 2008). Seguido da maçaranduba, as espécies *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd (64 árvores), *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. Ex Mez (52 árvores) e *Goupia glabra* Aubl.(29 árvores) que também apresentaram frequência representativa quanto a ocorrência de oco.

**Tabela 2** - Número de árvores amostras por espécie com ocorrência de oco na UPA 5/2016, UMF II na Flona de Saracá-Taquera, usadas para estimativa do volume de oco.

| Nº    | Nome vulgar          | Espécie   | Frequência |
|-------|----------------------|---|------------|
| 1     | Angelim-pedra        | <i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke                  | 1          |
| 2     | Araracanga           | <i>Aspidosperma spruceanum</i> Benth. Ex Müll. Arg. | 1          |
| 3     | Castanha sapucacia   | <i>Lecythis pisonis</i> Cambess                     | 3          |
| 4     | Cumaru-amarelo       | <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd               | 64         |
| 5     | Cupiúba              | <i>Goupia glabra</i> Aubl.                          | 29         |
| 6     | Fava-orelha-de-velha | <i>Enteroblobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.   | 5          |
| 7     | Ipê- roxo            | <i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl. | 2          |
| 8     | Itaúba               | <i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. Ex Mez      | 52         |
| 9     | Jatobá               | <i>Hymenaea courbaril</i> L.                        | 13         |
| 10    | Jutaí-mirim          | <i>Hymenaea parvifolia</i> Huber                    | 9          |
| 11    | Louro-pimenta        | <i>Ocotea canaliculata</i> (Rich.) Mez              | 1          |
| 12    | Maçaranduba          | <i>Manilkara elata</i> (Allemão ex. Miq.) Monarch.  | 286        |
| 13    | Muiracatiara         | <i>Astronium lecointei</i> Ducke                    | 1          |
| 14    | Pequiá               | <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.              | 4          |
| 15    | Tanimbuca            | <i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke                  | 2          |
| 16    | Timborana            | <i>Pseudopiptadenia suaveolens</i>                  | 13         |
| 17    | Uxi                  | <i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec              | 13         |
| Total |                      |   | 533        |

Fonte: EBATA, (2020)

## 7.2 Análise exploratória dos dados

Na análise descritiva apresentada na Tabela 3 para o número total de observações de 533 árvores ocas, a variação dos dados em relação à média (CV) foi menor na variável DAP (17%) e maior na variável volume (80%). Esta alta variação dos dados de volume do mesmo modo foi observada no gráfico de Box Plot (Figura 5) e identificada a presença de outliers, dados que se posicionaram acima do valor máximo e apresentaram pontos fora da curva normal.

**Tabela 3** - Características descritivas do diâmetro médio do oco, DAP da árvore, altura e volume de oco, com a presença de outliers, de árvores da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Pará

|                   | <b>Diâmetro médio oco<br/>(cm)</b> | <b>DAP<br/>(cm)</b> | <b>Comprimento oco<br/>(m)</b> | <b>Volume oco<br/>(m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Mínimo            | 9,75                               | 57,3                | 3                              | 0,033                                 |
| Média             | 24,4                               | 87,54               | 13,9                           | 0,749                                 |
| Mediana           | 22,5                               | 87,5                | 14,2                           | 0,592                                 |
| Máximo            | 59,5                               | 140                 | 30,5                           | 4,815                                 |
| CV                | 36%                                | 17%                 | 35%                            | 80%                                   |
| Nº de observações | 533                                | 533                 | 533                            | 533                                   |

Fonte: A autora.

A Tabela 4 apresenta análise descritiva com base no banco de dados com 499 árvores ocas amostras, após a retirada dos outliers com base na variável volume de oco (Figura 6). A variação desta variável em relação à média reduziu para 64%, porém ainda permaneceu alta, considerando que quanto menor o CV, mais homogêneos são os dados (PIMENTEL-GOMES, 1985).

**Tabela 4** - Análise descritiva das variáveis após a retirada dos outliers das espécies amostras.

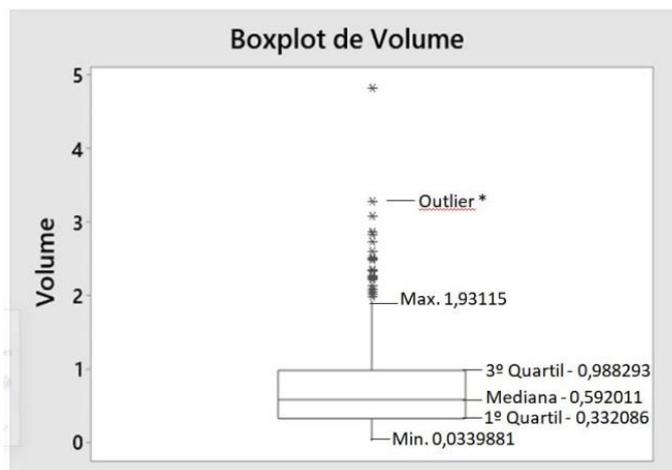
|                   | <b>Diâmetro médio oco<br/>(cm)</b> | <b>DAP (cm)</b> | <b>Comprimento oco<br/>(m)</b> | <b>Volume oco<br/>(m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Mínimo            | 9,75                               | 57,3            | 3                              | 0,033                                 |
| Média             | 23,2                               | 87,1            | 13,7                           | 0,639                                 |
| Mediana           | 22,2                               | 85,9            | 14                             | 0,551                                 |
| Máximo            | 57,5                               | 140             | 28,3                           | 1,770                                 |
| CV                | 32%                                | 17%             | 34%                            | 64%                                   |
| Nº de observações | 499                                | 499             | 499                            | 499                                   |

Fonte: A autora.

Na comparação das análises descritivas das variáveis nas Tabelas 3 e 4, observam-se os valores de mínimo mantendo se os mesmos para ambas estatísticas, porém os valores de máximo reduzidos, com exceção da variável DAP que se manteve o mesmo, demonstrando uma ausência de relação com a variável volume de oco, pois, mesmo após a retirada dos maiores volumes de ocos (outliers) as árvores amostras de maiores DAPs ainda permaneceram.

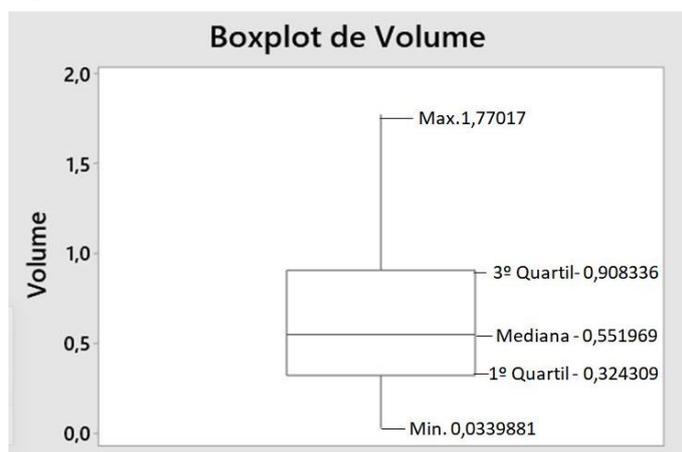
Na comparação dos gráficos Box plot (Figuras 5 e 6) que dispõem sobre a posição, dispersão, assimetria, caudas e valores referentes ao volume de oco. Observou-se nos gráficos presença de assimetria positiva, em que as linhas medianas apresentaram-se mais próximo do primeiro quartil e mais de 50% das amostras acima destas linhas. O gráfico da variável volume de oco com presença de outliers (Figura 5) apresentou uma maior variabilidade dos dados, seguido da amplitude de 0,65627m<sup>3</sup> e presença de outliers de 34 dados de árvores amostras que estavam acima do limite superior da cauda.

**Figura 5** - Box-plot da variável Volume de oco com presença de outliers.



Fonte: A autora.

**Figura 6** - Box-plot da variável Volume de oco das árvores amostras sem outliers.



Fonte: A autora

### 7.3 Ajuste dos modelos

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos para estimativas de volume de oco, sem e com especificidade por espécie respectivamente, com aplicação da estratégia (A) que teve como base o Diâmetro médio do oco. Dentre os modelos ajustados linearmente o modelo 3 apresentou coeficiente de determinação maior que 90% e erro padrão da estimativa em porcentagens menor que 15%, todavia os modelos 1 e 2 apresentaram valores de coeficiente de determinação ajustado menores que 80% e valores de erro padrão da estimativa em porcentagens maiores que 15%, considerados altos para florestas naturais da região Norte do Brasil (FIGUEIREDO; FILHO et al., 2014)..Dentre os modelos linearizados os modelos 5 e 6 apresentaram valores de coeficiente de determinação ajustado acima de 90%, que segundo Rumsey, (2014) se o modelo contendo x explicar muito da variabilidade nos valores y, então o valor de  $R_{aj}^2$  estará de 80% a 90%, e apresentaram valores de erro padrão da estimativa em porcentagens menores que 15%.

**Tabela 5-** Ajuste de modelos para estimativa de volume de oco sem especificidade por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.

| Nº | Modelos  | $R_{aj}^2$ | $S_{yx}\%$ | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
|----|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  | 61,67      | 46,64      | 0,1607    | 0,0007    |           |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$                              | 68,39      | 41,81      | -0,602    | 0,0621    | 0,000     |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  | 99,65      | 4,770      | 0,0091    | 0,00008   |           |
| 4  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$                        | 69,46      | 76,27      | -6,534    | 1,8922    |           |
| 5  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$                    | 99,73      | 7,258      | -9,3099   | 0,9876    |           |
| 6  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$ | 99,72      | 7,267      | -9,3102   | 1,9745    | 0,9886    |

**Tabela 6 -** Ajuste de modelos para estimativa de Volume de oco, específica para espécie *Manikara elata*, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera.

| Nº | Modelos  | $R_{aj}^2$ | $S_{yx}\%$ | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
|----|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  | 59,62      | 45,74      | 0,1172    | 0,0009    |           |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$                              | 63,35      | 41,80      | -0,644    | 0,0651    | -0,0003   |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  | 99,59      | 5,23       | 0,01164   | 0,0000    |           |
| 4  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$                        | 63,16      | 70,66      | -6,576    | 1,912     |           |
| 5  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$                    | 99,68      | 7,45       | -9,3155   | 0,9891    |           |
| 6  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$ | 99,68      | 7,45       | -9,2763   | 1,9747    | 0,9925    |

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos para estimativas de volume de oco, sem e com especificidade por espécie, com aplicação da estratégia (B) que teve como base o DAP. Por meio dessa estratégia, tanto as equações lineares e as linearizadas não apresentaram resultados com precisão aceitáveis, pois os valores dos coeficientes de determinação ajustado ficaram abaixo de 39% e valores de erro padrão da estimativa em porcentagem foram altos, excedendo os 100%. Se o modelo contendo  $x$  não explicar muito sobre a diferença nos valores  $y$ , então  $R^2$  é baixo, próximo à zero; entre, aproximadamente, 0 e 30 (RUMSEY, 2014).

Diante disso os resultados indicam que não foi possível alcançar uma precisão aceitável utilizando a variável DAP para estimar o volume de oco, pela falta de relação entre elas. Esta ausência de correlação foi observada previamente na análise descritiva dos dados, pois ao se retirar os maiores valores de volume oco (outliers), os maiores valores DAP permaneceram.

**Tabela 7** - Ajuste de modelos para estimativa de Volume de oco sem especificidade por espécie com base na variável DAP (estratégia B) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.

| Nº | Modelos  | R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> | S <sub>yx</sub> % | β0      | β1       | β2        |
|----|--|------------------------------|-------------------|---------|----------|-----------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  | 13,45                        | 72,42             | 0,1914  | 0,000005 |           |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$                              | 13,42                        | 72,26             | -0,275* | 0,0102*  | 0,000001* |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  | 25,28                        | 67,92             | 0,2400  | 0,000004 |           |
| 4  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$                        | 11,42                        | 134,36            | -7,61   | 1,548    |           |
| 5  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$                    | 33,98                        | 114,71            | -9,917  | 0,8031   |           |
| 6  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$ | 34,01                        | 114,34            | -9,310  | 1,439    | 0,8568    |

\*coeficientes não significativos ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 8** - Ajuste de modelos para estimativa de Volume de oco específica para espécie *Manilkara elata* com base na variável DAP (estratégia B) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.

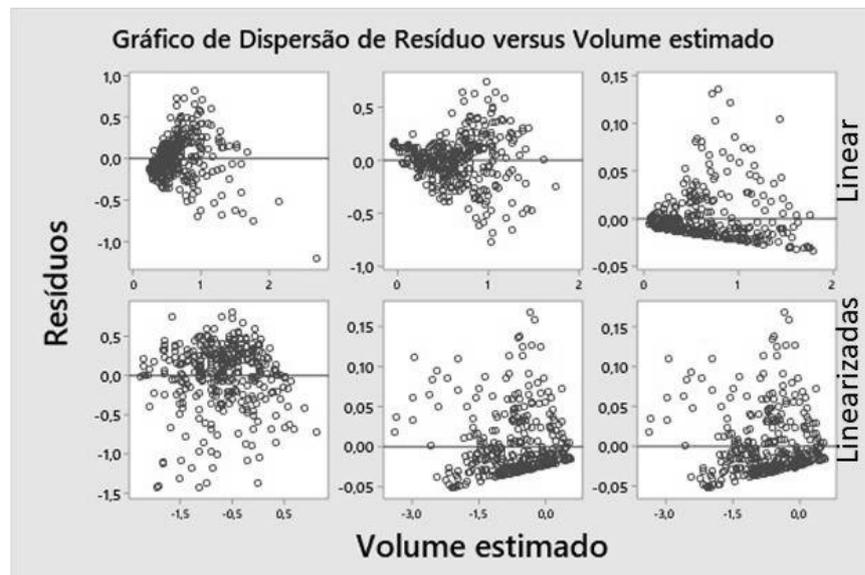
| Nº | Modelos  | R <sub>aj</sub> <sup>2</sup> | S <sub>yx</sub> % | β0      | β1       | β2       |
|----|--|------------------------------|-------------------|---------|----------|----------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  | 11,73                        | 67,49             | 0,2023  | 0,000052 |          |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$                              | 11,39                        | 67,05             | -0,162* | 0,0079   | -0,0001* |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  | 31,23                        | 62,15             | 0,2023  | 0,000004 |          |
| 4  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$                        | 11,00                        | 115,88            | -7,70   | 1,563    |          |
| 5  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$                    | 41,96                        | 97,93             | -10,598 | 0,8595   |          |
| 6  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$ | 42,03                        | 98,23             | -9,72   | 1,490    | 0,9187   |

\*coeficientes não significativos ( $p > 0,05$ ).

Dentre as duas estratégias propostas, a estratégia (A) que usou o Diâmetro médio oco para estimar o volume de oco, sem e com especificidade por espécie, apresentou resultados com precisão aceitáveis para os modelos 3 (linear), 5 e 6 (linearizados) com erro padrão da estimativa em porcentagem menor que 15% e coeficiente de determinação ajustado maior que 80% (Tabelas 5 e 6). É importante ressaltar que nesses modelos a variável comprimento de oco se fez presente, ainda que nos modelos 3 e 5 estivesse convertida ( $d^2h$  e  $\ln(d^2h)$ ).

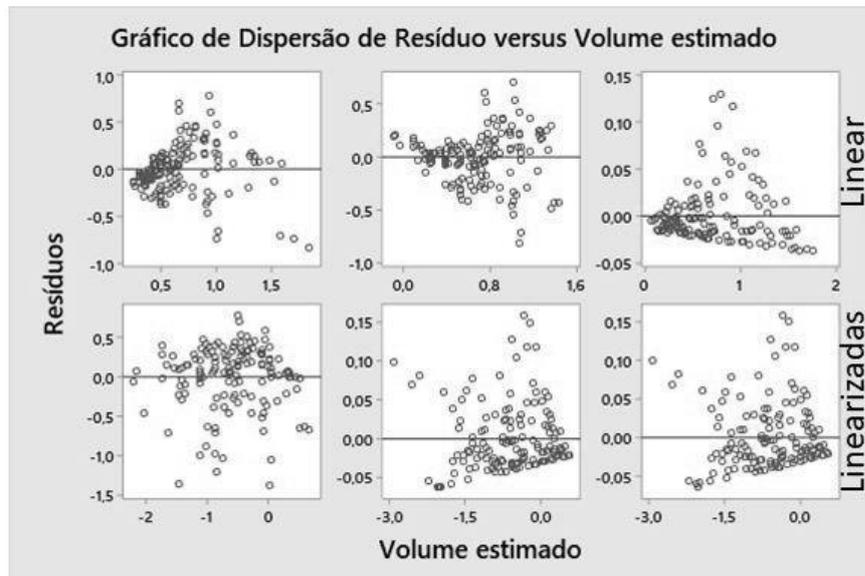
No entanto mesmo tendo esses modelos os melhores ajustes a hipótese do modelo clássico de regressão linear (MCRL) de Homocedasticidade em que a variância de cada termo de erro, condicional aos valores selecionados das variáveis explanatórias, seja um número constante igual a  $\sigma^2$  (GUJARATI; POTER, 2011) não foi alcançada (Figuras 8 e 9) em nenhuma das equações geradas pelos modelos. A variância dos erros não é constante, portanto, são heterocedásticas.

**Figura 7-** Gráfico de Dispersão dos Resíduos *versus* Volume estimado, com base na variável Diâmetro do oco (estratégia A) sem especificidade por espécie.



Fonte: A autora.

**Figura 8** - Gráfico de Dispersão dos Resíduos *versus* Volume estimado com base na variável Diâmetro do oco (estratégia A) específico para espécie *Manilkara elata*.



Fonte: A autora.

Observa-se nos gráficos das Figuras 8 e 9 que a distribuição dos resíduos apresentou um comportamento tendencioso crescente e decrescente (formato cônico), em que a dispersão dos resíduos aumentou ou diminuiu conforme o valor do volume de oco estimado, excluindo se desse padrão o ajuste dos modelos 1 (linear) e 4 (linearizado).

Segundo Gujarati e Porter (2011) a transformação logarítmica pode ser usada para reduzir a heterocedasticidade, no entanto, mesmo utilizando desta sugestão em três dos modelos selecionados, não obteve se êxito. Os valores dos resíduos dos modelos linearizados concentraram se mais próximo de zero, porém não apresentaram valores dispersos aleatoriamente em torno de zero com variância constante.

Detectada a heterocedasticidade da distribuição de resíduos, das equações resultantes dos ajustes pelo método dos mínimos quadrados ordinários, procedeu-se a transformação da variável volume de oco utilizando a família Box-Cox e novamente a aplicação dos ajustes dos modelos para estimativas de volume de oco sem e com especificidade por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) com objetivo de atingir a homocedasticidade.

**Tabela 9** - Ajuste de Modelos para estimativa de volume de oco, após aplicação da transformação Box-Cox, sem especificidade por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.

| Nº | Modelos  | $R_{aj}^2$ | $S_{yx}\%$ | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
|----|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  | 56,24      | 13,83      | 0,6377    | 0,000327  |           |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$                              | 71,62      | 11,14      | 0,1353    | 0,04089   | 0,0004    |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  | 91,90      | 5,951      | 0,5736    | 0,000033  |           |
| 4  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$                        | 69,46      | 14,76      | -1,9616   | 0,5681    |           |
| 5  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$                    | 99,73      | 1,399      | -2,7949   | 0,296505  |           |
| 6  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$ | 99,72      | 1,401      | -2,79504  | 0,59278   | 0,29681   |

**Tabela 10** - Ajuste de Modelos para estimativa de volume de oco, após transformação Box-Cox específica para espécie *Manilkara elata*, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A) para árvores em pé na Flona de Saracá-Taquera/PA.

| Nº | Modelos  | $R_{aj}^2$ | $S_{yx}\%$ | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ |
|----|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$  | 55,36      | 13,85      | 0,6190    | 0,000377  |           |
| 2  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$                              | 65,50      | 12,18      | 0,0894*   | 0,04527   | 0,000509  |
| 3  | $V_o = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$  | 92,22      | 5,786      | 0,57578   | 0,000033  |           |
| 4  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \varepsilon$                        | 63,16      | 15,90      | -1,9741   | 0,5740    |           |
| 5  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$                    | 99,68      | 1,473      | -2,7973   | 0,29695   |           |
| 6  | $\text{Ln}V_o = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d) + \beta_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$ | 99,68      | 1,475      | -2,7967   | 0,59284   | 0,29798   |

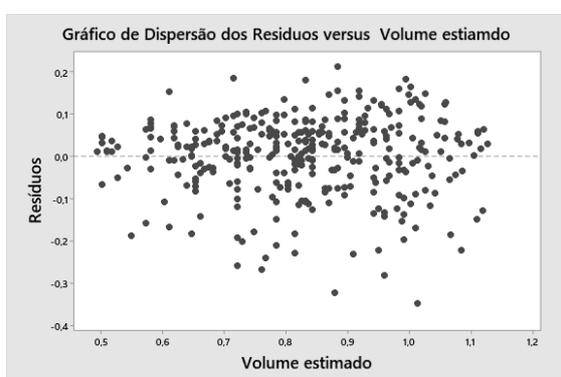
\*coeficientes não significativos ( $p > 0,05$ )

Nas Tabelas 9 e 10 foram apresentados os resultados dos ajustes dos modelos para estimativas de volume de oco, sem e com especificidade por espécie respectivamente, com aplicação da estratégia (A) que teve como base o Diâmetro médio do oco, porém com a variável volume de oco transformada pela família Box – Cox. Para estes ajustes o modelo 3 (linear) e os modelos 5 e 6 (linearizados) apresentaram resultados com precisão aceitáveis, com valores de coeficiente de determinação maiores que 90% e erro padrão da estimativa em porcentagens menores que 15%.

Com uso da transformação Box- Cox o erro padrão da estimativa em porcentagem reduziu e o coeficiente de determinação manteve se praticamente o mesmo, maior que 80%. Por conseguinte, os ajustes dos modelos 2 (linear) e 4 (linearizado) melhoraram seus resultados, tendo uma redução no valor do erro padrão de 71,62% para 11,14% e de 69,46% para 14,76% respectivamente, como também apresentaram as melhores dispersão dos resíduos (Figuras 10 e 11).

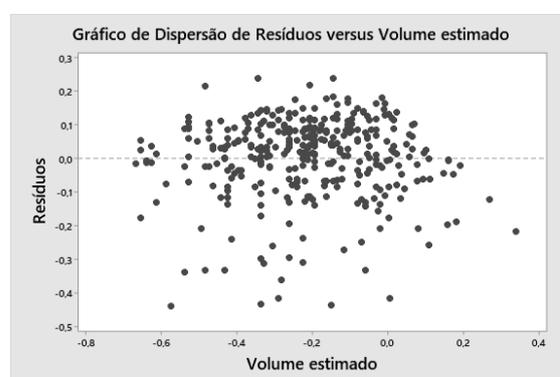
Apesar da redução na variabilidade dos resíduos, observadas em todos os ajustes, o uso do método de transformação Box Cox não foi eficiente para tornar as variâncias homocedásticas, a exemplo de outros estudos (LÚCIO et al., 2011; AZEVEDO et al., 2016).

**Figura 9** – Dispersão dos Resíduos *versus* Volume estimado do ajuste, Modelo 2, após transformação Box-Cox, sem especificação por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A).



Fonte: A autora

**Figura 10** - Dispersão dos Resíduos *versus* Volume estimado do ajuste, Modelo 4, após transformação Box-Cox, sem especificação por espécie, com base na variável Diâmetro médio do oco (estratégia A).



Fonte: A autora

A permanência da heterocedasticidade, apesar das transformações, pode ser explicada em função da aplicação da regressão pelo método dos MQO, pois este não usa as “informações” contidas na variabilidade desigual da variável dependente Y, ou seja, atribui pesos ou importâncias iguais a cada observação (GUJARATI; POTER, 2011).

Apesar da heterocedasticidade, segundo estes mesmos autores, pode-se indicar que  $\beta$  é um estimador consistente do método dos MQO, e que a heterocedasticidade não destrói as propriedades de não tendenciosidade, contudo eles deixam de serem os melhores devido a sua eficiência.

As equações 3 (linear), 5 e 6 (linearizadas) que apresentaram melhores resultados para estimativa do volume de oco, devem ser usadas somente para estimar o volume de oco de árvores derrubadas, devido a difícil obtenção do comprimento do oco em árvores em pé. Apesar da existência de diversos métodos para verificação da ocorrência do oco em árvores em pé, alguns desses são invasivos, realizados por meio da introdução da motosserra no tronco, outros subjetivos, executados por meio da escuta do som na madeira realizada pela batida do martelo no tronco e outros de grande eficácia, porém de alto custo, devido ao uso de equipamentos importados de propagação das ondas de ultrassom que refletem de forma aproximada a dimensão e a posição do oco, entretanto este ainda desenvolvido levando em conta as propriedades e as características das espécies dos países onde foram desenvolvidos (NOGUEIRA et al, 2011; SECCO, 2011).

## 8 CONCLUSÕES

Os modelos matemáticos, comumente utilizados na ciência florestal para estimar os volumes de troncos são adequados para estimar o volume do oco com precisão aceitável, pois ao utilizar o diâmetro médio e comprimento do oco como preditores, três modelos de volume de oco tiveram resultados com precisão aceitável.

As equações obtidas devem ser usadas para estimar o volume de oco em árvores derrubadas de um modo geral e para *Manilkara elata*, pois o comprimento do oco em árvores em pé é de difícil obtenção.

## 9 RECOMENDAÇÕES

Algumas recomendações são apresentadas para continuidade desta pesquisa:

Uso de outros métodos de ajuste, tais como o dos Mínimos Quadrados Generalizados ou técnicas de aprendizado de máquinas (*machine learning*), como as redes neurais artificiais.

Considerando que a modelagem da ocorrência ou do volume de oco de troncos ainda não foi profundamente pesquisada, este estudo levantou a necessidade de se coletar mais variáveis preditoras associadas ao oco. Neste sentido, recomenda-se a introdução na modelagem, de fatores edáficos, como água, nutrientes e teor de matéria orgânica no solo que são importantes para o desenvolvimento dos fungos e insetos xilófagos causadores de oco, assim como de fatores climáticos tais como precipitação, temperatura e umidade do ar, por exemplo.

Em nível local, a criar uma base de dados mais robusta, com maior número de árvores amostra nas menores e nas maiores classes de diâmetro do oco e uma distribuição de frequência mais regular ao longo das classes. Isso pode possibilitar a obtenção de equações que permitam estimar os volumes em função apenas do diâmetro na base com precisão aceitável.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V.B. **Impacto da ocorrência de oco no rendimento volumétrico e financeiro da colheita de madeira na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Pará.** 2018. 53 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Belém-PA, 2018.

APOLINÁRIO, F.E.; MARTIUS, C. Ecological role of termites (Insecta, Isoptera) in tree trunks in central Amazonian rainforests. **Forest Ecology and Management**, p. 23–28, 2004.

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE J, Valter.C; FERNANDES, J. Transformação Box-Cox na homocedasticidade e normalidade uni e multivariada em experimentos de batata-doce. *Hortic. Bras. Horticultura Brasileira*. 2016, vol.34, n.1, p.93-101.

BRANZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, Tipuana titu (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP.** 2009. 265 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Recursos Florestais), Piracicaba-SP, 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa n.º 30 de 31 de dezembro de 2002.** Diário Oficial da União, n.º. 238, Brasília, DF, 13 de dez. 2006. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/>> . Acesso em: 29 dezembro. 2019.a.

BRASIL. **Instrução Normativa IDEFLOR n.º 1 de 29 de junho de 2010.** Diário Oficial da União, n.º. 238, Brasília, DF, 13 de dez. 2006. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=148020>. Acesso em: 28 dezembro. 2019.a.

BRASIL. **Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente n.º 5 de 13 de dezembro de 2006.** Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=76720>. Acesso em: 25 janeiro. 2020.a.

BRASÍLIA (DF). **Edital de licitação n.º 001/2009, anexo II, Informações de viabilidade técnica, econômica, sociocultural e ambiental do lote de concessão florestal** [concessão de área florestal]. Ministério do Meio Ambiente, p.40, 24 abril de 2009.

BROW, S.; LUGO, A. E. Aboveground biomass estimates for tropical moist Forest of the Brazilian Amazon. **Interciência**, v. 17, n. 1, p. 8-18, 1992.

BROW, I. F.; MARTINELLI, L. A.; THOMAS, W. W.; MOREIRA, M. Z.; FERREIRA, C. A. C.; VICTORIA, R. A. Uncertainty in the biomass of Amazonia forest: An example from Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 75, p. 175-189, 1995.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal.** Editora UFV: Minas Gerais. 4ª edição, 605 p, 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 3ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 548 p.

CLEMENT, C. R.; HIGUCHI, N. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 44-49, 2006.

COUTO, H. T. Z; BASTOS, N.L.M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **ESALQ-USP, Depto. de Ciências Florestais**, Piracicaba, p. 33-44. 1987.

DANIELLI, F. E. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (sapotaceae) em serraria na nova fronteira madeireira do estado de Roraima, Brasil.** 2013. 82f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais), Manaus-AM, 2013.

DOLCE, O. POMPEO. J. **Fundamentos de Matemática Elementar, 10:** geometria espacial, 5ª ed. São Paulo, 1993.

FEARNSIDE, P. M. Global warming and tropical land-use change: Green house gás emissions from biomass burning, decomposition, shifting cultivation e secondary vegetation. **Clim. Change** 46, 115 -158, 2000.

FIGUEIREDO FILHO, A; MACHADO, S. do A; MIRANDA, R. O. V. de. Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil. **UFV**, p. 306, 2014.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica. 5. ed.** Porto Alegre: AMGH, 2011.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, J. O. P.; PINHEIRO, K. .A. O. Estrutura da população de maçaranduba (*Manilkara huberi* Standley) em 84 ha de floresta natural na fazenda Rio capim, Paragominas, PA. **Revista ciências agrárias**, n. 49. Belém/PA. p.65-76. 2008.

HUSCH, B.; MILLER,C.I; KERSHAW, J. **Forest mensuration.** 4. ed. New Jersey: John Willey e Sons, Inc, 2003. 443 p.

LÚCIO A. D; COUTO M. R. M; LOPES, S; STORCK L. Transformação box-cox em experimentos com pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira** 29: 38-42, 2011.

MENDES, A.S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação.** Brasília: IBDF/DPq –LPF, 1988.10p.

MONDA, Y; KIYONO, Y; CHADDY, A; DAMIAN, C; MELLING, D. Association of growth and hollow stem development in *Shorea alba* trees in a tropical peat swamp forest in Sarawak, Malaysia. **Trees**, n. 32, p. 1357-1364, 2018.

MOREIRA. L.A.; SANTOS. S. B. J.; TEIXEIRA. L. A.; SCHEFFER. V. C. **Geometria espacial.** Editora AS: Londrina. Único edição, 208 p, ano 2018.

NOGUEIRA, E. M.; NESLSON, B. W.; FEARNESIDE, P. M. Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks. **Forest Ecology and Management**, n. 227, p. 14 - 21, 2006.

NOGUEIRA, M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTI-NI, M. **Manejo de Florestas Naturais da Amazônia: Avaliação da árvore selecionada para o abate e o teste de oco**. Manual Técnico IFT 2. Belém, IFT, 30 p. 2011.

IBAMA, **Plano de manejo Florestal Sustentável de Uso Múltiplo, Concessão Florestal na Floresta Nacional Saracá-Taquera** - UMF II, estado do Pará, Brasil. Belém 2011

IBAMA, **Plano de manejo da Floresta Nacional de Saracá – Taquera, estado do Pará**, Brasil. Curitiba, 2001.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: **Livraria Nobel**, 1985. 467p.

RAYNER, A. D. M.; BODDY, L. Fungal Decomposition of Wood: Its Biology and Ecology. **Amoebae and Myxomycetes**, p. 132-134, 1988.

ROLIM, S. G; COUTO, H. D.; JESUS, R. D.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 107-114, 2006.

RUMSEY, D. **Estatística II para leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2014. 434 p.

SECCO, C. **Detecção de ocos em toras utilizando métodos de propagação de ondas ultrassônicas**. 2011. 115 f. Dissertação de Mestrado (mestrado de Engenharia agrícola), Campinas-SP, 2011.

SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.P.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 272p.

Teixeira, E. B. Desenvolvimento em questão. **Editora Unijuí**, v. 1 • n. 2, p.177 – 201. 2003.

ZEVIANI, W. M.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; BONAT, W. H. **Modelos de regressão não-linear**, Curitiba, UFPR: Departamento de Estatística, 2013.

