



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

SANDRA AGUIAR DE OLIVEIRA PIRES

**CRESCIMENTO DE *Carapa guianensis* E *Tetragastris altissima* COMO
SUBSÍDIO PARA O MANEJO EM FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

SANDRA AGUIAR DE OLIVEIRA PIRES

**CRESCIMENTO DE *Carapa guianensis* E *Tetragastris altissima* COMO
SUBSÍDIO PARA O MANEJO EM FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Adriano Ribeiro de Mendonça
Coorientador: Gilson Fernandes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

P667c Pires, Sandra Aguiar de Oliveira, 1992-
Crescimento de *Carapa guianensis* e *Tetragastris altíssima* como
subsídio para o manejo em florestas nativas na Amazônia / Sandra
Aguiar de Oliveira Pires. – 2017.
79 f. : il.

Orientador: Adriano Ribeiro de Mendonça.

Coorientador: Gilson Fernandes da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Crescimento de plantas. 2. Manejo florestal. 3. Amazônia. I.
Mendonça, Adriano Ribeiro de. II. Silva, Gilson Fernandes da. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

**CRESCIMENTO DE *Carapa guianensis* E *Tetragastris altissima* COMO
SUBSÍDIO PARA O MANEJO EM FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA**

Sandra Aguiar de Oliveira Pires

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 17 de Julho de 2017.

Livia Thais Moreira de Figueiredo

Prof.^a Dr.^a Livia Thais Moreira de Figueiredo
(Examinadora externa)
Universidade Federal do Pará

Leonardo Job Biali

Dr. Leonardo Job Biali
(Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo

Adriano Ribeiro de Mendonça

Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça
(Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

*Aos meus pais, com todo meu amor e gratidão.
Vocês me ensinaram a nunca desacreditar, sempre ter fé e nunca desistir.
Eu amo vocês.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus, por renovar minhas forças a cada momento e ser minha sustentação.

Aos meus pais e minhas irmãs, por serem meus grandes incentivadores.

Ao meu orientador, Adriano Ribeiro de Mendonça, pelos ensinamentos e dedicação ao longo dessa etapa.

Ao meu coorientador, Gilson Fernandes da Silva, pelos conselhos e contribuições.

Agradeço à Embrapa Acre pela parceria na pesquisa, em especial aos pesquisadores Marcus Vinício Neves d'Oliveira e Luís Claudio de Oliveira.

Ao meu querido Pedro Melo, pelo companheirismo e paciência.

Às minhas companheiras e amigas adquiridas durante o mestrado Harliany Matias, Julyana Viana, Leticia Paschoa, Mariana Aragão, Taís Rizzo e Thaís Mendes, pela amizade, apoio e momentos compartilhados. Em especial agradeço minha amiga Catherine Claros pelo constante apoio e parceria desde a graduação.

Aos amigos do laboratório de Manejo Florestal pelo apoio, boa convivência e aprendizado mútuo. Em especial agradeço Daniel Binoti, Giovanni Vieira, Livia Figueiredo e Luandson Araújo, pelo auxílio na realização dessa pesquisa.

Agradeço ao Leonardo Biali, pelas sugestões para aprimoramento desse trabalho.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pela oportunidade concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pela concessão da bolsa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, minha eterna GRATIDÃO.

RESUMO

PIRES, Sandra Aguiar de Oliveira. **Crescimento de *Carapa guianensis* e *Tetragastris altissima* como subsídio para o manejo em florestas nativas na Amazônia**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Adriano Ribeiro de Mendonça. Coorientador: Gilson Fernandes da Silva.

O conhecimento do crescimento de espécies florestais é essencial para que a atividade do manejo florestal seja sustentável. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo estudar o crescimento de *Carapa guianensis* Aubl. e *Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart. de modo a subsidiar futuros planos de manejo florestal sustentável. Foram utilizados dados de inventário florestal contínuo (IFC) de quatro parcelas permanentes (PP) de 1,0 hectare, distribuídas numa área de Floresta de Terra Firme no município de Rio Branco, Acre. Cada uma destas parcelas foi dividida em subparcelas com área de 0,01 hectare. As PP foram instaladas no ano de 1992 e remeidas nos anos de 1995, 1999, 2005, 2009 e 2012. Foram mensurados todos os indivíduos com os diâmetros a 1,30 m do solo (*DAP*) maior ou igual a 20 cm nas parcelas e maior ou igual a 5 cm em 20 subparcelas, selecionadas aleatoriamente dentro de cada parcela. Foram ajustados modelos para projeção do diâmetro das árvores das espécies, bem como modelos de predição do incremento periódico anual (*IPA*) em diâmetro. A partir do modelo selecionado para obter o *DAP* das árvores, foi calculado o tempo de passagem por classe diamétrica para cada espécie. A avaliação das estimativas dos modelos foi baseada nas estatísticas: coeficiente de determinação ajustado, raiz quadrada do erro médio e viés. Além dessas estatísticas, também foi realizada análise gráfica dos valores observados *versus* valores estimados; dos resíduos percentuais e histograma da frequência dos erros percentuais. Com base nos resultados obtidos, observou-se que o modelo de *IPA* proporcionou estimativas mais acuradas para o diâmetro futuro de ambas as espécies. Foi observada uma tendência decrescente do tempo de passagem com o aumento das classes de diâmetro para a *C. guianensis* e a *T. altissima*.

Palavras-chave: Tempo de Passagem, Modelo de Árvore Individual, Projeção do Diâmetro.

ABSTRACT

PIRES, Sandra Aguiar de Oliveira. **Growth of *Carapa guianensis* and *Tetragastris altissima* as a subsidy for management in native forests in the Amazon.** 2017. Dissertation (Master Degree in Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Adriano Ribeiro de Mendonça. Co-adviser: Gilson Fernandes da Silva.

The knowledge of the growth of forest species is essential for forest management activity being sustainable. Thus, this work had as objective to study the growth of *Carapa guianensis* Aubl. and *Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart. in order to subsidize future plans for sustainable forest management. Continuous forest inventory (CFI) data were collected from four permanent plots (PP) of 1.0 hectare, distributed in an area of Upland Forest in the municipality of Rio Branco, Acre. Each of the plots were divided into subplots with an area of 0.01 hectare. The PP were installed in the year 1992 and measured again in the years 1995, 1999, 2005, 2009 and 2012. In the plots, all individuals with diameters at 1.30 m of soil (DBH) greater than or equal to 20 cm were measured. Within each plot, 20 subplots were randomly selected, and all individuals with DBH greater than or equal to 5 cm were measured. Models for the projection of the tree diameter's of the species were adjusted, as well as models of prediction of the annual periodic increment (API) in diameter. From the model selected to obtain the DBH of the trees, the time of passage by diameter class for each species was calculated. The evaluation of the model estimates was based on the following statistics: adjusted coefficient of determination, root mean square error and bias. In addition to these statistics, a graphic analysis of the observed values versus estimated values was also performed; of the percent residuals and histogram of the frequency of percent errors. Based on the results obtained, it was observed that the API model provided more accurate estimates for the future diameter of both species. The species *C. guianensis* and *T. altissima* presented a decreasing trend of passage time with increasing diameter classes.

Keywords: Time of Passage, Individual Tree Model, Projection of the Diameter.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos dados da variável diâmetro por espécie.	31
Tabela 2 – Modelos utilizados para projetar o diâmetro das árvores de <i>C. guianensis</i> e <i>T. altissima</i>	31
Tabela 3 – Modelos utilizados para predição do incremento periódico anual das árvores de <i>C. guianensis</i> e <i>T. altissima</i>	33
Tabela 4 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de <i>C. guianensis</i>	36
Tabela 5 – Estatísticas da validação dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de <i>C. guianensis</i>	39
Tabela 6 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas para avaliar o desempenho do modelo Pienaar e Shiver com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de <i>C. guianensis</i>	41
Tabela 7 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de <i>T. altissima</i>	43
Tabela 8 – Estatísticas utilizadas para avaliar a validação dos modelos de projeção do diâmetro para árvores de <i>T. altissima</i>	45
Tabela 9 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas para avaliar o desempenho do modelo Chapman-Richards com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de <i>T. altissima</i>	47
Tabela 10 – Estatísticas utilizadas para avaliar o ajuste da predição do incremento periódico anual e estimativas dos parâmetros dos modelos avaliados para árvores de <i>C. guianensis</i>	49
Tabela 11 – Estatísticas utilizadas para avaliar o ajuste da predição do incremento periódico anual e estimativas dos parâmetros dos modelos avaliados para árvores de <i>T. altissima</i>	52
Tabela 12 – Estatísticas utilizadas para avaliar a aplicação dos modelos de crescimento em diâmetro ao longo do tempo, para cada espécie em estudo.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relações entre crescimento e produção de uma floresta.	19
Figura 2 – Localização das parcelas permanentes (PP) na área da EMBRAPA Acre.	28
Figura 3 – Distribuição por classe de diâmetro dos indivíduos das espécie de <i>C. guianensis</i> e <i>T. altissima</i> inventariadas nas parcelas.....	30
Figura 4 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros do ajuste dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de <i>C. guianensis</i>	38
Figura 5 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros da validação dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de <i>C. guianensis</i>	40
Figura 6 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas do ajuste e da validação do modelo Piennar e Shiver com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de <i>C. guianensis</i>	42
Figura 7 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros do ajuste dos modelos para da projeção do diâmetro de árvores de <i>T. altissima</i>	44
Figura 8 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros da validação dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de <i>T. altissima</i>	46
Figura 9 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas do ajuste e da validação do modelo Chapman-Richards com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de <i>T. altissima</i>	48
Figura 10 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de <i>IPA</i> médio para árvores de <i>C. guianensis</i>	51
Figura 11 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de <i>IPA</i> médio para árvores de <i>T. altissima</i>	53

Figura 12 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de <i>DAP</i> para árvores de <i>C. guianensis</i> .	56
Figura 13 – Gráficos dos valores observados <i>versus</i> estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de <i>DAP</i> para árvores de <i>T. altissima</i> .	57
Figura 14 – Tempo de passagem entre classes de diâmetro para a espécie <i>C. guianensis</i> .	58
Figura 15 – Tempo de passagem entre classes de diâmetro para a espécie <i>T. altissima</i> .	59

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Idade relativa e tempo de passagem, por classe de diâmetro, para a espécie <i>C. guianensis</i>	71
Apêndice B – Idade relativa e tempo de passagem, por classe de diâmetro, para a espécie <i>T. altissima</i>	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Manejo florestal	16
3.2. Crescimento das árvores	17
3.3. Modelos de crescimento e produção	20
3.4. Modelos de árvore individual	23
3.5. Tempo de passagem	24
3.6. Caracterização das espécies em estudo	25
3.6.1. <i>Carapa guianensis</i>	25
3.6.2. <i>Tetragastris altissima</i>	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. Caracterização da área de estudo	28
4.2. Caracterização e processamento dos dados	29
4.3. Modelos de projeção do diâmetro	31
4.4. Modelos de predição do incremento periódico anual	32
4.6. Obtenção do tempo de passagem das espécies analisadas	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1. Projeção do diâmetro das espécies analisadas	36
5.1.1. <i>Carapa guianensis</i>	36
5.1.2. <i>Tetragastris altissima</i>	42
5.2. Predição do incremento periódico anual médio	48
5.2.1. <i>Carapa guianensis</i>	48
5.2.2. <i>Tetragastris altissima</i>	52
5.3. Comparação entre os modelos analisados na projeção do diâmetro	55
5.4. Tempo de passagem das espécies analisadas	58
6. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICES	71

1. INTRODUÇÃO

A gestão sustentável das florestas tropicais para produção de madeira requer sistemas adequados para a previsão do crescimento e da produção futura (ALDER; SILVA, 2000). Uma estratégia de ação é o manejo florestal sustentável (MFS), que constitui uma alternativa que busca uma produção sustentada dos recursos florestais com a redução dos impactos sobre o meio ambiente.

Os planos de manejo florestal sustentável (PMFS) em florestas Amazônicas fundamentam-se em diretrizes técnicas para a sua elaboração e execução. Na Amazônia brasileira a legislação determina, para PMFS que prevê o uso de máquinas para o arraste de toras, uma intensidade máxima de corte de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, um ciclo de corte de 25 a 35 anos e um diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 centímetros para espécies que ainda não se estabeleceu o DMC específico (BRASIL, 2009). No entanto, esse modelo de MFS aplicado às florestas nativas não leva em consideração as diferentes taxas de crescimento das espécies florestais. Por exemplo, espécies com alta densidade da madeira podem demandar mais tempo para atingir o DMC, enquanto espécies com madeira de baixa densidade podem atingir antes do tempo estabelecido. Essas diferenças nas taxas de crescimento das espécies denotam que os sistemas policíclicos adotados podem não alcançar a sustentabilidade (SCHÖNGART, 2008).

A floresta amazônica é formada por aproximadamente 16.000 espécies arbóreas, sendo que 227 (1,4%) correspondem a metade de todas as árvores (TER STEEGE et al., 2013). Destas espécies amazônicas, apenas algumas são de interesse comercial para a indústria madeireira e, por isso, é imprescindível um sistema de gestão silvicultural e controle específico por espécie (CUNHA; FINGER; HASENAUER, 2016). Nesse contexto, taxas de corte que respeitem os diferentes ritmos de crescimento podem proporcionar maior garantia da sustentabilidade do ecossistema (BRAZ et al., 2012).

Diante dessa ótica, os modelos de crescimento e produção tornam-se essenciais para a prognose do crescimento e da produção de florestas nativas. A modelagem, aliada a uma amostragem adequada, permite prognoses de alto grau de confiabilidade (ABREU et al., 2002). Ainda, possibilitam retratar uma síntese da dinâmica da floresta, além de fazer projeções em diferentes níveis de detalhamento (povoamento, classe de diâmetro e árvore individual) (VANCLAY, 1994).

Atualmente, na Amazônia, os modelos de crescimento e produção não são empregados para prever o estoque futuro, promovendo uma incerteza ambiental e econômica do MFS. Com o crescimento estimado, pode-se obter informações essenciais na definição de estratégias de planejamento dessa atividade, além de permitir estabelecer um ciclo de corte e uma intensidade de exploração mais compatível com o crescimento da floresta (REIS et al., 2016).

Dentre as possibilidades de modelagem, destacam-se os modelos de árvores individuais (MAI), que permitem obter maior detalhamento da estrutura florestal, possibilitando o conhecimento do crescimento de cada árvore dentro do povoamento. Estudos vêm sendo desenvolvidos buscando encontrar modelos que melhor propiciem a projeção do crescimento de populações e espécies florestais (ADAME et al., 2008; CASTRO et al., 2013; CHASSOT et al., 2011; COLPINI et al., 2010; CUNHA; FINGER; HASENAUER, 2016; DELLA-FLORA; DURLO; SPATHELF, 2004; MARTINS; SOARES; SILVA, 2014; STEPKA et al., 2012). Contudo, ainda são escassas as informações acerca do crescimento de muitas espécies florestais Amazônicas com interesse econômico para produção madeireira, destacando-se, portanto, a relevância desses estudos dentro dessa temática.

Dentre essas espécies comerciais madeireiras presentes na região Amazônica, encontram-se a *Carapa guianensis* Aubl. e a *Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart., popularmente conhecidas como andiroba e breu-vermelho, respectivamente. A *T. altissima*, além de apresentar potencial para uso comercial, é de grande relevância para a ecologia do habitat florestal, apresentando bom estabelecimento de novos indivíduos e elevada taxa de sobrevivência (MEWS et al., 2012). Já a *C. guianensis* é uma espécie de uso múltiplo, com grande potencial de exploração madeireira e não madeireira, sendo uma das espécies mais valiosas da floresta amazônica (COSTA; MORAIS, 2013; FERRAZ; CAMARGO; SAMPAIO, 2002). Atualmente, essas espécies são exploradas de acordo com as diretrizes técnicas estabelecidas pela legislação. Entretanto, pouco se sabe a respeito do ritmo de crescimento das mesmas para que se possa inferir sobre a sustentabilidade dessa prática. Nesse contexto, evidencia-se os MAI como ferramenta para o conhecimento do crescimento e para subsidiar o manejo dessas espécies.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar o crescimento em diâmetro de árvores de *Carapa guianensis* e *Tetragastris altissima*, fornecendo subsídios para futuros planos de manejo florestal sustentável na Amazônia.

2.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos para *C. guianensis* e *T. altissima*:

- a) Avaliar diferentes modelos de projeção do diâmetro das árvores;
- b) Avaliar diferentes modelos de predição do incremento periódico anual (IPA) em diâmetro;
- c) Comparar o melhor modelo selecionado em “a” e “b” na estimativa do diâmetro futuro;
- d) Calcular o tempo de passagem por classe diamétrica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Manejo florestal

A atividade do manejo florestal sustentável pode ser definida como

Administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal (BRASIL, 2006, p. 2).

Já a Organização Internacional das Madeiras Tropicais (OIMT) e a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) afirmam que

O Manejo Florestal Sustentável é o processo de gestão permanente de áreas florestais para atingir um ou mais objetivos claramente especificados de manejo, visando à produção de um fluxo contínuo de produtos e de serviços florestais desejáveis, sem a indevida redução de seus valores intrínsecos e produtividade futura e sem efeitos indesejáveis sobre os meios físicos e social (ITTO/IUCN, 2009, p. 79).

O MFS é geralmente definido como um equilíbrio entre os valores sociais, econômicos e ambientais associados com os recursos florestais, além de considerar esses valores para as gerações futuras (HICKEY, 2008). Dessa forma, permite a conservação do meio ambiente e o uso da madeira de forma planejada, de modo a garantir a manutenção da floresta (PINHO et al., 2009) e proporcionar uma produção contínua (SABOGAL et al., 2006).

Até 1994, o MFS era praticamente inexistente na Amazônia Legal. Já em 2006, o avanço nas técnicas aplicadas, a pressão do mercado externo por madeira legal e sustentável e a melhoria da fiscalização ambiental, desencadeou em mais de seis milhões de hectares de áreas manejadas (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). De 2005 a 2015, a área de florestas naturais certificadas dobrou e apesar do desmatamento contínuo, os níveis de desmatamento caíram drasticamente (OIMT, 2015).

Apesar dessa redução, a exploração ilegal de madeira e práticas não sustentáveis de gestão florestal persistem por várias razões, podendo-se citar a baixa infraestrutura e a falta de consciência da importância do MFS e seus

benefícios potenciais (OIMT, 2015). No entanto, a adoção do manejo florestal sustentável deve aumentar com o aumento de áreas disponibilizadas para concessão florestal, juntamente com o combate à produção de madeira de forma ilegal (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

O setor madeireiro é responsável por mais de 80% da renda bruta do setor florestal regional na Amazônia (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). O Brasil está entre os três principais países produtores de madeira tropical em tora, sendo os principais estados produtores: Pará, Amazonas e Mato Grosso (OIMT, 2015). Contudo, destaca-se que o valor da floresta excede o setor madeireiro. As florestas também apresentam papel essencial na prestação de serviços ambientais, incluindo a regulação do clima, conservação da biodiversidade e proteção de bacias hidrográficas. Além disso, as florestas apresentam importância quanto aos produtos não madeireiros produzidos, como óleos, frutos, resinas, entre outros, os quais apresentam relevância econômica e social para mais de dois milhões de pessoas na Amazônia (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). Dessa forma, medidas que proporcionem a manutenção dos benefícios econômicos, sociais e ambientais são extremamente importantes.

Nesse contexto, o manejo florestal apresenta-se como uma atividade econômica que garante a manutenção da cobertura florestal natural (FIGUEIREDO; BRAZ; OLIVEIRA, 2007). Esta técnica é vista como um componente-chave para a conservação da biodiversidade, além de garantir a melhoria dos rendimentos em florestas tropicais (BRANDT; NOLTE; AGRAWAL, 2016). Desse modo, técnicas que permitam aperfeiçoar a atividade do manejo florestal são relevantes, de forma que se garanta a manutenção da biodiversidade e a exploração racional dos recursos florestais.

3.2. Crescimento das árvores

O crescimento de uma árvore pode ser definido como uma alteração decorrente em qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume e biomassa (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005), provocando mudanças no seu peso, forma e volume (HUSCH; BEERS; KERSHAW JR., 2003). A quantidade total do volume, ou outra variável, acumulada num determinado tempo expressa a produção (CAMPOS; LEITE, 2017).

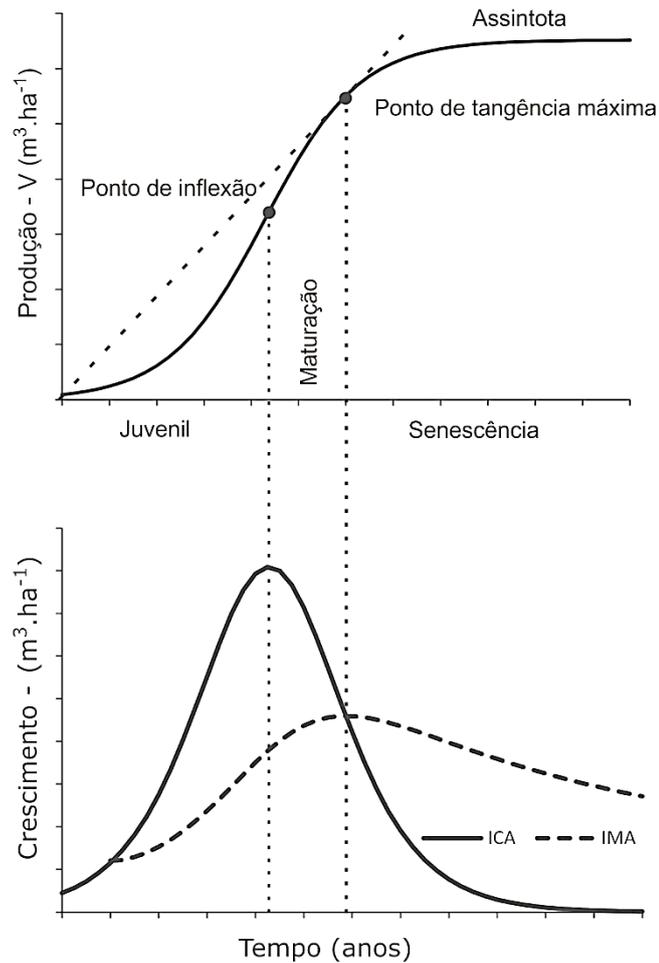
O ritmo de crescimento de uma árvore é influenciado por suas características genéticas e sua interação com os fatores ambientais como o clima, o solo e a topografia (PRODAN et al., 1997). Além desses fatores, a competição entre as árvores também influencia no crescimento (HUSCH, BEERS, KERSHAW JR., 2003). Dessa forma, as taxas de crescimento entre as espécies existentes são altamente variáveis, bem como entre os indivíduos pertencentes a uma mesma espécie.

Embora o crescimento seja resultado de complexas interações (SOUZA; SOARES, 2013), quando as dimensões de uma floresta são plotadas em função do tempo, ou idade, a curva gerada, designada por curva de crescimento acumulado ou produção, apresenta-se caracteristicamente em forma de “S” ou sigmoide. Ainda que a forma exata da curva mude de acordo com a variável que está sendo plotada (altura, diâmetro, área basal e volume), essa se mantém com as mesmas características (HUSCH; BEERS; KERSHAW JR., 2003).

Basicamente, a curva de crescimento acumulado pode ser dividida em três fases distintas (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008) (Figura 1). No período inicial ou juvenil, a taxa de crescimento aumenta rapidamente até atingir o ponto de inflexão na curva de produção (HUSCH; BEERS; KERSHAW JR., 2003), fazendo coincidir com o ponto de máximo incremento corrente anual (ICA) (CAMPOS; LEITE, 2017).

Na segunda fase, denominado de período de maturação, a taxa de crescimento diminui e verifica-se a interseção entre as curvas de incremento médio anual (IMA) e ICA. Esse ponto, onde também ocorre o máximo IMA, coincide com o ponto de tangência máxima na curva de produção (CAMPOS; LEITE, 2017). Por fim, a partir desse ponto as taxas de crescimento são decrescentes, caracterizando a terceira fase denominada de senescência ou declínio (ASSMANN, 1970).

Figura 1 – Relações entre crescimento e produção de uma floresta.



Fonte: adaptado de Campos e Leite (2017)

Apesar da curva de crescimento acumulada em diâmetro apresentar essa mesma tendência sigmoide, a mesma torna-se mais curvilínea. Isso ocorre uma vez que o diâmetro é usualmente medido à altura do peito, e este só é mensurado a partir de um limite mínimo de crescimento. Conseqüentemente, devido parte do crescimento precoce ser antes do início da medição, as curvas podem não refletir os padrões de crescimento inicial (HUSCH; BEERS; KERSHAW JR., 2003).

Dentro de um intervalo de tempo, o crescimento é comumente expresso por meio do incremento. O manejo florestal em regime sustentado requer informações sobre o incremento em diâmetro das espécies florestais (SILVA et al., 2002), principalmente, quando se refere à produção de madeira comercial para atender à demanda das indústrias (COSTA; SILVA; CARVALHO, 2008).

De acordo com o período compreendido, pode-se diferenciar os seguintes incrementos (CAMPOS; LEITE, 2017; FINGER, 1992; SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008; SCOLFORO, 2006):

- Incremento corrente anual (ICA): corresponde ao crescimento ocorrido no período de um ano;
- Incremento médio anual (IMA): expressa a taxa média de crescimento anual a partir da idade zero até uma idade particular;
- Incremento periódico (IP): refere-se ao crescimento ocorrido entre duas idades quaisquer;
- Incremento periódico anual (IPA): representa a média do crescimento anual ocorrido entre duas idades quaisquer.

Conhecer a taxa de crescimento é essencial para a elaboração de planos de manejo em regime sustentado, uma vez que existe a necessidade de se estabelecer o ciclo de corte e o volume a ser explorado periodicamente (MATTOS, 2007). Esse conhecimento é de grande relevância para o ordenamento e credibilidade de um plano de manejo florestal sustentável (MENDONÇA, 2003).

Uma alternativa relativamente rápida para se obter o registro do crescimento passado de uma árvore é por meio de análise do tronco (HUSCH, BEERS, KERSHAW JR., 2003), fazendo-se a medição dos seus anéis anuais. No entanto, nas florestas tropicais, esses estudos tornam-se limitados, uma vez que nem sempre as espécies apresentam anéis de crescimento visíveis e contínuos. Nesse caso, as informações do crescimento devem ser obtidas por meio de medições e remedições em parcelas permanentes (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005). Diversos estudos de crescimento foram desenvolvidos em parcelas permanentes instaladas em florestas nativas na Amazônia (COLPINI et al., 2010; COSTA; SILVA; CARVALHO, 2008; CARVALHO; SILVA; LOPES, 2004; NASCIMENTO et al., 2013; VIDAL; VIANA; BATISTA, 2002), entre outras regiões do país (SCHAAF et al., 2005; SCOLFORO et al., 1996; SOUZA et al., 1993; SILVA; SOUZA; JESUS, 1999).

3.3. Modelos de crescimento e produção

A fim de que se possa realizar intervenções nos povoamentos florestais, por meio da silvicultura e manejo, é essencial um planejamento que considere a situação corrente e o provável desenvolvimento da floresta. Nesse contexto, os

modelos que estimam o crescimento e produção representam importantes ferramentas de prognose e planejamento florestal (HASENAUER, 2000).

A estimativa do crescimento e produção florestal é algo implícito ao manejo (BURKHART; BROOKS, 1990). Assim, os modelos de crescimento e produção auxiliam no processo de tomada de decisão dos pesquisadores e gestores florestais. Por meio destes, é possível simular a dinâmica natural de um povoamento, de modo a simular a sua produção ao longo do tempo (VANCLAY, 1994). Uma prognose adequada possibilita a adoção de medidas apropriadas ao manejo de uma floresta sob regime de rendimento sustentado (COLPINI et al., 2010). Dessa forma, a floresta, seja ela composta por vegetação nativa ou plantada, poderá ser administrada baseando-se em critérios técnicos (SCOLFORO, 2006) e científicos.

Os modelos de crescimento e produção são geralmente representados por meio de equações que descrevem as relações entre variáveis de crescimento do povoamento (NEWTON, 2007). De acordo com Vanclay (1994), a função de produção estima a variável de interesse em uma ocasião futura, enquanto que uma função de crescimento estima o incremento durante um período específico. Funções de produção são caracterizadas por modelos de projeção e funções de crescimento por modelos de predição. Ambos se baseiam no ajuste de modelos de regressão, linear ou não linear (CASTRO et al., 2013), e podem ser classificados de acordo com o nível de detalhamento (HUSCH; BEERS; KERSHAW, 2003; PENG, 2000). De maneira geral, se classificam em: modelos de povoamento total (MPT); modelos de distribuição diamétrica (MDD) e modelos de árvore individual (MAI) (CAMPOS; LEITE, 2017; DAVIS et al., 2005; VANCLAY, 1994).

Os MPT não explicam diretamente a variação que ocorre no tamanho das árvores dentro do povoamento, mas eles fornecem estimativas do crescimento ou da produção por unidade de área e requerem relativamente pouca informação para simular o crescimento de uma floresta (CAMPOS; LEITE, 2017; VANCLAY, 1994). Esse tipo de modelo estima o crescimento e a produção a partir de atributos em nível de povoamento como idade, área basal e índice de local (CAMPOS; LEITE, 2017).

Já os MDD são estimados por classe de diâmetro e a produção total é obtida a partir da soma da variável de interesse em todas as classes (CAMPOS; LEITE, 2017). Esses modelos permitem quantificar a produção madeireira destinada a diferentes finalidades, ou seja, a produção de madeira destinada a multiprodutos.

Por fim, os MAI permitem estimar o crescimento de cada árvore dentro de uma floresta, sendo a árvore a unidade básica de modelagem usada para simular o crescimento. Esses modelos são constituídos por três submodelos: crescimento dimensional (altura e diâmetro), regeneração (recrutamento ou ingresso) e mortalidade (CAMPOS; LEITE, 2017; HASENAUER, 2000; HASENAUER, 2006).

Há uma extensa literatura sobre a modelagem do crescimento de povoamentos florestais plantados. No entanto, muitas dessas abordagens de modelagem não se aplicam aos povoamentos florestais com árvores de diferentes espécies e idades, pois estas apresentam uma grande diversidade de indivíduos com tamanhos e ritmos de crescimento diferentes (VANCLAY, 1994). Modelos utilizados em florestas inequiâneas geralmente não envolvem idade ou índice do sítio como variáveis preditoras (BURKHART; TOMÉ, 2012), as quais são comumente empregadas em modelos de crescimento de florestas plantadas (SCOLFORO, 2006). Isso é atribuído ao fato de que nessas florestas a idade é de difícil obtenção.

Para modelar povoamentos inequiâneos, o crescimento de cada uma das árvores deve ser avaliado individualmente (BRUCE; WENCEL, 1988). Dessa forma, os MAI apresentam potencial para essas aplicações. Embora sejam de construção mais complexa que os outros tipos de modelos, permitem um maior detalhamento da estrutura florestal (DELLA-FLORA; DURLO; SPATHELF, 2004).

Em suma, a escolha e aplicação do modelo a ser utilizado dependerão dos objetivos pretendidos e dos dados e das informações disponíveis (CAMPOS; LEITE, 2017). No entanto, o modelo escolhido deverá ser capaz de fornecer estimativas lógicas e consistentes para o nível de detalhe requerido, de modo que permita obter estimativas adequadas para atender ao objetivo proposto. Além de uma avaliação qualitativa do modelo, isto é, se o mesmo apresenta realismo biológico para o componente avaliado, deve-se considerar uma análise quantitativa, em que são aplicados testes estatísticos e realizadas comparações de prognoses com observações independentes das utilizadas para o ajuste (validação) (SOARES et al., 1995).

3.4. Modelos de árvore individual

Os modelos de árvore individual permitem simular o crescimento dimensional (diâmetro e altura), regeneração e mortalidade de cada árvore dentro do povoamento (VANCLAY, 1994). Já o desenvolvimento da floresta é captado pela agregação das modificações observadas em cada indivíduo (HASENAUER, 2000). Esse tipo de modelo fornece resultados mais detalhados, possibilitando a obtenção de informações sobre a estrutura e dinâmica do povoamento. No entanto, para que se possa realizar a modelagem por meio dos MAI, são necessárias informações específicas do tamanho de cada árvore dentro da floresta.

Ao adotar o MAI, índices que expressem a competição entre as árvores são comumente utilizados como variáveis preditoras (RADTKE; WESTFALL; BURKHART, 2003). Isso pode ser atribuído ao fato de que a competição reduz o crescimento, sobretudo o crescimento em diâmetro, e aumenta a probabilidade de mortalidade (WEISKITTEL et al., 2011), influenciando no crescimento e na dinâmica florestal.

A maneira com que o índice de competição é obtido identifica se o mesmo é classificado como dependente ou independente da distância, conforme categorizado por Munro em 1974 (BURKHART; TOMÉ, 2012). O primeiro caso considera a distância e o porte das árvores vizinhas, o que demanda o conhecimento do arranjo espacial dos indivíduos, ou seja, são necessárias informações da localização das árvores vizinhas à árvore-objeto, diferentemente do segundo caso em que a competição não é avaliada pela localização dos indivíduos (CAMPOS; LEITE, 2017; CLUTTER et al., 1993). Outra categoria pode ser considerada é denominada de semi-independentes da distância. Estes índices foram propostos por Stage e Ledermann (2008) e consideram como competidoras o conjunto de árvores vizinhas contidas em parcelas circulares ao redor da árvore objeto.

A modelagem de árvore individual vem sendo desenvolvida principalmente em países europeus e norte-americanos (CHASSOT et al., 2011). No Brasil, a maioria dos trabalhos desenvolvidos empregaram apenas submodelos que integram os modelos de árvore individual. Além disso, a maior parte desses trabalhos foi elaborada para florestas plantadas, sendo escassos os trabalhos voltados à espécies nativas Amazônicas.

Phillips et al. (2004) aplicaram um modelo de incremento individual na floresta amazônica brasileira. O modelo utilizado tinha como variáveis independentes o diâmetro a 1,30m do solo (*DAP*) e um índice de competição. O mesmo foi aplicado para dez grupos de espécies florestais, agrupados conforme características das espécies. Formulando modelos de crescimento em florestas mistas por meio da modelagem do incremento de *Nectandra megapotamica*, Della-Flora, Durlo e Spathelf (2004), verificaram que foi possível explicar o incremento da espécie sem conhecer a idade, mediante a utilização de modelos que usam como variáveis independentes as características dimensionais das árvores, índices de competição e aspectos do sítio. Estudando o crescimento em diâmetro em árvores individuais de *Araucaria angustifolia* ocorrentes em Floresta Ombrófila Mista, Chassot et al. (2011), verificaram que a variável mais correlacionada com o diâmetro futuro foi o diâmetro atual. Cunha, Finger e Hasenauer (2016), modelando o incremento em área basal de *Cedrela odorata*, *Amburana cearensis*, *Copaifera pauper* e *Swietenia macrophylla* na Amazônia, encontraram uma correlação significativa entre o incremento e o comprimento da copa e a diminuição da competição.

3.5. Tempo de passagem

Uma forma de descrever a dinâmica do crescimento em diâmetro de espécies florestais consiste em estimar o tempo de duração das fases de crescimento, obtido a partir do cálculo do tempo de passagem (TP) (SOUZA et al., 1993). O TP pode ser definido como o tempo médio necessário para que todas as árvores de uma classe de diâmetro passem para a classe seguinte (SCOLFARO et al., 1996). Esse método permite estimar a taxa de movimentação das árvores entre as classes de diâmetro, por meio da aplicação de cálculos bastante simples (VANCLAY, 1994). A metodologia assume uma relação inversamente proporcional entre o TP e o crescimento em diâmetro, uma vez que quanto maior for o incremento da árvore, menor será o TP, e vice-versa.

O TP foi citado por Bragg e Henry em 1985 como um método capaz de projetar as distribuições diamétricas no futuro, tendo como base o conhecimento do incremento periódico anual em diâmetro e o número de árvores por classe diamétrica (SOUZA et al., 1993). Dessa forma, torna-se possível quantificar o período necessário para que as árvores atinjam uma determinada classe, tal como o

diâmetro mínimo de corte. Essa metodologia oferece perspectivas, sobretudo se aplicada em nível de espécies ou grupos de espécies, permitindo obter projeções futuras para a organização e produção sustentável de florestas naturais. O método está sujeito a contínuas verificações, críticas e sugestões ou mesmo a eventuais correções (ARAÚJO et al., 1993).

Alguns pesquisadores desenvolveram estudos aplicando o método do tempo de passagem para espécies e povoamentos florestais: Araújo et al. (1993) estimaram o ciclo de corte em uma floresta atlântica no estado do Espírito Santo; Souza et al. (1993) analisaram a dinâmica de crescimento em diâmetro em povoamentos florestais nativos no Espírito Santo; Scolforo et al. (1996) estudaram o crescimento e a produção em diâmetro e área basal de espécies de uma floresta Semidecídua Montana em Minas Gerais; Silva, Souza e Jesus (1999) definiram o ciclo de corte para uma floresta natural secundária em Minas Gerais; Oliveira (2014) estudou o padrão de crescimento de *Goupia glabra* e *Qualea albiflora* em florestas tropicais do Mato Grosso; Santos et al. (2016) determinaram a idade relativa e o tempo de passagem de indivíduos de *Eremanthus incanus* em uma área de recuperação em Diamantina, MG.

3.6. Caracterização das espécies em estudo

3.6.1. *Carapa guianensis*

A *Carapa guianensis*, conhecida popularmente como andiroba, pertence à família Meliaceae e é uma espécie de uso múltiplo. A madeira e o óleo extraído de suas sementes são os produtos mais importantes da espécie (FERRAZ, 2003; FERRAZ; CAMARGO; SAMPAIO, 2002). A madeira de andiroba é considerada de excelente qualidade, sendo amplamente utilizada em serrarias e o seu óleo é empregado para diversos fins, possuindo demanda nacional e internacional (SHANLEY; MEDINA, 2005).

A andiroba ocorre em toda região Amazônica, em várzeas secas e alagadiças, beira de rios e igarapés (LORENZI, 2008). A árvore é caracterizada como de sub-dossel ou dossel e apresenta madeira moderadamente pesada (densidade 0,70 a 0,75 g cm⁻³), podendo ser empregada na construção civil, caixotaria, lâminas, carpintaria, marcenaria, mobiliário, entre outros (FERRAZ;

CAMARGO; SAMPAIO, 2002). Essa espécie pode ser utilizada na ornamentação e no paisagismo (LORENZI, 2008), além de apresentar potencial para uso em sistemas agroflorestais e enriquecimento de capoeiras (SHANLEY; MEDINA, 2005). O óleo extraído de suas sementes possui ampla demanda para uso medicinal e cosmético (FERRAZ; CAMARGO; SAMPAIO, 2002). A coleta das sementes para produção do óleo necessita de pouco investimento em comparação com a exploração da madeira, além de ser não destrutiva e assegurar um retorno econômico para as comunidades rurais (COSTA; MORAIS, 2013).

A alta demanda pela madeira dessa espécie é atribuída a escassez de outras espécies da família Meliaceae como o cedro (*Cedrela fissilis*) e o mogno (*Swietenia macrophylla*) (RAMOS, 2003), sendo comumente comparada a madeira de mogno (SHANLEY; MEDINA, 2005). A andiroba é uma espécie tolerante a sombra nas etapas iniciais de seu desenvolvimento, contudo, requer um elevado grau de iluminação nas fases intermediárias até a maturidade, aumentando o seu crescimento se ocorrer abertura no dossel, isto é, a espécie tolera a sombra, mas não a requer (MACIEL et al., 2003).

Em florestas da Amazônia brasileira, a andiroba pode atingir alta abundância, podendo estar entre as espécies que dominam o componente arbóreo (OLIVEIRA, 1994; SALOMÃO et al., 2007; QUARESMA; JARDIM, 2013; SANTOS; MIRANDA; TOURINHO, 2004). Essa abundância, em conjunto com as diferentes possibilidades de uso, favorece a combinação do manejo madeireiro e não madeireiro (GUARINO et al., 2014). Dessa forma, existe a necessidade de conservar este recurso natural, sendo necessário adquirir informações sobre a espécie para desenvolver seu manejo de forma apropriada (FERRAZ; CAMARGO; SAMPAIO, 2002).

3.6.2. *Tetragastris altissima*

A *Tetragastris altissima* pertence à família Burseraceae (ABSY; PRANCE; BARBOSA, 1987) e é conhecida popularmente como breu-vermelho. Apresenta madeira moderadamente pesada, com uma densidade de 0,74 g cm⁻³ (HIDAYAT; SIMPSON, 1994).

No Brasil, tem ocorrência na Amazônia e no Cerrado, abrangendo as regiões norte, nordeste e centro-oeste do país. A espécie está presente em florestas primárias e secundárias, apresentando boa regeneração na sombra e em clareiras

(OBERMÜLLER et al., 2011). Essa espécie destacou-se em diversos estudos florísticos na região Amazônica, onde esteve entre os indivíduos com maior índice de valor de importância (ALMEIDA et al., 2012; ARAÚJO, 2006; BESSA, 2014; CLAUDINO et al., 2015; MALHEIROS; HIGUCHI; SANTOS, 2009).

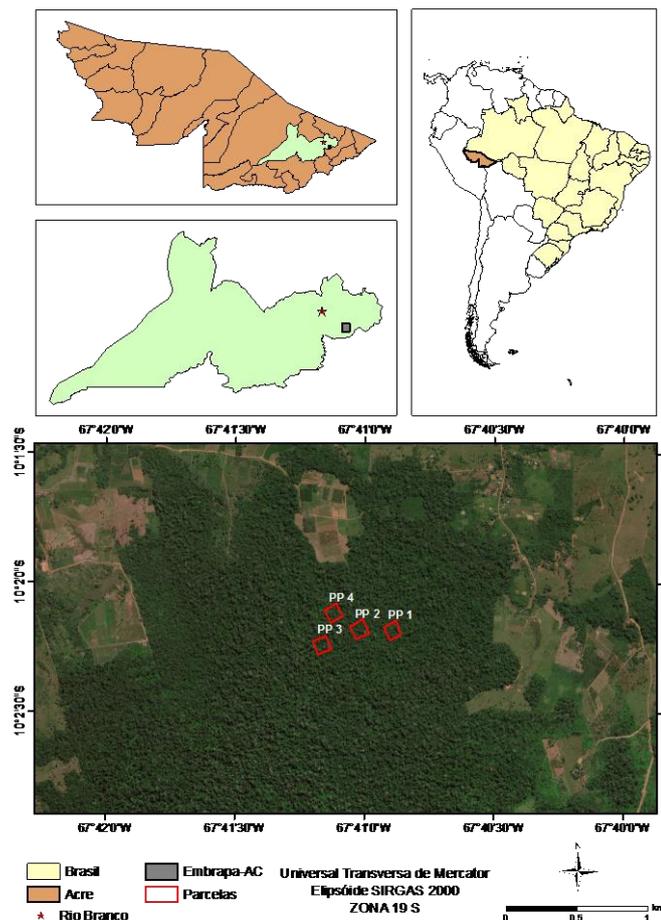
O breu-vermelho é caracterizado como árvore de dossel, alcançando grande diâmetro (SALOMÃO et al., 1995). Sua madeira pode ser empregada na construção civil e produção de carvão vegetal e o exsudato de sua casca utilizado para essências e uso medicinal (RIBEIRO et al., 2013). Além disso, a espécie apresenta potencial para estudos que visam identificar indivíduos para restauração de áreas alteradas; demonstrando características desejáveis para ser indicada ao manejo florestal e recuperação de áreas degradadas, uma vez que apresenta bom estabelecimento de novos indivíduos e elevada taxa de sobrevivência (MEWS et al., 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Acre – EMBRAPA Acre, localizada no município de Rio Branco, Acre, entre as coordenadas geográficas 10°01'22" e 10°04'14" de latitude sul e 67°40'3" e 67°42'43" de longitude oeste (RODRIGUES et al., 2001). A área florestal da EMBRAPA Acre possui aproximadamente 800 ha e faz fronteira com duas propriedades onde existem pastagens formadas (OLIVEIRA; BRAZ, 1998). Na Figura 2 estão ilustradas as parcelas permanentes utilizadas para o estudo, distribuídas na área de manejo florestal.

Figura 2 – Localização das parcelas permanentes (PP) na área da EMBRAPA Acre.



A cobertura vegetal da área é caracterizada por uma floresta predominantemente aberta com presença de tabocas (*Quadua* sp.). De maneira geral, apresenta características estruturais e de composição semelhante a outras Florestas de Terra Firme no estado do Acre (OLIVEIRA; BRAZ, 1998).

Os solos que ocorrem nas parcelas são o Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo com textura média/argilosa, apresentando como principais limitações baixas fertilidades naturais. A superfície é caracterizada pela existência de áreas onde a topografia varia entre relevo plano a suave ondulado e ondulado (RODRIGUES et al., 2001).

O clima da região é do tipo equatorial quente e úmido, caracterizado por temperaturas elevadas, altos índices de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar. A temperatura média anual permanece em torno de 24,5°C, enquanto a máxima é cerca de 32°C, aproximadamente uniforme para todo o estado (ACRE, 2010).

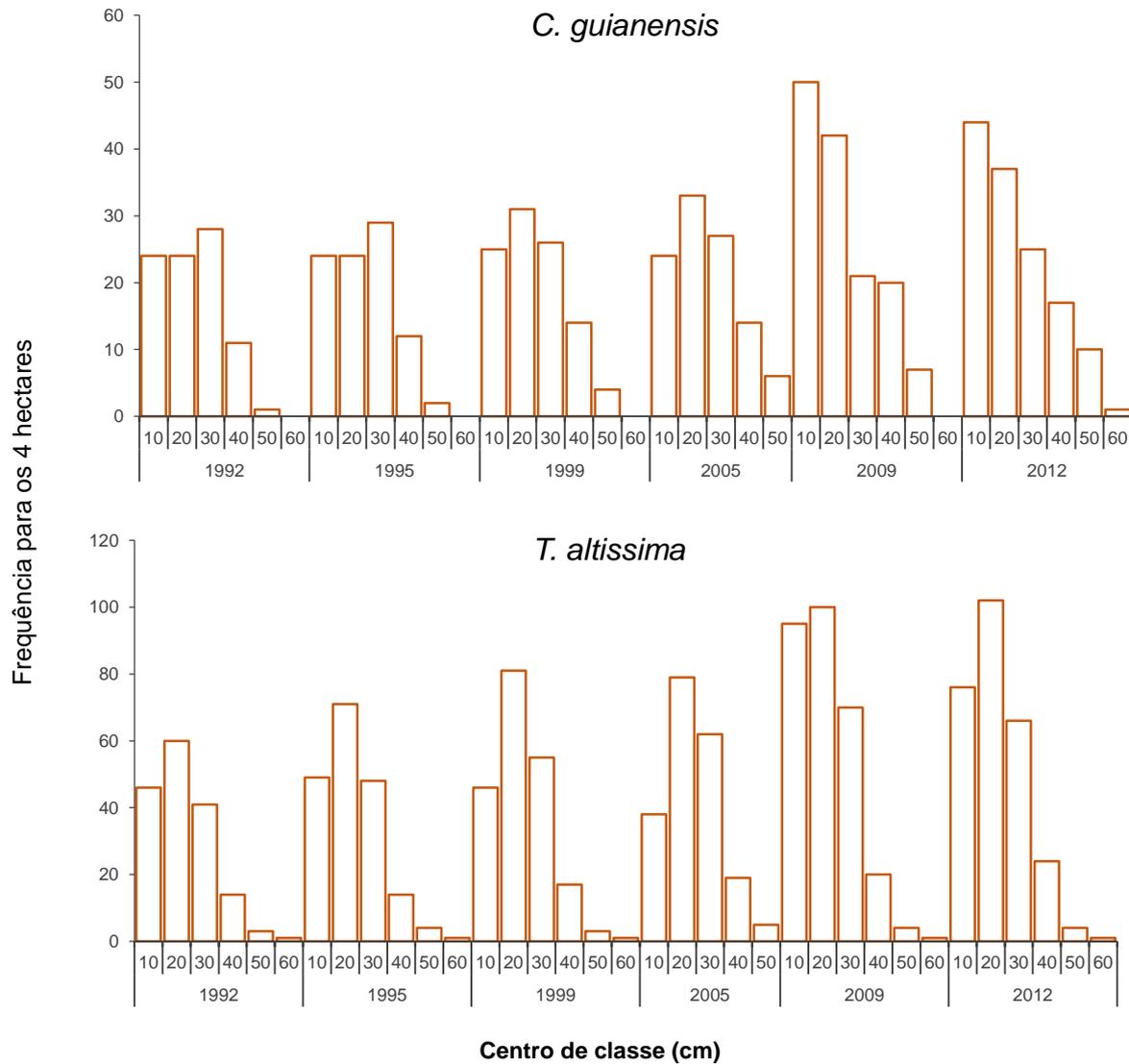
4.2. Caracterização e processamento dos dados

Os dados utilizados são provenientes de inventário florestal contínuo (IFC) de quatro parcelas permanentes de 1,0 hectare cada. Cada uma destas parcelas foi dividida em subparcelas com área de 0,01 hectare. As parcelas foram instaladas no ano de 1992, ano em que ocorreu a primeira medição, e remeidas nos anos de 1995, 1999, 2005, 2009 e 2012.

Nos inventários, foram identificados, plaqueteados e mensurados todos os indivíduos com os diâmetros a 1,30 m do solo (*DAP*) maior ou igual a 20 cm nas parcelas e maior ou igual a 5 cm em 20 subparcelas, selecionadas aleatoriamente dentro de cada parcela. Indivíduos mortos, assim como aqueles que atingiram o *DAP* mínimo de inclusão a cada ocasião (ingresso), foram registrados e computados. As parcelas 2 e 4 sofreram exploração no ano de 1992, não sendo feita nenhuma intervenção após esse período.

Das espécies inventariadas, foram selecionadas as espécies comerciais *Carapa guianensis* e *Tetragastris altissima* para o estudo. Na Figura 3 é apresentada a distribuição diamétrica para cada uma destas espécies nas ocasiões onde foi realizado o IFC.

Figura 3 – Distribuição por classe de diâmetro dos indivíduos de *C. guianensis* e *T. altissima* nas parcelas em cada ocasião.



As estatísticas descritivas da variável diâmetro, para cada espécie estudada, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos dados da variável diâmetro por espécie.

Espécie	Ano	DAP (cm)			CV (%)	N
		Mínimo	Máximo	Médio		
<i>C. guianensis</i>	1992	5,00	52,80	22,81	48,94	88
	1995	5,40	53,00	23,65	47,10	91
	1999	5,20	53,80	23,76	49,32	100
	2005	5,09	54,43	24,60	48,86	104
	2009	5,47	54,83	23,30	55,35	140
	2012	5,63	55,13	23,52	54,07	134
<i>T. altissima</i>	1992	5,20	63,20	21,83	46,66	165
	1995	5,20	64,50	22,21	46,50	187
	1999	5,40	66,20	22,87	44,51	203
	2005	5,73	55,52	23,69	39,67	203
	2009	5,12	56,82	21,21	43,69	290
	2012	5,35	56,98	21,87	42,97	273

Em que: DAP = diâmetro à altura de 1,30 m do solo; CV = coeficiente de variação e; N = número de indivíduos da espécie nas quatro parcelas.

4.3. Modelos de projeção do diâmetro

Foram avaliados diferentes modelos para projeção do diâmetro das árvores de *C. guianensis* e *T. altissima* (Tabela 2). Para isso, a base de dados foi dividida aleatoriamente em dois subconjuntos independentes: 70% dos dados para o ajuste e 30% para validação dos modelos.

Tabela 2 – Modelos utilizados para projetar o diâmetro das árvores de *C. guianensis* e *T. altissima*.

Tipo/Autor	Modelo	Nº
Logístico / Oliveira et al. (2009)	$DAP_2 = DAP_1 + \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \cdot \exp^{-\beta_2 \cdot t_2}} - \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \cdot \exp^{-\beta_2 \cdot t_1}} + \varepsilon$	(1)
Pienaar e Schiver (1981)	$DAP_2 = DAP_1 \cdot \exp^{[-\beta_0 \cdot (t_2^{\beta_1} - t_1^{\beta_1})]} + \varepsilon$	(2)
Chapman-Richards	$DAP_2 = DAP_1 \cdot \left(\frac{1 - \exp^{\beta_1 \cdot t_2}}{1 - \exp^{\beta_1 \cdot t_1}} \right)^{\beta_0} + \varepsilon$	(3)
Mitscherlich	$DAP_2 = DAP_1 - \beta_0 (\beta_1^{t_2} - \beta_1^{t_1}) + \varepsilon$	(4)

Em que: DAP_2 = diâmetro futuro (cm); DAP_1 = diâmetro corrente (cm); t_1 = tempo inicial (ano); t_2 = tempo final (ano); β_i = coeficientes do modelo e; ε = erro aleatório.

Com o objetivo de avaliar o efeito da exploração sobre o crescimento em diâmetro, foi selecionado o modelo de melhor desempenho, sendo seus parâmetros decompostos, inserindo o efeito da exploração como covariável. Desse modo, foi atribuído o valor '0' para as árvores presentes nas parcelas não exploradas, e '1' para aquelas presentes nas parcelas que sofreram exploração. Isso foi realizado para cada uma das espécies.

Para o ajuste dos modelos foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2015) com o uso do algoritmo Gauss-Newton, empregando a função *nls* para os modelos em sua forma original e a função *gnls* do pacote *nlme* para os modelos com a inclusão da covariável.

4.4. Modelos de predição do incremento periódico anual

Inicialmente foi calculado o *IPA* para cada indivíduo (5). Posteriormente, os mesmos foram agrupados por classe diamétrica, com amplitude de 10 centímetros cada (centros de classes de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm), e obtidos os incrementos médios por classe (6). No ajuste dos modelos para predição do *IPA*, foi feito um ponderamento considerando a frequência das árvores em cada classe diamétrica, assumindo que todas as árvores da mesma classe da espécie em análise tiveram o mesmo *IPA*.

$$IPA_i = \frac{DAP_2 - DAP_1}{p} \quad (5)$$

$$IPA_c = \frac{\sum_{i=1}^n IPA_i}{n} \quad (6)$$

Em que:

IPA_i = incremento periódico anual em diâmetro da árvore (cm ano⁻¹);

IPA_c = incremento periódico anual médio em diâmetro da classe (cm ano⁻¹);

DAP_1 = diâmetro à 1,3 m do solo no início do período de crescimento (cm);

DAP_2 = diâmetro à 1,3 m do solo ao final do período de crescimento (cm);

p = duração do período (anos);

n = número de indivíduos na classe de diâmetro.

O crescimento periódico anual em diâmetro foi estimado em função do centro da classe, empregando-se os modelos apresentados na Tabela 3.

Assim como para os modelos de projeção do *DAP*, foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2015) para o ajuste dos modelos de predição do *IPA*, empregando a função *lm* para os modelos lineares e a função *nls* para os modelos não lineares.

Tabela 3 – Modelos utilizados para predição do incremento periódico anual das árvores de *C. guianensis* e *T. altissima*.

Nome	Modelo	N°
Modelo 1	$IPA = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \varepsilon$	(7)
Modelo 2	$IPA = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot D^2 + \varepsilon$	(8)
Modelo 3	$IPA = \beta_0 + \beta_1 \cdot D^{1/2} + \beta_2 \cdot D + \varepsilon$	(9)
Modelo 4	$IPA = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} + \varepsilon$	(10)
Modelo 5	$IPA = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \cdot D} + \varepsilon$	(11)
Modelo 6	$IPA = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(D) + \varepsilon$	(12)

Em que: *IPA* = incremento periódico anual em diâmetro (cm); *D* = centro da classe de diâmetro; log = logaritmo; β_i = parâmetros do modelo e; ε = erro aleatório.

4.5. Comparação entre os modelos analisados na projeção do diâmetro

Para cada espécie foi selecionada uma equação de projeção do *DAP*, bem como uma equação de predição do *IPA*. Por meio destas, realizou-se projeções anuais a partir da primeira até a última ocasião (1992 a 2012), de modo a projetar o *DAP* nesse intervalo de tempo. O *DAP*₂ para a equação de *IPA* foi obtido ao se somar o diâmetro referente ao ano anterior que se desejava estimar, ao valor estimado de *IPA*. Por exemplo, para se obter o diâmetro no ano de 1993, somou-se o diâmetro referente ao ano de 1992 ao respectivo *IPA*, obtido pela respectiva equação selecionada, entre os anos de 1992 e 1993.

Para as projeções, foram consideradas somente as árvores inventariadas em 1992 e que permaneceram vivas até o ano de 2012. As comparações das

estimativas foram feitas com base nos valores observados e estimados nos anos de 1995, 1999, 2005, 2009 e 2012.

A avaliação das estimativas geradas pelos modelos de projeção do diâmetro e predição do incremento periódico anual em diâmetro foi realizada utilizando-se as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2) (13), raiz quadrada do erro médio ($RMSE\%$) (14) e viés ($V\%$) (15), conforme descritos em Campos e Leite (2017).

$$\bar{R}^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \right] \quad (13)$$

$$RMSE(\%) = \frac{100}{\bar{Y}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (14)$$

$$V(\%) = \frac{100}{\bar{Y}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad (15)$$

Em que: Y_i = variável dependente observada;

\hat{Y}_i = variável dependente estimada;

\bar{Y} = média da variável dependente observada;

n = número de observações e;

p = número de parâmetros do modelo.

Além dessas estatísticas, também foi realizada análise gráfica dos valores observados *versus* valores estimados; histograma da frequência dos erros percentuais e análise gráfica dos resíduos percentuais, sendo os resíduos obtidos pela expressão (16):

$$\text{erro}(\%) = 100 \cdot \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \quad (16)$$

4.6. Obtenção do tempo de passagem das espécies analisadas

Para o cálculo do tempo de passagem, foi selecionado o modelo de melhor desempenho na estimativa do diâmetro futuro para cada espécie. A partir da equação escolhida foi estimado o *DAP* anualmente, adotando-se um diâmetro inicial de 10 cm. As classes foram definidas considerando uma amplitude de 10 cm cada, sendo a última classe aquela que abrangeu o diâmetro máximo observado para cada espécie no IFC. A partir do *DAP* de 10 cm e seu respectivo incremento para o ano seguinte, obteve-se a idade relativa utilizando a expressão (17), conforme metodologia descrita por Caballero e Malleux Orjeda (1976) e aplicada por Araújo et al. (1993), Silva, Souza e Jesus (1999) e Santos et al. (2016).

$$\text{Idade} = \frac{DAP_i}{IPA_i} \quad (17)$$

Em que:

Idade = idade relativa no *DAP_i* (anos);

DAP_i = valor do *DAP* inicial (cm) e;

IPA_i = *IPA* no *DAP_i* (cm ano⁻¹).

Na sequência foi substituído no modelo, como variável independente, o diâmetro projetado, e calculado o diâmetro para o ano subsequente. Isso foi feito sucessivamente até abranger toda a amplitude de cada classe diamétrica definida para cada espécie. As idades relativas posteriores foram obtidas ao somar um ano para cada ocasião decorrente, a começar da primeira idade relativa estimada. O tempo de passagem foi calculado a partir da diferença da idade relativa correspondentes aos limites inferiores de duas classes de diâmetro sucessivas (Apêndices A e B).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Projeção do diâmetro das espécies analisadas

5.1.1. *Carapa guianensis*

Na Tabela 4 são apresentadas as estimativas dos parâmetros, bem como as estatísticas do ajuste dos modelos de projeção do diâmetro. Foram denominados de modelos 1 à 4, sendo: modelo 1 (Logístico / Oliveira et al.); modelo 2 (Pienaar e Schiver); modelo 3 (Chapman-Richards) e modelo 4 (Mitscherlich).

Tabela 4 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.

Modelo	Coeficientes			\bar{R}^2	RMSE (%)	V (%)
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
1	12,5651 ^{ns}	1,4639 ^{ns}	0,1049 ^{ns}	0,9854	6,08	0,00
2	-0,01401*	0,92798*	-	0,9856	5,84	0,56
3	0,009473 ^{ns}	1,186565 ^{ns}	-	0,9856	5,84	0,56
4	30,23382 ^{ns}	0,98881*	-	0,9854	6,08	-0,01

Em que: * = significativo a 5% de significância; ^{ns} = não significativo a 5% de significância; \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

De acordo com os resultados na Tabela 4, todos os parâmetros dos modelos 1 e 3 foram não significativos ($p > 0,05$), assim como o parâmetro $\hat{\beta}_0$ do modelo 4. Com base nas estatísticas, verifica-se que os modelos apresentaram \bar{R}^2 semelhantes, com valor acima de 98% e baixo viés ($V < 0,6\%$). Considerando o RMSE (%) e o V (%), os modelos 2 e 3 foram semelhantes entre si, bem como os modelos 1 e 4.

Martins, Soares e Silva (2014) constataram boas estimativas para a projeção do diâmetro de árvores de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* com equações referentes ao modelo 2. Os autores encontraram valores variando de 0,9752 a 0,9836 para \bar{R}^2 , de 0,5283 a 0,5308 para RMSE e de 0,0033 para o viés. Aozani (2016) observou maior acurácia nas estimativas com o modelo 2 para a espécie *Senegalia polyphylla* e com o modelo 4 para *Protium heptaphyllum*, onde apresentaram RMSE (%) de 2,21 e 1,46 e V (%) de 0,09 e -0,02, respectivamente para as espécies. As estatísticas inferiores obtidas nesses estudos podem ser

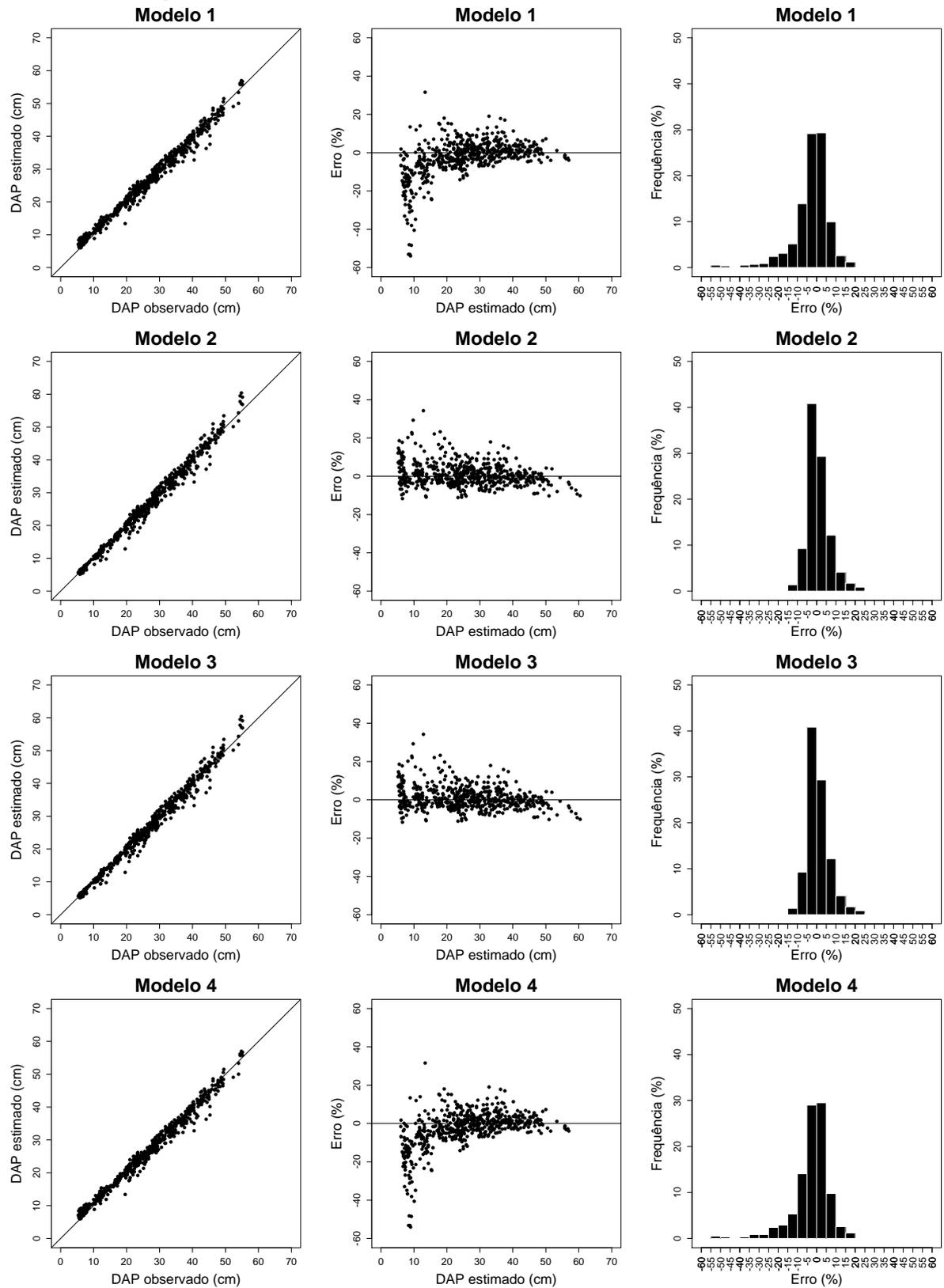
atribuídas à homogeneidade das florestas estudadas, e se tratando de plantios não há variação na idade dos indivíduos do povoamento.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos dos valores observados *versus* estimados, análise gráfica dos resíduos percentuais e histograma da frequência dos erros percentuais, para os dados de ajuste dos modelos.

De forma geral, os modelos demonstraram comportamento semelhante entre si. Contudo, os modelos 1 e 4 evidenciaram tendência em superestimar os menores valores de *DAP*, enquanto que os modelos 2 e 3 superestimaram nas maiores árvores. Ao analisar os resíduos percentuais, pode-se verificar a tendência de superestimava mais acentuada desses modelos, com valores de erro variando entre aproximadamente -40% e 20% nos menores valores para os modelos 1 e 4, e entre aproximadamente -10% e 4% nos maiores diâmetros para os modelos 2 e 3. Com base no histograma da frequência dos resíduos, nota-se cerca de aproximadamente 65% das frequências encontraram-se agrupadas nas classes de -5% e 5% para todos os modelos, com distribuição dos resíduos tendendo a normal.

Para os dados de ajuste, destaca-se o modelo de Piennar e Shiver (modelo 2) para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*. O mesmo obteve significância em todos os coeficientes estimados e apresentou acurácia nas estimativas. Além disso, esse modelo indicou proximidade entre os valores observados e estimados e apresentou uma boa distribuição dos resíduos.

Figura 4 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros do ajuste dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.



No trabalho de Martins, Soares e Silva (2014), o modelo 2 apresentou tendência de subestimar os maiores diâmetros nas classes de produtividade alta, média e baixa para árvores de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. Fraga Filho (2016) identificou leve tendência em superestimar os menores valores de *DAP* com esse modelo em árvores de *Eucalyptus*. Já Aozani (2016), verificou uma leve tendência em subestimar os diâmetros das maiores árvores com em plantios puros de *Senegalia polyphylla* e *Myracrodruon urundeuva*.

Na Tabela 5 são apresentadas as estatísticas para avaliar a validação dos modelos. É possível observar que os mesmos apresentaram valores de \bar{R}^2 próximos aos obtidos para os dados de ajuste (>98%). Percebe-se também, que houve uma melhoria nos valores de *RMSE* (%), e que os modelos 1 e 4 foram mais viesados que no ajuste. Nota-se melhor desempenho dos modelos 2 e 3, com maior valor para \bar{R}^2 e menores valores para *RMSE* (%) e *V* (%).

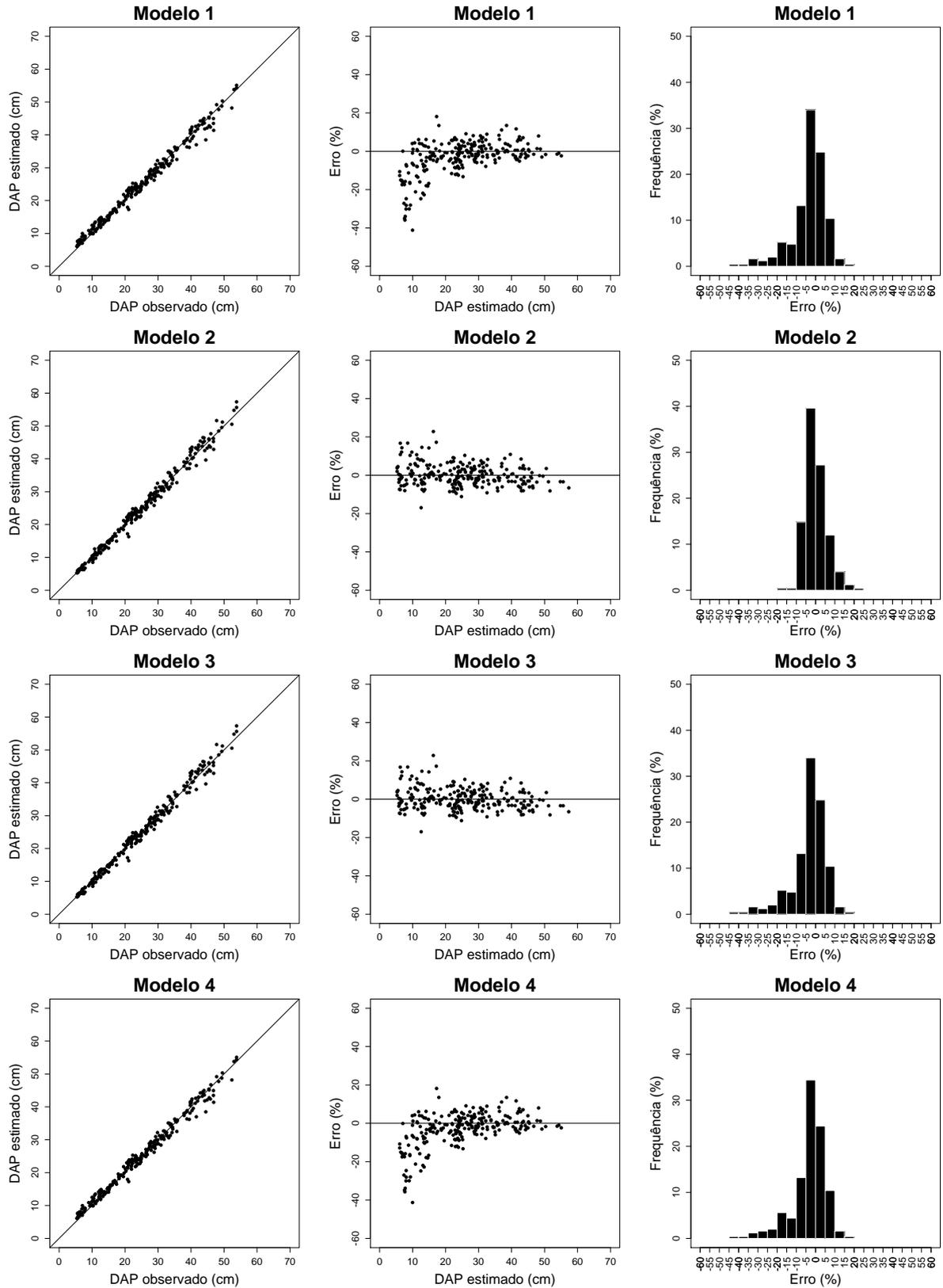
Tabela 5 – Estatísticas da validação dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.

Modelo	\bar{R}^2	<i>RMSE</i> (%)	<i>V</i> (%)
1	0,9873	5,83	-0,73
2	0,9881	5,46	-0,13
3	0,9881	5,46	-0,12
4	0,9874	5,83	-0,74

Em que: \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; *RMSE* = raiz quadrada do erro médio e; *V* = viés.

As distribuições gráficas para os dados de validação (Figura 5) expressaram comportamento similar às distribuições obtidas para os dados de ajuste (Figura 4). Para os modelos 2 e 3, constata-se que foram praticamente livres de viés, corroborando com os valores das estatísticas na Tabela 5. Desse modo, é possível confirmar a superioridade do desempenho do modelo 2 em relação aos demais modelos analisados. O mesmo apresentou bom desempenho ao ser aplicado à dados que não estiveram presentes no ajuste.

Figura 5 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros da validação dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.



Com o objetivo de obtenção de melhor acurácia nas estimativas do diâmetro de árvores de *C. guianensis*, foi selecionado o modelo 2 (Piennar e Shiver) para a inclusão da covariável ‘exploração’. Na Tabela 6, são apresentados os coeficientes estimados do modelo com a covariável associada, bem como as estatísticas de avaliação para os dados de ajuste e de validação. Foram testadas todas as opções de inserção de covariável e é apresentada a que obteve maior acurácia.

Tabela 6 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas para avaliar o desempenho do modelo Piennar e Shiver com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.

Dados	Coeficientes			\bar{R}^2	RMSE (%)	V (%)
	$\hat{\beta}_{00}$	$\hat{\beta}_{01}$	$\hat{\beta}_1$			
Ajuste	-0,0105477*	-0,0043824*	0,9403275*	0,9865	5,70	0,67
Validação	-	-	-	0,9850	6,62	2,76

Em que: * = significativo a 5% de significância; \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

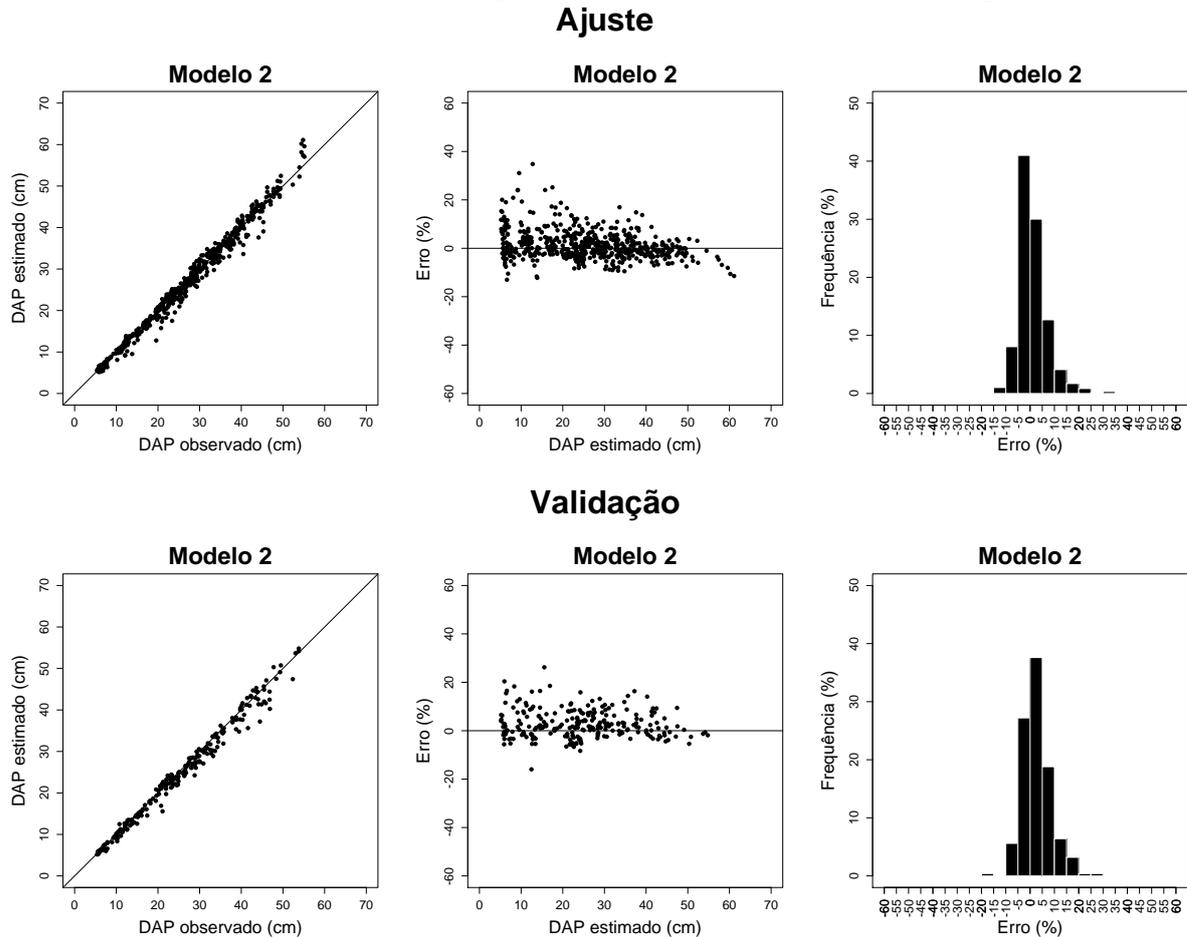
Todos os parâmetros do modelo foram significativos ($p < 0,05$). Nota-se que os valores para as estatísticas do ajuste com a covariável foram semelhantes ao ajuste do modelo sem a inclusão da mesma (Tabela 4). No entanto, para validação, houve perda da acurácia, apresentando maior valor para a estatística RMSE (%), bem como um aumento expressivo no V (%) (Tabela 6).

Ao analisar a Figura 6, observa-se que as distribuições corroboraram com as estatísticas obtidas. Constata-se que mesmo com a inserção da covariável os gráficos apresentaram comportamento semelhante ao observado para os dados de ajuste do modelo em sua forma original. Para os dados de validação, nota-se com o gráfico de resíduos, que o modelo apresentou maior tendência em subestimar o diâmetro da espécie com a inclusão da covariável.

A adição de covariantes nos parâmetros de modelos, sejam eles de predição ou projeção do crescimento, podem resultar em melhorias significativas no ajuste e redução do erro na estimativa, como já constatado em trabalhos que aplicaram essa técnica (GUIMARÃES et al., 2009; MENDONÇA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2015; SENA et al., 2015). No entanto, ainda que o coeficiente tenha sido significativo no estudo, pode-se concluir que a inclusão da variável qualitativa ‘exploração’ não proporcionou melhorias nas estimativas do DAP futuro. Dessa forma, para o estudo,

deve ser dada preferência ao modelo de Piennar e Shiver em sua forma original para a projeção do diâmetro de árvores da espécie *C. guianensis*.

Figura 6 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas do ajuste e da validação do modelo Piennar e Shiver com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.



5.1.2. *Tetragastris altissima*

Os coeficientes estimados dos modelos de projeção do diâmetro para árvores da espécie, bem como as estatísticas de avaliação do ajuste, são expostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de *T. altissima*.

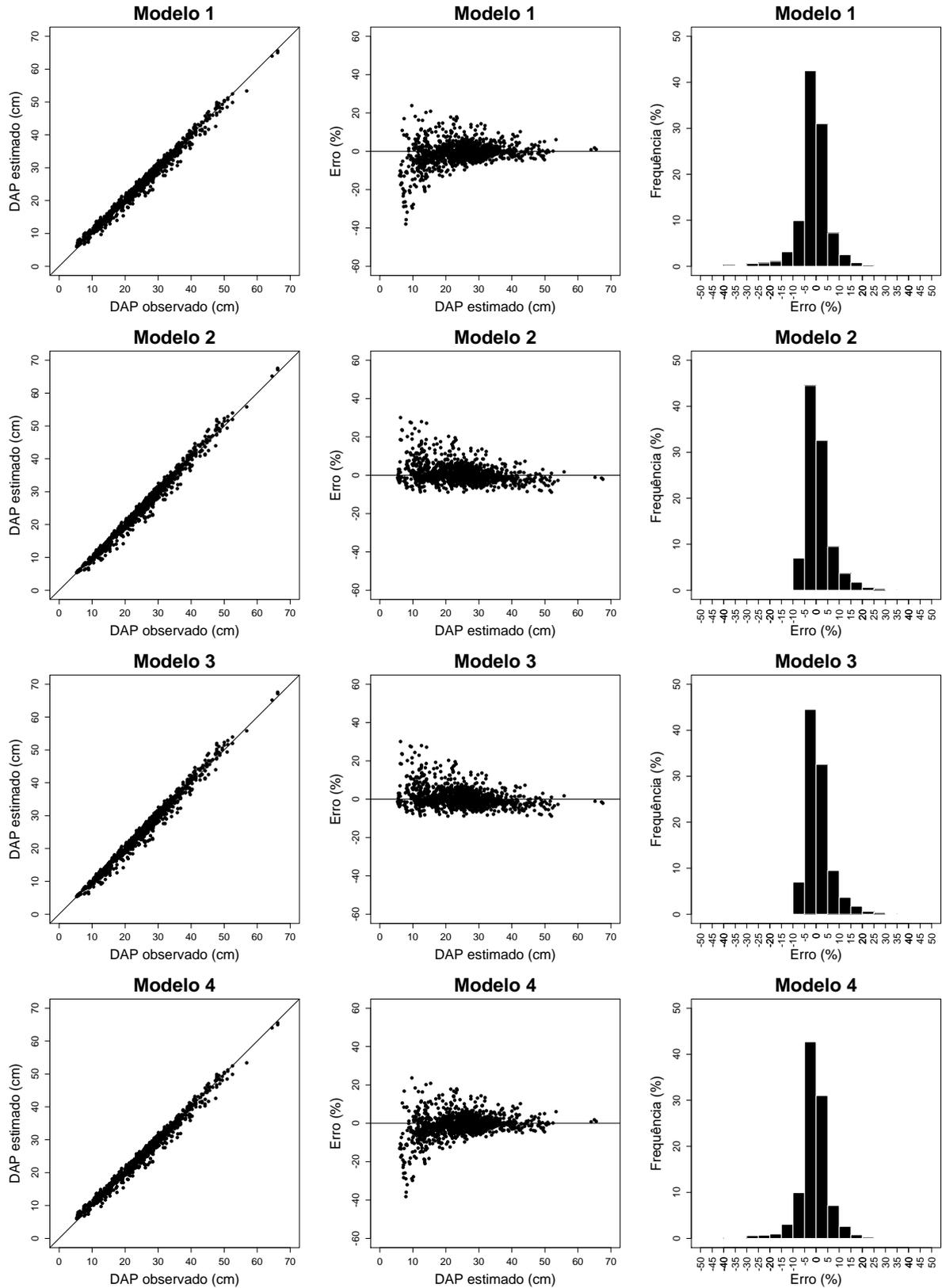
Modelo	Coeficientes			\bar{R}^2	RMSE (%)	V (%)
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
1	5,5834 ^{ns}	2,4054 ^{ns}	0,1929 ^{ns}	0,9868	4,69	0,01
2	-0,013531*	0,857228*	-	0,9866	4,90	0,59
3	0,010059*	0,865531*	-	0,9866	4,90	0,58
4	13,79395 ^{ns}	0,97995*	-	0,9868	4,69	-0,01

Em que: * = significativo a 5% de significância; ^{ns} = não significativo a 5% de significância; \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

Ao observar os resultados da Tabela 7, verifica-se que o modelo 1, assim como para a *C. guianensis*, não obteve significância ($p > 0,05$) em seus parâmetros. Nota-se também, que o parâmetro $\hat{\beta}_0$ foi não significativo no modelo 4. Todos os demais coeficientes foram significativos ($p < 0,05$). Pelos resultados das estatísticas avaliadas, constata-se que os modelos foram semelhantes em termos de qualidade de ajuste, com valores próximos entre si, sendo os modelos 2 e 3 mais viesados.

Os gráficos da relação entre os *DAP* observados e estimados demonstraram boas estimativas para o ajuste dos dados, com valores próximos a linha de tendência (Figura 7). Quando analisada a distribuição dos erros, os modelos 2 e 3 tiveram comportamento semelhante, com maior dispersão dos dados nas classes de menor *DAP*, subestimando o diâmetro futuro nessas classes. Os modelos 1 e 4 também apresentaram comportamento semelhante entre si ao longo de toda a amplitude, mas com tendência de superestimar os menores diâmetros. Analisando os histogramas de frequência dos erros, constata-se que todos os modelos apresentaram maiores frequências nas classes de -5% e 5%, com média de aproximadamente 74% dos erros agrupados nessas classes.

Figura 7 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros do ajuste dos modelos para da projeção do diâmetro de árvores de *T. altissima*.



Para os dados de validação dos modelos (Tabela 8), verifica-se que os valores para as estatísticas foram semelhantes às obtidas para os dados de ajuste. Contudo, houve ligeiro aumento nos valores de \bar{R}^2 e V (%) e redução do $RMSE$ (%). Esse resultado evidenciou a eficiência dos modelos nas estimativas do DAP futuro para essa espécie.

Tabela 8 – Estatísticas utilizadas para avaliar a validação dos modelos de projeção do diâmetro para árvores de *T. altissima*.

Modelo	\bar{R}^2	$RMSE$ (%)	V (%)
1	0,9901	4,35	-0,13
2	0,9897	4,55	0,75
3	0,9897	4,55	0,75
4	0,9902	4,35	-0,15

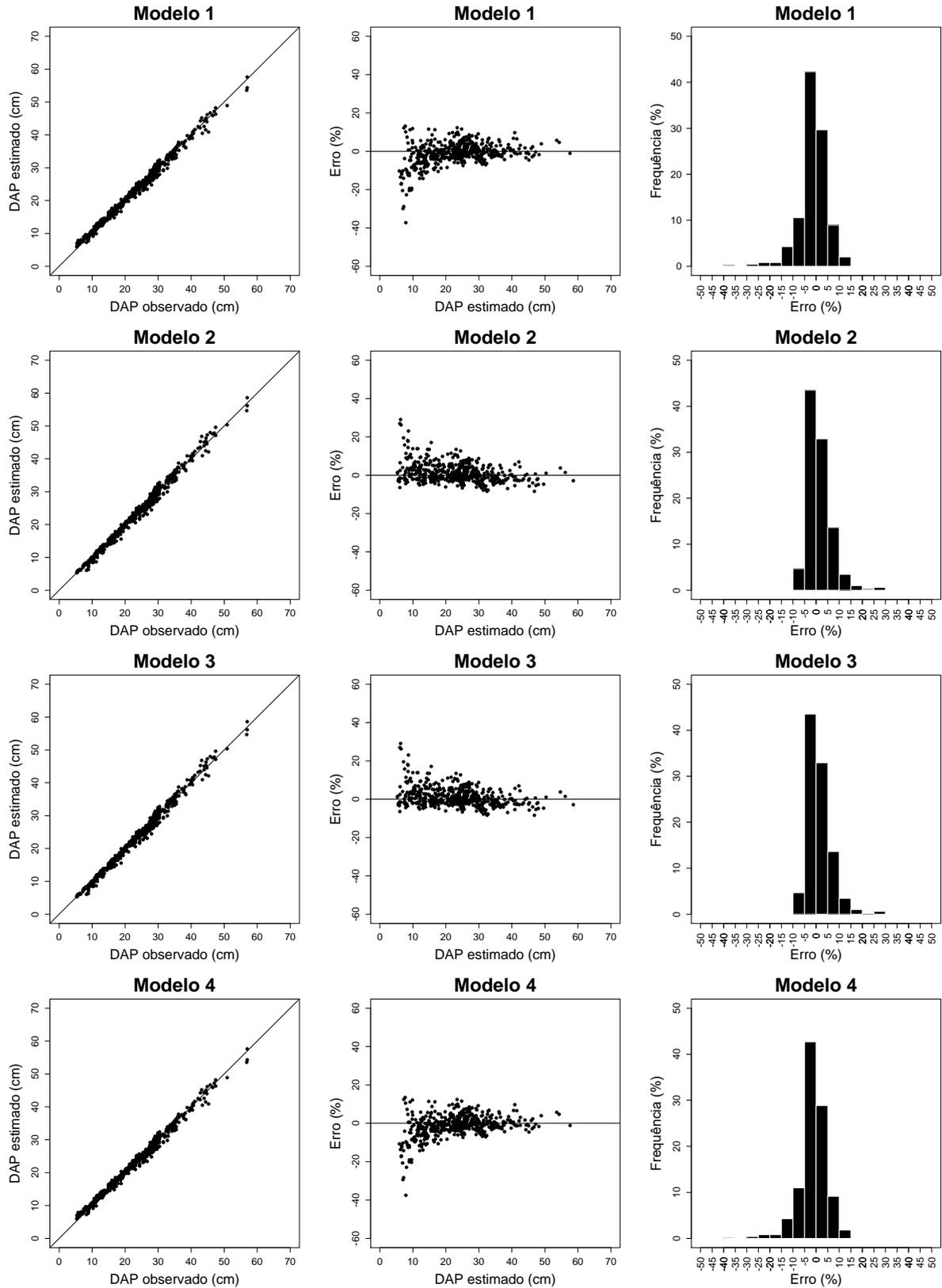
Em que: \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; $RMSE$ = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

Na Figura 8 são apresentadas as análises gráficas para os dados de validação dos modelos. De acordo com o observado na figura, os modelos apresentaram comportamento semelhante ao obtido para os dados de ajuste. Os modelos 2 e 3 apresentaram menor dispersão, com aproximadamente 76% dos erros agrupados entre as classes de -5% e 5%, enquanto que os modelos 1 e 4 tiveram cerca de 70% dos erros nessas classes.

Percebe-se, pela Figura 8, que os maiores erros concentraram-se nos menores valores de DAP , evidenciando maior dificuldade em gerar estimativas exatas para os diâmetros inferiores. Isso pode ser atribuído a maior heterogeneidade observada nas taxas de crescimento das menores árvores, uma vez que estas são as que mais sofrem com os efeitos da competição. Árvores mais grossas, que já estão estabelecidas há mais tempo, apresentam menor variabilidade de incremento diamétrico (ROZENDAAL et al., 2015; SCHAAF et al., 2005).

Com base nos resultados obtidos para o *T. altissima*, deve ser dada preferência para os modelos 2 e 3 para projetar o diâmetro das árvores da espécie. Esses modelos apresentaram significância em todos os coeficientes estimados, além de boas estimativas nas estatísticas de ajuste e validação dos modelos e melhor desempenho nas análises gráficas.

Figura 8 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros da validação dos modelos para a projeção do diâmetro de árvores de *T. altissima*.



Com a aplicação da técnica de inclusão da covariável, optou-se por exibir somente os resultados referentes ao modelo 3 (Chapman-Richards), com a covariável associada ao parâmetro β_1 , visto que este demonstrou-se mais acurado nas estimativas. Observa-se, na Tabela 9, que todos os parâmetros do modelo 3 com inclusão da covariável foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Nota-se que o mesmo demonstrou desempenho semelhante ao modelo em sua forma original (Tabelas 7 e 8), tanto para os dados de ajuste quanto para os dados de validação.

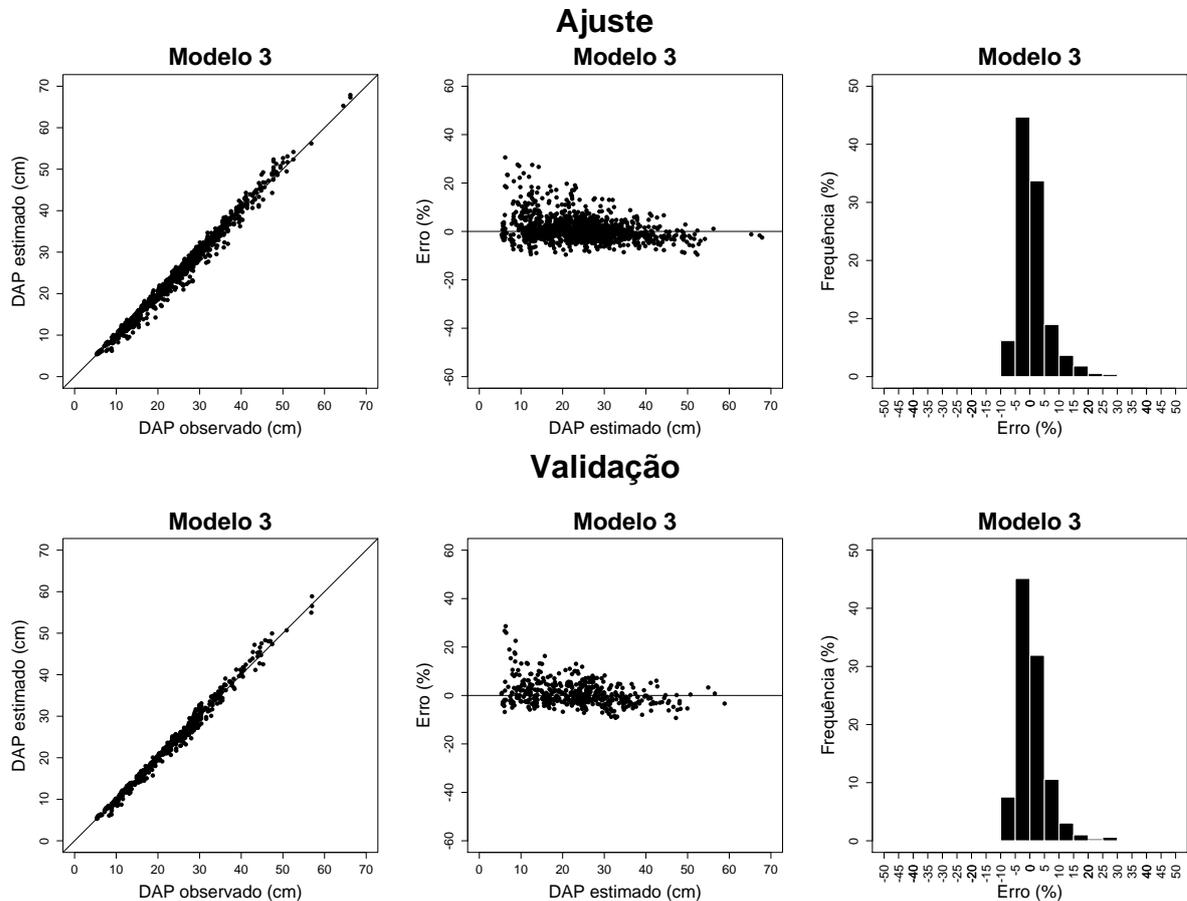
Tabela 9 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas para avaliar o desempenho do modelo Chapman-Richards com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de *T. altissima*.

Dados	Coeficientes			\bar{R}^2	RMSE (%)	V (%)
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_{10}$	$\hat{\beta}_{11}$			
Ajuste	0,01017935*	0,92341504*	-0,14560001	0,9868	4,87	0,59
Validação	-	-	-	0,9897	4,57	0,19

Em que: * = significativo a 5% de significância; \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

A similaridade dos resultados entre o modelo ajustado com e sem a covariável pode ser confirmada ao realizar análises comparativas entre os gráficos da Figura 9 e os gráficos das Figuras 7 e 8, onde foi evidenciado padrões semelhantes de distribuição.

Figura 9 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas do ajuste e da validação do modelo Chapman-Richards com covariável para a projeção do diâmetro de árvores de *T. altissima*.



Dado que a adição da covariável no modelo 3 para a *T. altissima* também não proporcionou melhorias consideráveis nas estimativas, o modelo de Chapman-Richards em sua forma original foi selecionado para projeção do diâmetro da espécie.

5.2. Predição do incremento periódico anual médio

5.2.1. *Carapa guianensis*

Os coeficientes estimados e as estatísticas do ajuste dos modelos que visam estimar o *IPA* médio em função do centro de classe de diâmetro para árvores da espécie *C. guianensis*, podem ser visualizados na Tabela 10.

Tabela 10 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos para a predição do incremento periódico anual do diâmetro de árvores de *C. guianensis*.

Modelo	Coeficientes			\bar{R}^2	RMSE (%)	V (%)
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
1	0,264164*	0,001944*		0,9449	1,82	0,00
2	0,2625*	0,002093*	-0,000002674*	0,9451	1,82	0,00
3	0,2426561*	0,0092357*	0,0010145*	0,9480	1,77	0,00
4	0,2002*	0,1436019*		0,9304	2,05	0,00
5	3,6886275*	-0,0189958*		0,9386	1,92	0,00
6	0,1768034*	0,0440623*		0,9220	2,17	0,00

Em que: * = significativo a 5% de significância; ns = não significativo a 5% de significância; \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

De acordo com essa tabela, todas as estimativas dos parâmetros dos modelos foram significativas ($p < 0,05$). As estatísticas do ajuste apresentaram valores próximos entre si para os modelos analisados. O modelo 3 obteve o maior valor de \bar{R}^2 e menor valor de RMSE (%). Resultado contrário foi obtido pelo modelo 6. Constata-se que todos os modelos não apresentaram viés.

Estimativas de \bar{R}^2 inferiores às obtidas no estudo foram encontradas por diversos autores ao modelar o IPA em diâmetro. Stepka et al. (2012) testando a hipótese sobre a viabilidade em ajustar modelos capazes de estimar o IPA em diâmetro para a *Araucaria angustifolia*, encontrou um \bar{R}^2 variando de 0,0405 a 0,1194. Cabe ressaltar que o ajuste foi feito em função do DAP. O baixo valor obtido foi atribuído à grande variabilidade dos incrementos individuais das árvores em florestas nativas para um mesmo diâmetro inicial. Ao ajustar o IPA médio em função da classe de DAP, os autores verificaram ganho nos resultados, onde o valor para o \bar{R}^2 variou de 0,2546 a 0,3759. No entanto, a melhoria obtida não foi capaz de gerar estimativas adequadas para o incremento.

Silva, Souza e Jesus (1999) encontraram um valor para o \bar{R}^2 de 0,84, considerando o IPA médio obtido a partir de dados do “Ensaio de Produção Sustentável em Mata Secundária de Transição”, Minas Gerais. O ajuste dos modelos foi realizado em função do centro da classe diamétrica.

Spathelf e Durlo (2001) obtiveram o valor de 0,23 para o coeficiente de determinação e um valor para RMSE de 0,9382, para espécies em uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. O ajuste do IPA diamétrico também foi realizado em função do centro de classe de DAP. A baixa variação explicada pelo modelo também foi atribuída à alta variação de incremento das espécies, uma vez

que nenhuma estratificação por grupos ecológicos foi realizada, sendo incluídos no ajuste espécies com rápido crescimento em diâmetro, bem como árvores onde o crescimento foi igual a zero.

Trabalhos desenvolvidos empregando o incremento por espécie, ou mesmo por grupos de espécies, demonstraram a dificuldade em se obter estimativas com acurácia do crescimento em diâmetro. Isso ocorre em consequência do crescimento diferenciado dos indivíduos que possuem as mesmas dimensões, resultando no baixo desempenho dos ajustes.

Com o objetivo de melhorar a modelagem do incremento em diâmetro, Roik (2012) testou a hipótese de estratificação dos dados pela análise de agrupamento, bem como avaliar o efeito da inclusão de outras variáveis nos modelos para estimar o incremento diamétrico, para espécies em uma Floresta Ombrófila Mista no Paraná. O autor verificou que a utilização de outras variáveis independentes (forma da copa, posição da copa, área basal da parcela, área basal da espécie por hectare e posição sociológica), além do *DAP*, influenciou positivamente no ajuste. Já quanto a estratificação dos dados, não foi constatada nenhuma relação entre a mesma e os valores de \bar{R}^2 .

Na Figura 10 são apresentados os gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma da frequência dos erros. Cabe ressaltar que por ter sido considerado um incremento médio por classe de *DAP*, o erro torna-se o mesmo para todos os indivíduos presentes na mesma classe.

Em todos os modelos, com o gráfico de relação entre os incrementos observados e estimados, pode ser notado que o maior erro ocorreu para o maior valor de *IPA* médio, correspondente a maior classe de diâmetro (60 cm). Nesta classe, onde foi amostrado o menor número de indivíduos, os modelos subestimaram o crescimento. Analisando o gráfico de resíduos, constata-se que os modelos 1, 2 e 3 apresentaram comportamento similar para as estimativas do incremento, assim como os modelos 4 e 6. Todos os modelos apresentaram 99% das frequências agrupadas entre as classes $\pm 5\%$. Visto que o modelo 3 indicou melhores estimativas nas estatísticas avaliadas, o mesmo foi selecionado para estimar o *IPA* em diâmetro para árvores de *C. guianensis*.

Figura 10 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de IPA médio para árvores de *C. guianensis*.

(Continua...)

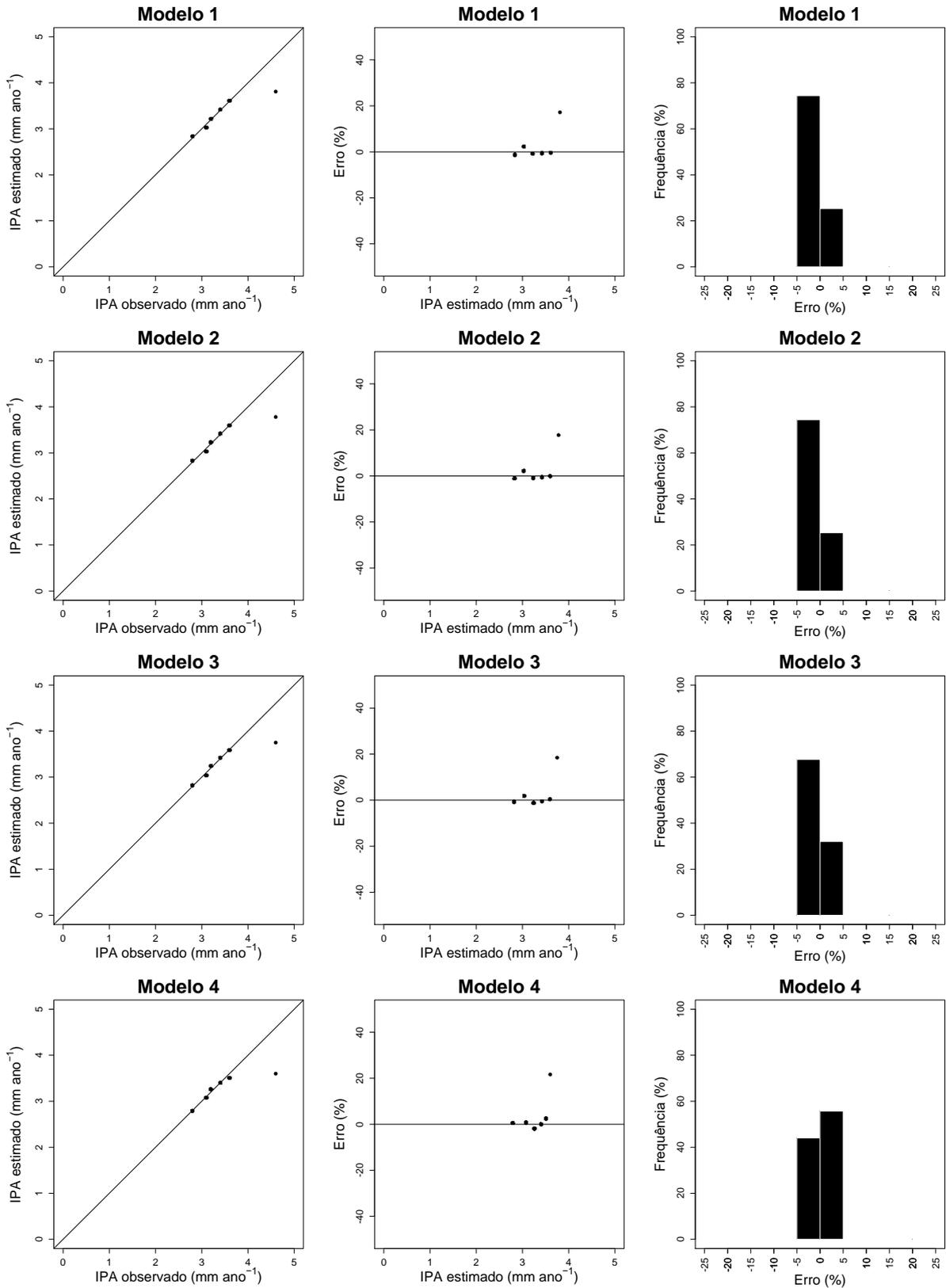
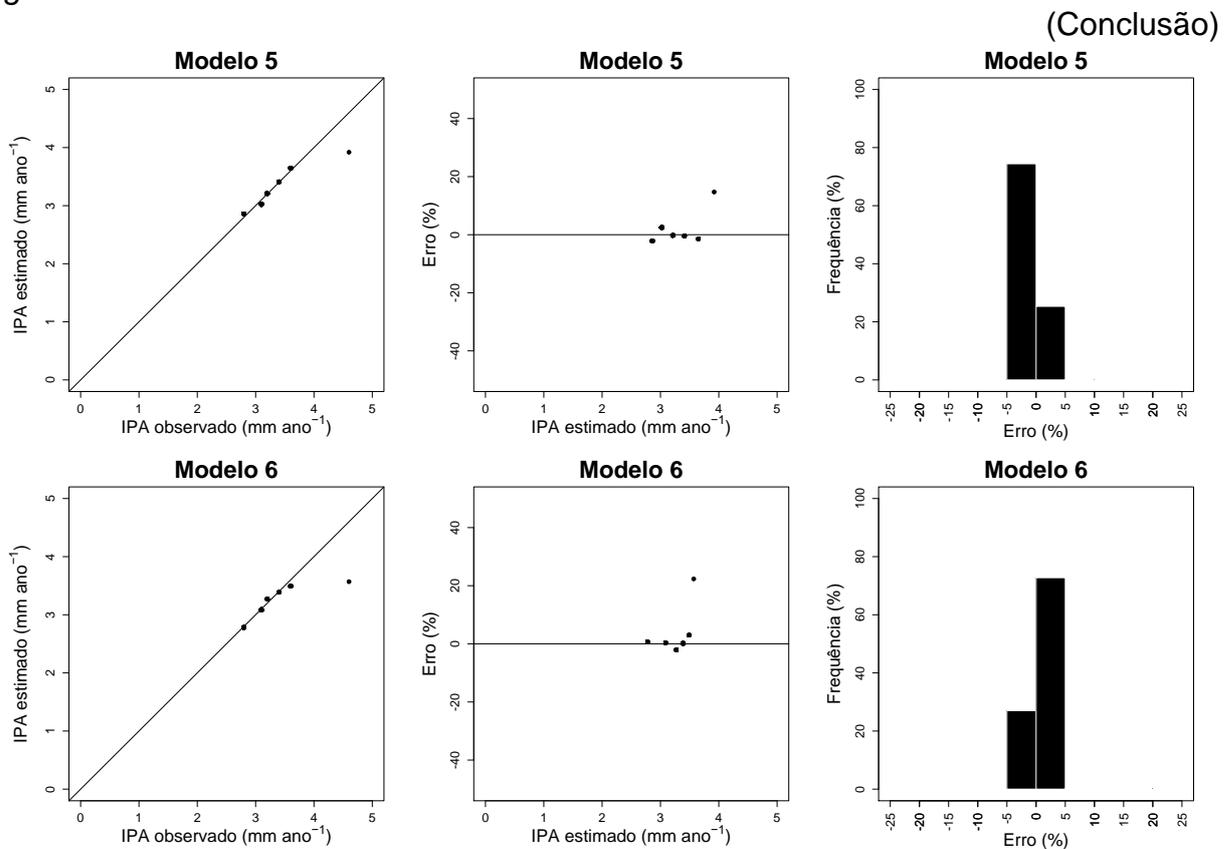


Figura 10 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de *IPA* médio para árvores de *C. guianensis*.



5.2.2. *Tetragastris altissima*

Para a *T. altissima*, os coeficientes estimados, bem como as estatísticas dos modelos de *IPA* médio em função do centro de classe de diâmetro, podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas do ajuste dos modelos para a predição do incremento periódico anual do diâmetro de árvores de *T. altissima*.

Modelo	Coeficientes			\bar{R}^2	RMSE (%)	V (%)
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
1	0,125274*	0,005447*		0,8593	8,75	0,00
2	0,059048*	0,011405*	-0,000113*	0,9276	6,28	0,00
3	-0,1533821*	0,1205755*	-0,0069730*	0,9352	5,94	0,00
4	0,0547337*	0,4932812*		0,9122	6,93	-0,10
5	5,3743136*	-0,0578543*		0,7144	12,69	-0,40
6	-0,1268413*	0,1243811*		0,9333	6,02	0,00

Em que: * = significativo a 5% de significância; ns = não significativo a 5% de significância; \bar{R}^2 = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = raiz quadrada do erro médio e; V = viés.

Verifica-se que todos os coeficientes dos modelos analisados foram significativos ($p < 0,05$). De forma geral, considerando as estatísticas, os modelos para a *T. altissima* apresentaram desempenho inferior em relação à *C. guianensis*. Assim como para *C. guianensis*, o modelo 3 apresentou melhores estimativas quando comparado aos demais modelos, com maior valor para \bar{R}^2 , menor valor para $RMSE$ (%), além de não ter apresentado viés.

Na Figura 11 são apresentados os gráficos da relação entre os valores observados e estimados, resíduos percentuais e histograma dos erros dos modelos de IPA para árvores da *T. altissima*.

Figura 11 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de IPA médio para árvores de *T. altissima*.

(Continua...)

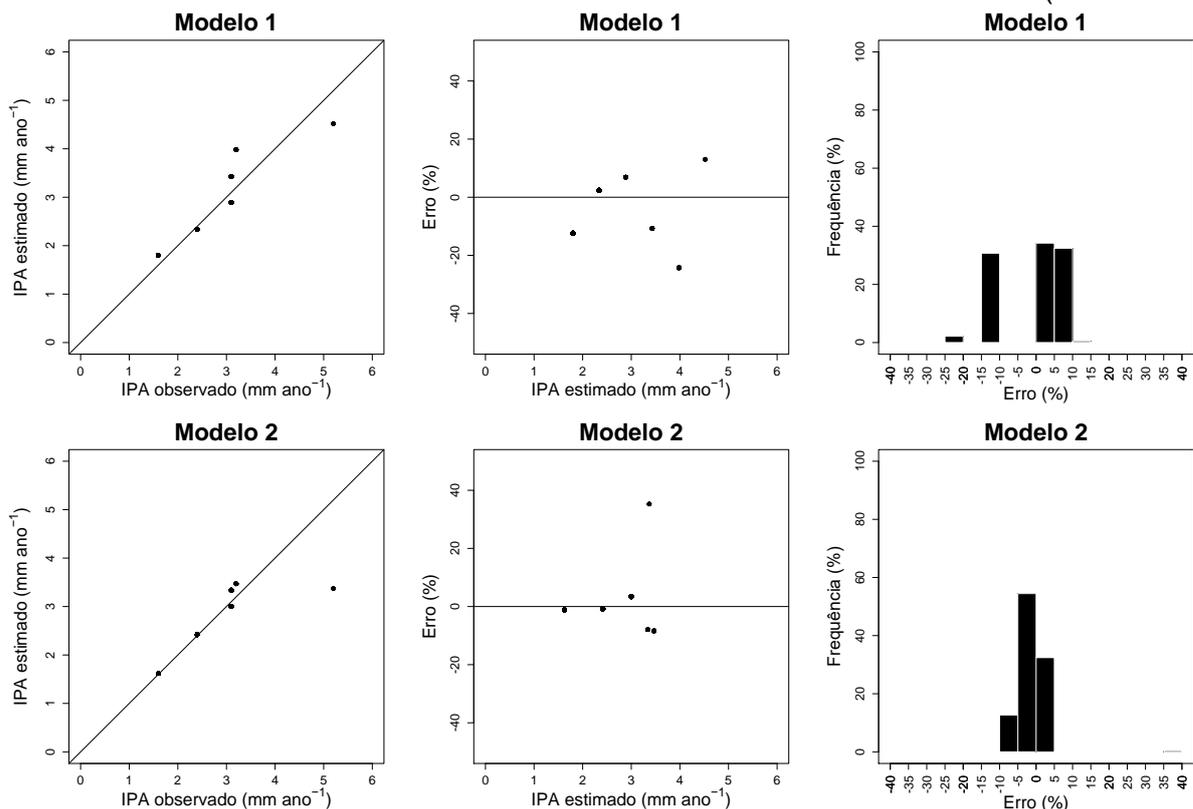
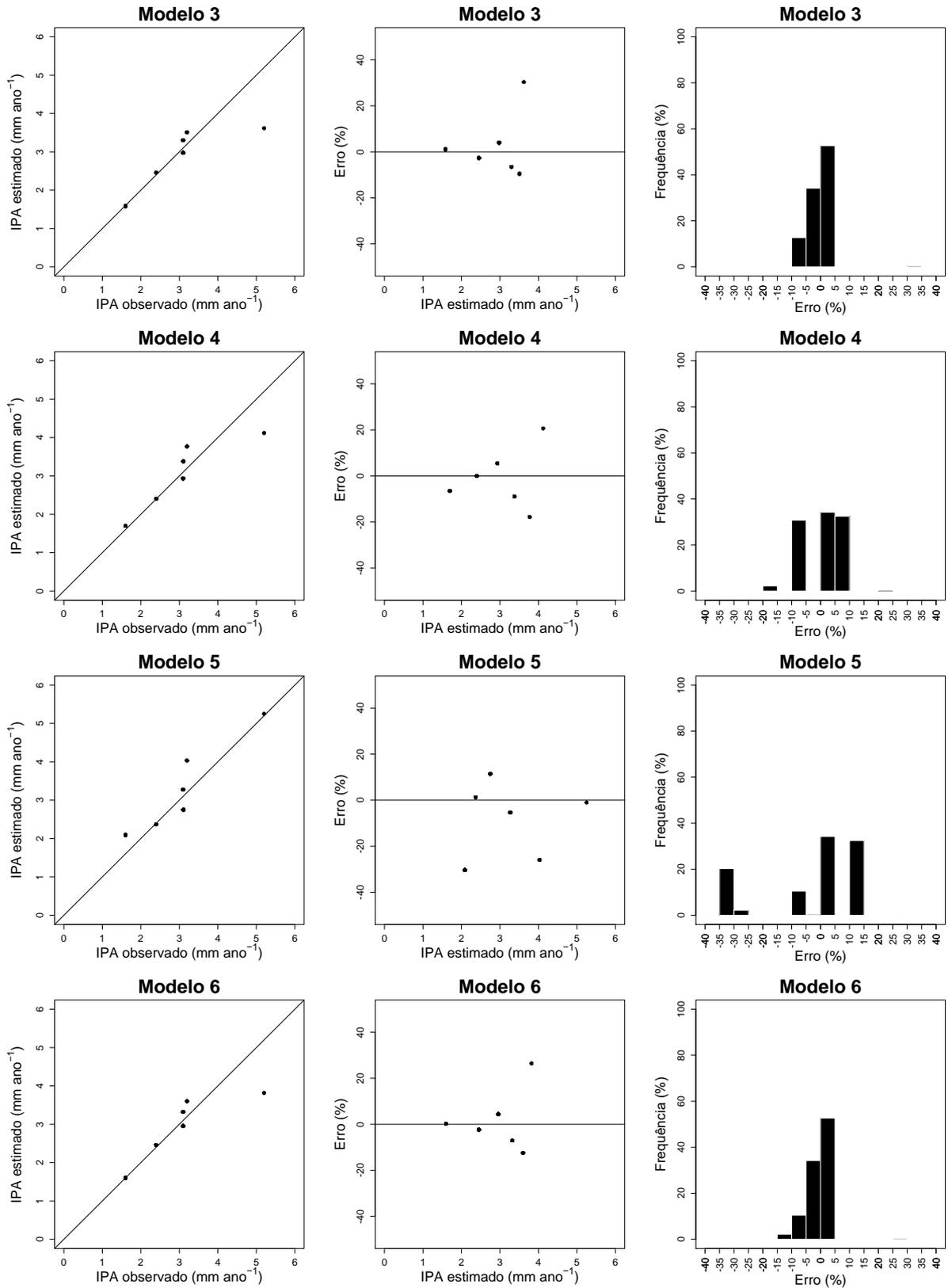


Figura 11 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de *IPA* médio para árvores de *T. altissima*.

(Conclusão)



Verifica-se, analisando o gráfico de relação entre os incrementos observados e estimados e o gráfico de resíduos, que os modelos 2, 3 e 6 apresentaram comportamento semelhante entre si, com maior dispersão nos maiores valores de *IPA* médio das classes de *DAP*, enquanto que os modelos 1, 4 e 5 apresentaram maior dispersão por toda amplitude. No histograma dos erros percentuais, os modelos 2, 3, 4 e 6 obtiveram aproximadamente 98% dos resíduos agrupados entre as classes de $\pm 10\%$. Já o modelo 1 exibiu aproximadamente 70% de frequência nessas classes, e o modelo 5 cerca de 45%, sendo o de pior desempenho. Esses resultados corroboram com as estatísticas descritas na Tabela 11. Desse modo, o modelo 3, com maior acurácia nas estimativas, foi selecionado para estimar o *IPA* em diâmetro para árvores do *T. altissima*.

5.3. Comparação entre os modelos analisados na projeção do diâmetro

Foi realizada a projeção do diâmetro ao longo do tempo mediante a aplicação da equação selecionada para projeção do *DAP*, bem como a aplicação da equação para estimação do *IPA*, para ambas as espécies. As projeções foram feitas anualmente, da primeira até a última ocasião do IFC (1992 a 2012).

Na Tabela 12 são apresentados os resultados das estatísticas empregadas para a avaliação das projeções, calculadas a partir dos valores observados e estimados nas ocasiões em que se realizaram os inventários.

Tabela 12 – Estatísticas utilizadas para avaliar a aplicação dos modelos de crescimento em diâmetro ao longo do tempo, para cada espécie em estudo.

Espécie	Tipo	Modelo	<i>RMSE</i> (%)	<i>V</i> (%)
<i>C. guianensis</i>	DAP	2	10,16	-0,48
	IPA	3	9,48	0,76
<i>T. altissima</i>	DAP	3	9,10	-0,55
	IPA	3	7,72	1,39

Em que: *RMSE* = raiz quadrada do erro médio e; *V* = viés.

Ao analisar as estatísticas, constata-se que os diâmetros estimados com a aplicação da equação de *IPA* foram mais acurados para as duas espécies estudadas. As mesmas obtiveram menor valor para a estatística *RMSE* (%), entretanto, apresentaram-se mais viesadas. Fazendo-se uma análise comparativa

dentro de uma mesma categoria de modelo, nota-se que os resultados para a *T. altissima* foram mais acurados para as duas equações, porém mais viesados.

Os gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma dos erros percentuais podem ser visualizados nas Figuras 12 e 13, para a *C. guianensis* e a *T. altissima*, respectivamente.

Figura 12 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de *DAP* para árvores de *C. guianensis*.

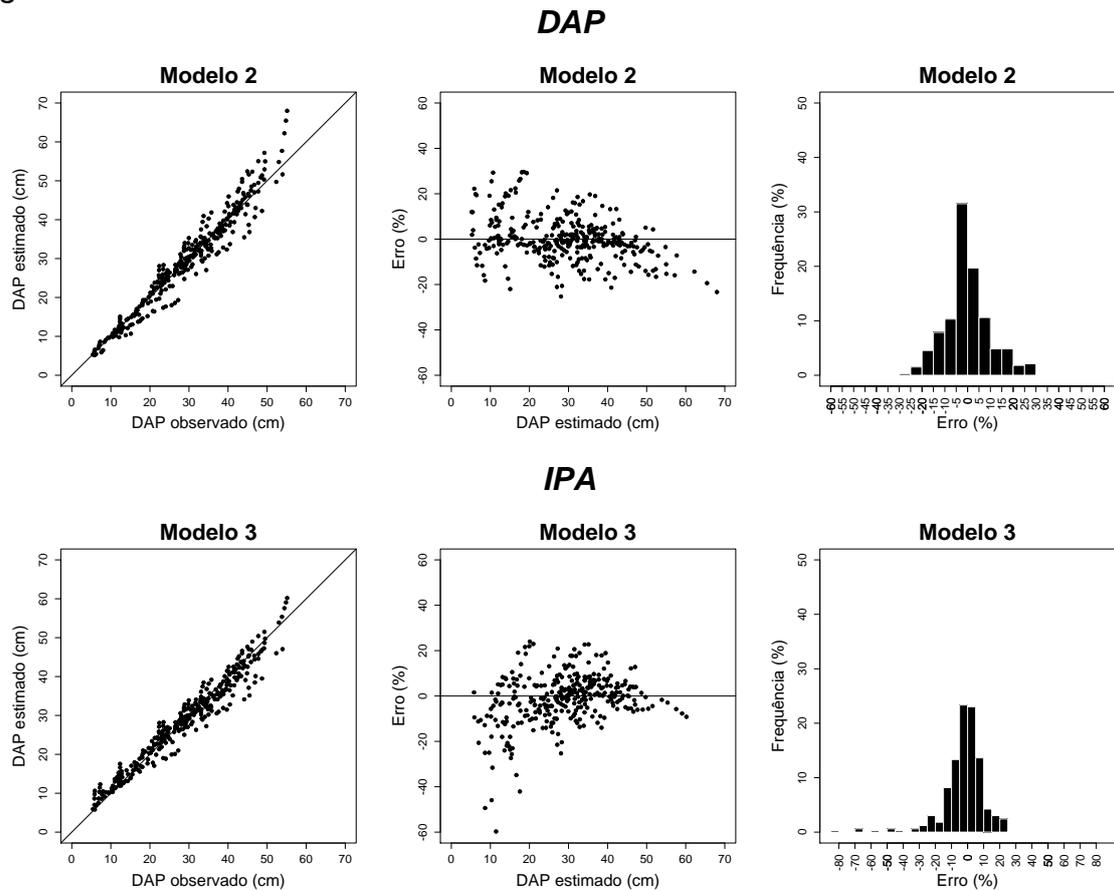
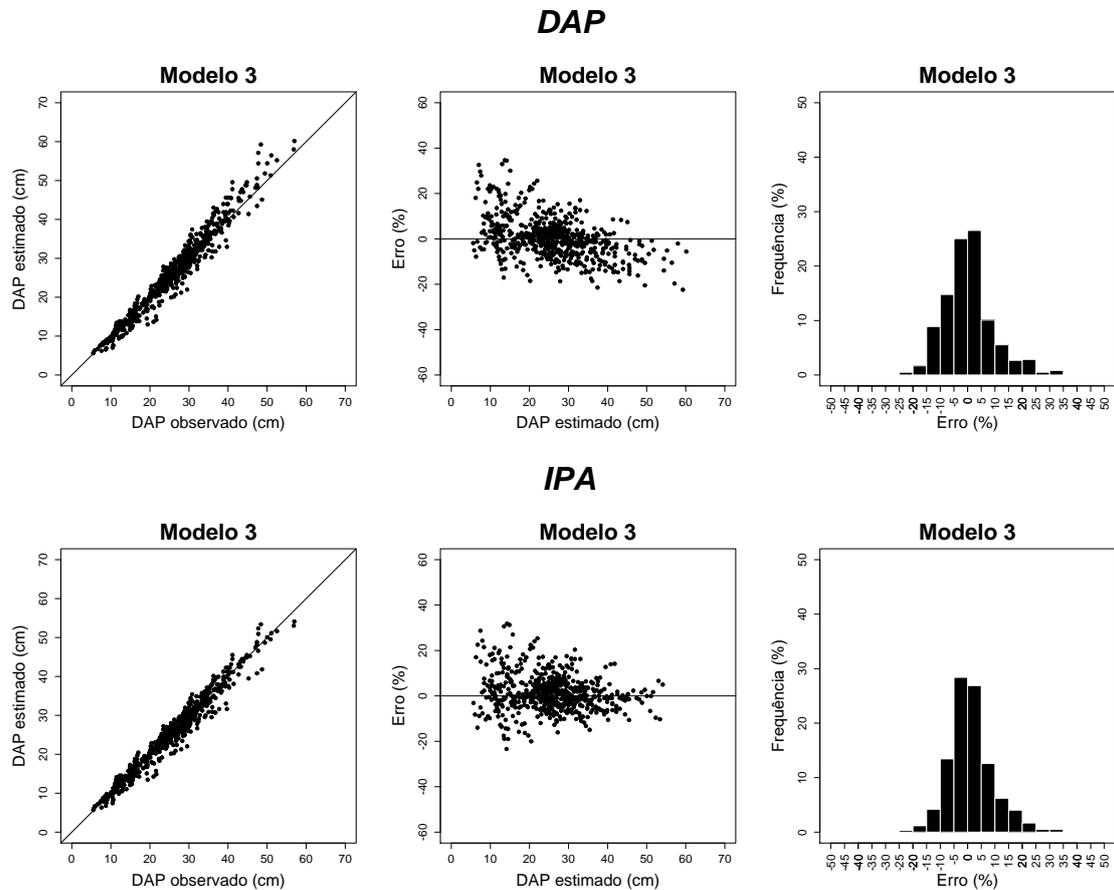


Figura 13 – Gráficos dos valores observados *versus* estimados, resíduos percentuais e histograma de erros das estimativas de *DAP* para árvores de *T. altissima*.



Observa-se para a espécie *C. guianensis* (Figura 12), com base no gráfico dos diâmetros observados e estimados, que os modelos de projeção do *DAP* e de *IPA* superestimaram os diâmetros das maiores árvores. Porém, apesar do modelo de *IPA* superestimar o crescimento desses indivíduos, o mesmo apresentou menor dispersão. Essa tendência pode ser confirmada ao se analisar o gráfico de resíduos, onde verifica-se que o modelo de projeção do *DAP* apresentou dispersão entre, aproximadamente, 15% e -20% nas classes acima de 40 cm, enquanto o modelo de *IPA* teve dispersão entre, aproximadamente, 15% e -10%. Nos diâmetros inferiores, o erro foi mais acentuado com a aplicação da equação de incremento para essa espécie. Contudo, ao analisar o histograma dos resíduos, percebe-se que as duas equações apresentaram aproximadamente 70% das estimativas concentradas nas classes de $\pm 10\%$.

Já para a *T. altissima* (Figura 13), considerando os gráficos dos valores observados e estimados e dispersão dos resíduos, o modelo de projeção do *DAP*

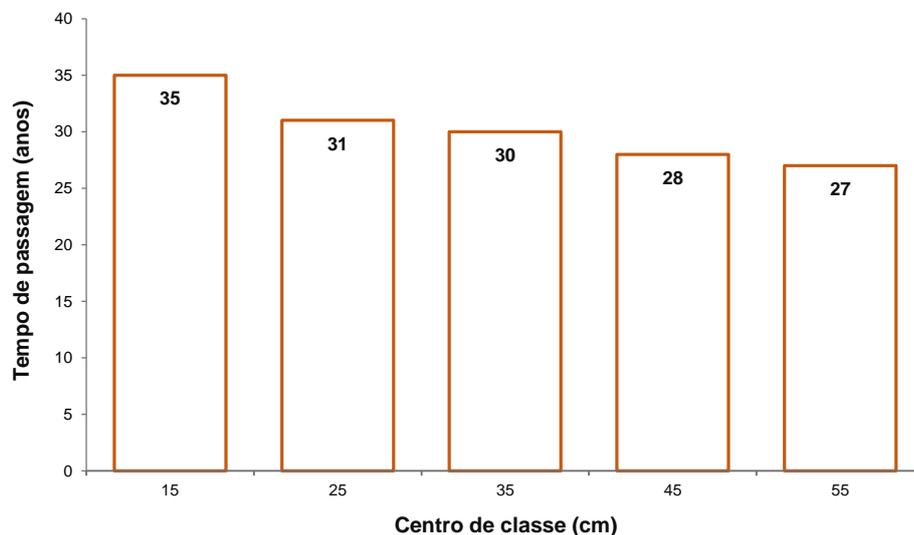
subestimou o diâmetro para os menores valores e superestimou os dos maiores indivíduos. Já o modelo de *IPA* para essa espécie, apresentou melhores estimativas ao longo de toda a amplitude observada, entretanto, subestimou o diâmetro nos menores valores. No histograma dos resíduos percentuais, cerca de 75% das frequências encontraram-se agrupadas entre as classes de $\pm 10\%$ nos modelos de projeção do *DAP*, enquanto que para o modelo de *IPA* aproximadamente 80% das frequências concentraram-se entre essas classes.

Assim, para a finalidade de se realizar projeções anuais e se obter o tempo de passagem por classe diamétrica, selecionou-se os modelos de *IPA* para ambas as espécies.

5.4. Tempo de passagem das espécies analisadas

Na Figura 14 é possível observar os tempos de passagem para as classes de diâmetro da *C. guianensis*.

Figura 14 – Tempo de passagem entre classes de diâmetro para a espécie *C. guianensis*.

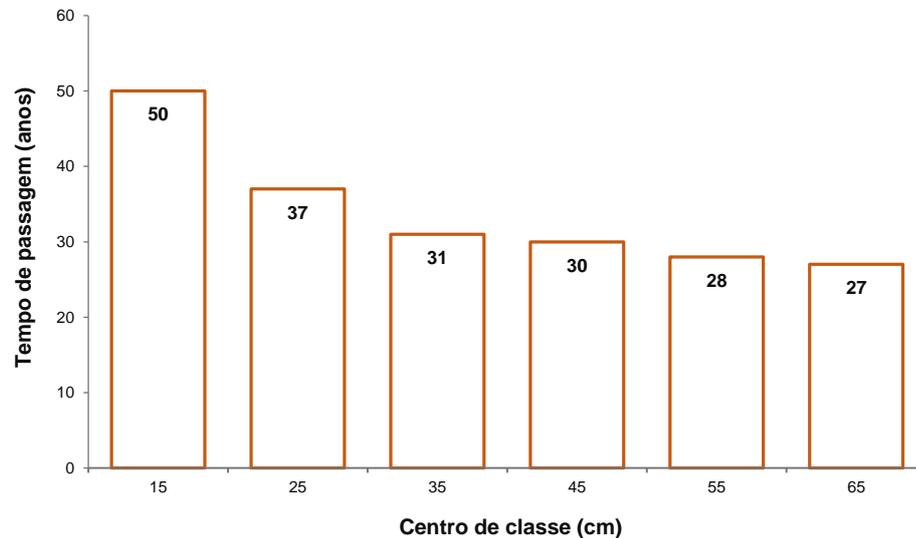


Percebe-se que a *C. guianensis* apresentou tendência decrescente do tempo de passagem com o aumento das classes de diâmetro. O maior valor de tempo de passagem pode ser verificado na primeira classe diamétrica (15 cm). Salienta-se que pode estar havendo uma subestimativa nessa classe, uma vez que a equação

utilizada para essa espécie apresentou tendência em superestimar o incremento em diâmetro nos menores valores de *DAP* (Figura 12). Assim, o tempo necessário para que a *C. guianensis* alcance a classe de 25 cm, pode ser maior do que o obtido no estudo, visto que a superestimação do incremento reduz o tempo de passagem para a classe. O mesmo problema pode estar ocorrendo para a última classe de *DAP* considerada (55 cm).

Para a *T. altissima* (Figura 15), também pode ser observada uma tendência decrescente do tempo de passagem, onde verifica-se uma redução do tempo com o aumento das classes de *DAP*.

Figura 15 – Tempo de passagem entre classes de diâmetro para a espécie *T. altissima*.



O resultado demonstra que a espécie apresentou um crescimento inicial em diâmetro mais lento, resultando em um tempo de passagem maior, decrescendo ao longo das classes. Essa tendência de crescimento foi constatada ao se analisar os indivíduos da espécie na base de dados, em que as árvores com maiores valores de *DAP*, apresentaram maior incremento em diâmetro. Contudo, nos diâmetros inferiores, pode estar havendo uma subestimativa do crescimento, provocando uma superestimação do tempo de passagem nas menores classes.

Esse mesmo comportamento foi observado por Santos et al. (2016), para indivíduos de *Eremanthus incanus* presentes em uma área de recuperação no município de Diamantina, MG. Os autores verificaram um TP maior para as menores classes de diâmetro e um aumento do incremento diamétrico com o aumento das

classes. De igual modo foi observado por Araújo et al. (1993) em uma Floresta Atlântica, município de Linhares, ES. Os autores constataram um TP maior nas primeiras classes, reduzindo nas seguintes. No entanto, a partir da classe de 45 cm, foi observado novamente um aumento do TP. Oliveira (2014) estudando o padrão de crescimento de espécies comerciais numa floresta Amazônica primária no Mato Grosso, encontrou um comportamento para *Qualea albiflora* decrescente nas classes iniciais, já nas classes de 35 a 85 cm a espécie apresentou padrão de crescimento semelhante entre si, até atingir a classe de 95 cm, onde a mesma iniciou o declínio do crescimento em diâmetro. Para a espécie *Goupia glabra*, o autor encontrou um declínio do crescimento a partir da classe de 65 cm.

Em uma floresta nativa, o incremento em diâmetro é menor nas menores classes diamétricas, uma vez que o número de indivíduos é maior, assim como a competição por água, luz e nutrientes é mais acentuada. As árvores que compõem o dossel, e que ainda não atingiram a senescência, são as que apresentam maior taxa de crescimento em diâmetro. Entre estas árvores existe menor competição, já que estão bem estabelecidas com a copa recebendo maior incidência de luz, bem como sistema radicular mais estabelecido. As taxas de crescimento em diâmetro tornam-se menores a partir do momento que a árvore atinge a fase de senescência (SCOLFORO, 2006).

Para as espécies estudadas, não foi constatado um ponto de declínio do crescimento em diâmetro. Isso pode ser explicado pelo fato de que os maiores indivíduos inventariados podem estar no período de maturação, não sendo verificada uma queda na taxa de crescimento. Certamente, esse período para as espécies deverá ocorrer quando as mesmas atingirem maiores dimensões em diâmetro, não sendo possível observar com o intervalo de tempo e medições disponíveis para o estudo.

A aplicação da metodologia para obter o tempo de passagem possibilita fazer uma inferência sobre o ciclo de corte para espécies florestais. Com os resultados observados neste estudo, a *C. guianensis* e a *T. altissima* apresentam-se dentro do ciclo de corte estabelecido por lei (entre 25 e 35 anos) (BRASIL, 2009), com um TP da classe de 45 para 55 cm de 28 e 30 anos, respectivamente. No entanto, para uma prognose mais exata, devem ser incluídas estimativas de ingresso e mortalidade das árvores (SILVA; SOUZA; JESUS, 1999).

6. CONCLUSÕES

O modelo de Piennar e Shiver (modelo 2) apresentou melhor desempenho na projeção do diâmetro para *C. guianensis*. Para *T. altissima*, além deste, o modelo de Chapman-Richards (modelo 3) também foi eficiente.

O modelo 3 apresentou maior acurácia nas estimativas de incremento periódico anual em diâmetro para ambas as espécies. Além disso, esse modelo proporcionou valores estimados mais acurados para o diâmetro futuro, quando comparados aos obtidos mediante a aplicação dos modelos 2 e 3 de projeção do *DAP* para *C. guianensis* e *T. altissima*, respectivamente.

As espécies apresentaram tendência decrescente do tempo de passagem, com o aumento das classes de diâmetro.

REFERÊNCIAS

- ABREU, E. C. R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 86-102, 2002.
- ABSY, M. L.; PRANCE, G. T.; BARBOSA, E. M. Inventário florístico de floresta natural na área da estrada Cuiabá-Porto Velho (Br-364). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 16/17, p. 85-121, 1987.
- ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre – Fase II (Escala 1:250.000)**: Documento Síntese. 2. ed., Rio Branco: SEMA, 2010. 356 p. Disponível em: <http://www.amazonia.cnptia.embrapa.br/publicacoes_estados/Acre/Fase%202/Documento_Sintese.pdf > Acesso em: 20 março 2017.
- ADAME, P. et al. Individual-tree diameter growth model for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) coppices. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3-4, p. 1011-1022, 2008.
- ALDER, D.; SILVA, J. N. M. An empirical model for management of Terra Firme forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 130, p. 141-157, 2000.
- ALMEIDA, L. S. et al. Fitossociologia e uso múltiplo de espécies arbóreas em floresta manejada, comunidade Santo Antônio, município de Santarém, estado do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 185-194, 2012.
- AOZANI, T. S. **Projeção do diâmetro e da altura de árvores de espécies nativas em plantios puros no Espírito Santo**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.
- ARAÚJO, H. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 68, p. 447-464, 2006.
- ARAÚJO, P. A. et al. Idade relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 17, n. 1, p. 100-106, 1993.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BESSA, N. G. F. **Floresta de Savana Brasileira: conservação, reservatório medicinal e bioprospecção**. 2014. 121 f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais) – Universidade de Aveiro, Tocantins, 2014.
- BRANDT, J. S.; NOLTE, C.; AGRAWAL, A. Deforestation and timber production in Congo after implementation of sustainable forest management policy. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 52, p. 15-22, 2016.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 02 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para produção sustentável, institui o Serviço Florestal Brasileiro – SFB, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, e cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – FNDF. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 mar. 2006. Seção 1, p. 1-9. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/03/2006&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=80>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRASIL. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 fev. 2009. Seção 1, p. 100. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=06/02/2009&jornal=1&pagina=100>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRAZ, E. M. et al. Taxa de corte sustentável para manejo das florestas tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 137-145, 2012.

BRUCE, D.; WENCEL, L. C. Modelling forest growth: approaches, definitions, and problems. In: EK, A. R.; SHIFLEY, S. R.; BURK, T. E. (Ed.). **Forest growth modelling and prediction**. Minneapolis: IUFRO, 1988. p. 1-8.

BURKHART, H. E.; BROOKS, T. M. Status and future of growth and yield models. In: LABAU, V. J.; CUNIA, T. (Ed.) STATE-OF-THE-ART METHODOLOGY OF FOREST INVENTORY: a symposium proceedings, 1989, Syracuse. **Proceedings...** Portland: USDA Forest Service, 1990. p. 409-414.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling forest trees and stands**. New York: Springer, 2012. 457 p.

CABALLERO, J.; MALLEUX ORJEDA, J. M. Estudio de una metodología para la determinación de edades en bosques naturales. **Revista Florestal del Perú**, Lima, v. 5, n. 1-2, p. 33-40, 1976.

CAMPOS, J. C. C; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed., Viçosa, MG: UFV, 2017. 636 p.

CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A. Growth rate of a terra firme rain forest in Brazilian Amazonia over an eight-year period in response to logging. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 2, p. 209-217, 2004.

CASTRO, R. et al. Competição em nível de árvore individual em uma floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Oeiras, Portugal, p. 43-66, 2014.

CASTRO, R. V. O. et al. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 287-295, 2013.

CHASSOT, T. et al. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.

CLAUDINO, W. V. et al. Análise fitossociológica da vegetação na região do arco do desmatamento. **Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 13, n. 1, p. 43-52, 2015.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management: A quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

COLPINI, C. et al. Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 549-555, 2010.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 1939-1949, 2011.

COSTA, D. H. M.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. Crescimento de árvores em uma área de terra firme na floresta nacional do Tapajós após a colheita de madeira. **Ciências Agrárias**, Belém, n. 50, p. 63-76, 2008.

COSTA, J. R.; MORAIS, R. R. **Carapa guianensis Aubl. (andirobeira) em sistemas agroflorestais**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2013. 28 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 112).

CUNHA, T. A. da. **Modelagem do incremento de árvores individuais de Cedrela odorata L. na floresta amazônica**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G.; HASENAUER, H. Tree basal area increment models for *Cedrela*, *Amburana*, *Copaifera* and *Swietenia* growing in the Amazon rain forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 365, p. 174-183, 2016.

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze**. 2015. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DAVIS, L. S. et al. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4. ed., Long Grove: Waveland Press, Inc., 2005. 804 p.

DELLA-FLORA, J. B.; DURLO, M. A.; SPATHELF, P. Modelo de incremento para árvores singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 165-177, 2004.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J.R.R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 43 p. (Comunicações técnicas florestais. v. 7, n. 1).

FERRAZ, I. D. K. **Andiroba: Carapa guianensis Aubl**. Manaus: INPA, 2003. 2 p. (Informativo técnico, 1).

FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C.; SAMPAIO, P. T. B. Sementes e plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D. C.): aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 32, n. 4, p. 647-661, 2002.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. d'. **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2007. 183 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FRAGA FILHO, C. V. **Modelagem para prognose do crescimento e produção de eucalipto em diferentes níveis de abordagem**. 2016. 279 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

GUARINO, E. D. S. G. et al. Estrutura etária e espacial de uma população natural de *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae) na Amazônia Sul Ocidental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 91-99, 2014.

GUIMARÃES M. A. M. et al. Height-diameter models in forestry with inclusion of covariates. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 313-321, 2009.

HASENAUER, H. Princípios para a modelagem de ecossistemas florestais. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 53-69, 2000.

HASENAUER, H. **Sustainable forest management: growth models for Europe**. Berlin: Springer, 2006. 398 p.

HICKEY, G. M. Evaluating sustainable forest management – Preface. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 109-114, 2008.

HIDAYAT, S.; SIMPSON, W. T. **Use of green moisture content and basic specific gravity to group tropical woods for kiln drying**. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 39 p.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR., J. A. **Forest mensuration**. 4. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443 p.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION/ INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE – ITTO/IUCN. **Guidelines for the conservation and sustainable use of biodiversity of tropical timber production forests**. Yokohama: ITTO/IUCN, 2009. 118 p. (ITTO Policy Development Series, 17).

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008. 1 v. 384 p.

MACIEL, M. N. M. et al. Classificação ecológica das espécies arbóreas. **Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 69-78, 2003.

MALHEIROS, A. F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J. Análise estrutural da floresta tropical úmida do município de Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 539-548, 2009.

MARTINS, F. B. et al. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1089-1098, 2011.

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. da. Individual tree growth models for eucalyptus in northern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 3, p. 212-225, 2014.

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

MENDONÇA, A. C. A. **Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição.** 2003. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

MENDONÇA, A. R. et al. Modelos hipsométricos e de crescimento em altura das árvores dominantes e codominantes para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 151-160, 2011.

MEWS, H. A. et al. Análise temporal das distribuições de diâmetros e alturas de uma Floresta Estacional Semidecidual na transição Cerrado-Floresta Amazônica, Leste do Mato Grosso, Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 33-43, 2012.

MIRANDA, R. O. V. **Modelagem de árvores individuais para povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** 2016. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelagem da sobrevivência, mortalidade e recrutamento de uma floresta na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 319-330, 2013.

NEWTON, A. C. **Forest ecology and conservation: a handbook of techniques.** Oxford: Oxford University Press, 2007. 454 p.

OBERMÜLLER, F. A. et al. **Guia ilustrado e manual de arquitetura foliar para espécies madeireiras da Amazônia Ocidental.** Rio Branco, AC: UFAC/NYBG, 2011. 101 p.

OLIVEIRA, G. M. V. et al. Equações hipsométricas para *Eucalyptus* spp. não manejado em idade avançada com técnicas de inclusão de covariantes. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 3, p. 483-492, 2015.

OLIVEIRA, M. F. **Critérios para o manejo sustentável de duas espécies madeireiras das florestas tropicais do Mato Grosso.** 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, M. V. N. d'. **Composição florística e potenciais madeireiro e extrativista em uma área de floresta no Estado do Acre.** Rio Branco: EMBRAPA-CPAF-Acre, 1994. 42 p. (EMBRAPA-CPAF-Acre. Boletim de Pesquisa, 9).

OLIVEIRA, M. V. d'; BRAZ, E. M. **Manejo florestal em regime de rendimento sustentado aplicado à floresta do Campo Experimental da Embrapa Acre.** Rio

Branco: EMBRAPA – CPAF/AC, 1998. 46 p. (Embrapa – CPAF/AC. Boletim de Pesquisa, 21).

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LAS MADERAS TROPICALES – OIMT. **Reseña bienal y evaluación de la situación mundial de las maderas: 2013-2014.** Yokohama: OIMT, 2015. 215 p.

PENG, C. Growth and yield models for uneven-aged stands: Past, present and future. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 132, n. 2-3, p. 259-279, 2000.

PHILLIPS, P. D. et al. An individual-based spatially explicit simulation model for strategic forest management planning in the eastern Amazon. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 173, n. 4, p. 335-354, 2004.

PINHO, G. S. C et al. Análise de custos e rendimentos de diferentes métodos de corte de cipós para produção de madeira na floresta nacional de Tapajós. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 555-560, 2009.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal**. San José: IICA, 1997. 586 p.

QUARESMA, A. C.; JARDIM, M. A. G. Fitossociologia e distribuição espacial de bromélias epifíticas em uma floresta de várzea estuarina amazônica. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 1-6, 2013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, version 3.2.4. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, n. 1-3, p. 17-30, 2003.

RAMOS, C. A. **Plano de manejo florestal comunitário para uso múltiplo de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) do Rio Jaburu, Distrito do Itatupã, Gurupá, Pará – APROJA**. Belém, PA, 2003. Disponível em: <<http://static.recantodasletras.com.br/arquivos/3845261.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

REIS, L. P. et al. Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural networks. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 382, p. 161-167, 2016.

RIBEIRO, R. B. S. et al. Estrutura florestal em projeto de assentamento, comunidade São Mateus, município de Placas, Pará, Brasil. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 5, p. 610-620, 2013.

RODRIGUES, T. E. et al. **Caracterização e classificação dos solos do campo experimental da Embrapa Acre, Rio Branco, Estado do Acre**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 45 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 122).

ROIK, M. **Dinâmica (2002-2011) e modelagem do incremento diamétrico em fragmento de Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de Irati, Paraná**.

2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

ROZENDAAL, D. M. A. et al. Long-term growth patterns of juvenile trees from a Bolivian tropical moist forest: shifting investments in diameter growth and height growth. **Journal of Tropical Ecology**, Aberdeen, v. 31, p. 519-529, 2015.

SABOGAL, C. et al. **Manejo empresarial na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades**. Belém: Center for International Forestry Research, 2006. 71 p.

SALOMÃO, R. P. et al. As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental. **Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 3, p. 57-153, 2007.

SALOMÃO, R. P. et al. Estrutura diamétrica e breve caracterização ecológica econômica de 108 espécies arbóreas da floresta amazônica brasileira - I. **Interciencia**, Caracas, v. 20, n. 1, p. 20-29, 1995.

SANTOS, A. T. et al. **Índices de competição em plantio de *Ocotea porosa***. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico 295).

SANTOS, L. et al. Idade relativa e tempo de passagem para *Eremanthus incanus* (Less.) Less em uma área em recuperação no município de Diamantina, MG. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2016.

SANTOS, S. R. M.; MIRANDA, I. D. S.; TOURINHO, M. M. Análise florística e estrutural de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 2, p. 1-8, 2004.

SCHAAF, L. B. et al. Incremento diamétrico e em área basal no período de 1979-2000 de espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 271-290, 2005.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACUS/UFSM, 2008. 566 p.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 1-2, p. 46-58, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, 1996.

SENA, A. L. M. et al. Modelos lineares e não lineares com uso de covariantes para relação hipsométrica de duas espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 969-980, 2015.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: Cifor, Imazon, 2005. 300 p.

- SILVA, L. Á.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Ciclo de corte de uma floresta natural secundária por meio da metodologia do tempo de passagem por classes diamétricas sucessivas. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 293-299, 1999.
- SILVA, R. P. et al. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 166, n. 1-3, p. 295-301, 2002.
- SILVEIRA, B. D. et al. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia clausenii* em um fragmento de Floresta Semidecidual, RS. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 373 - 382, 2015.
- SOARES, P. et al. Validating growth models for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 71, p. 251-266, 1995.
- SOUZA, A. L. et al. Dinâmica de crescimento em diâmetro de uma floresta primária sem interferência: uma análise pelo tempo de passagem entre classes diamétricas. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 17, n. 2, p. 129-145, 1993.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Floresta nativas**: estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa, MG: UFV, 2013. 322 p.
- SPATHELF, P.; DURLO, M. A. Transition matrix for modeling the dynamics of a subtropical seminatural forest in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 151, p. 139-149, 2001.
- STAGE, A. R.; LEDERMANN, T. Effects of competitor spacing in a new class of individual-tree indices of competition: semi-distance-independent indices computed for Bitterlich versus fixed-area plots. **Canadian Journal of Forest Research**, Vancouver, v. 38, n. 4, p. 890-898, 2008.
- STEPKA, T. F. et al. Modelagem do incremento em diâmetro da *Araucaria angustifolia* em uma Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 607-620, 2012.
- TER STEEGE, H et al. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. **Science**, Washington, DC, v. 342, n. 6156, p. 12430921-12430929, 2013.
- VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**: applications to mixed tropical forests. Copenhagen: CAB International, 1994. 312 p.
- VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2014.
- VIDAL, E.; VIANA, V.; BATISTA J. F. L. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 133-143, 2002.

VIEIRA, G. C. **Prognose do diâmetro e da altura de árvores individuais utilizando inteligência artificial**. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

WEISKITTEL, A. R. et al. **Forest growth and yield modeling**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. 415 p.

APÊNDICES

Apêndice A – Idade relativa e tempo de passagem, por classe de diâmetro, para a espécie *C. guianensis*.

Centro de classe (cm)	DAP (cm)	IPA (cm.ano ⁻¹)	Idade relativa (anos)	Tempo de passagem (anos)
15	10,00	0,2820	35	35
	10,28	0,2827	36	
	10,56	0,2834	37	
	10,85	0,2841	38	
	11,13	0,2848	39	
	11,42	0,2854	40	
	11,70	0,2861	41	
	11,99	0,2868	42	
	12,28	0,2875	43	
	12,56	0,2881	44	
	12,85	0,2888	45	
	13,14	0,2895	46	
	13,43	0,2901	47	
	13,72	0,2908	48	
	14,01	0,2914	49	
	14,30	0,2921	50	
	14,59	0,2927	51	
	14,89	0,2934	52	
	15,18	0,2940	53	
	15,47	0,2947	54	
	15,77	0,2953	55	
	16,06	0,2960	56	
	16,36	0,2966	57	
	16,66	0,2972	58	
	16,95	0,2979	59	
	17,25	0,2985	60	
	17,55	0,2992	61	
	17,85	0,2998	62	
	18,15	0,3004	63	
	18,45	0,3010	64	
	18,75	0,3017	65	
	19,05	0,3023	66	
	19,35	0,3029	67	
	19,66	0,3035	68	
	19,96	0,3042	69	

(Continua...)

				(Continuação...)
25	20,27	0,3048	70	31
	20,57	0,3054	71	
	20,88	0,3060	72	
	21,18	0,3067	73	
	21,49	0,3073	74	
	21,80	0,3079	75	
	22,10	0,3085	76	
	22,41	0,3091	77	
	22,72	0,3097	78	
	23,03	0,3103	79	
	23,34	0,3110	80	
	23,65	0,3116	81	
	23,96	0,3122	82	
	24,28	0,3128	83	
	24,59	0,3134	84	
	24,90	0,3140	85	
	25,22	0,3146	86	
	25,53	0,3152	87	
	25,85	0,3158	88	
	26,16	0,3164	89	
	26,48	0,3170	90	
	26,79	0,3176	91	
	27,11	0,3183	92	
	27,43	0,3189	93	
	27,75	0,3195	94	
	28,07	0,3201	95	
	28,39	0,3207	96	
	28,71	0,3213	97	
	29,03	0,3219	98	
	29,35	0,3225	99	
	29,68	0,3231	100	
35	30,00	0,3237	101	30
	30,32	0,3243	102	
	30,65	0,3249	103	
	30,97	0,3255	104	
	31,30	0,3261	105	
	31,62	0,3267	106	
	31,95	0,3273	107	
	32,28	0,3279	108	
	32,60	0,3285	109	
	32,93	0,3291	110	
				(Continua...)

				(Continuação...)
	33,26	0,3297	111	
	33,59	0,3303	112	
	33,92	0,3309	113	
	34,25	0,3315	114	
	34,58	0,3321	115	
	34,92	0,3327	116	
	35,25	0,3332	117	
	35,58	0,3338	118	
	35,92	0,3344	119	
	36,25	0,3350	120	
	36,59	0,3356	121	
	36,92	0,3362	122	
	37,26	0,3368	123	
	37,59	0,3374	124	
	37,93	0,3380	125	
	38,27	0,3386	126	
	38,61	0,3392	127	
	38,95	0,3398	128	
	39,29	0,3404	129	
	39,63	0,3410	130	
	39,97	0,3416	131	
45	40,31	0,3422	132	28
	40,65	0,3428	133	
	41,00	0,3434	134	
	41,34	0,3440	135	
	41,68	0,3446	136	
	42,03	0,3452	137	
	42,37	0,3458	138	
	42,72	0,3464	139	
	43,06	0,3470	140	
	43,41	0,3475	141	
	43,76	0,3481	142	
	44,11	0,3487	143	
	44,46	0,3493	144	
	44,81	0,3499	145	
	45,16	0,3505	146	
	45,51	0,3511	147	
	45,86	0,3517	148	
	46,21	0,3523	149	
	46,56	0,3529	150	
	46,91	0,3535	151	
				(Continua...)

(Continuação...)			
	47,27	0,3541	152
	47,62	0,3547	153
	47,98	0,3553	154
	48,33	0,3559	155
	48,69	0,3565	156
	49,04	0,3571	157
	49,40	0,3577	158
	49,76	0,3583	159
55	50,12	0,3589	160
	50,48	0,3595	161
	50,84	0,3601	162
	51,20	0,3607	163
	51,56	0,3613	164
	51,92	0,3619	165
	52,28	0,3625	166
	52,64	0,3631	167
	53,00	0,3637	168
	53,37	0,3643	169
	53,73	0,3649	170
	54,10	0,3655	171
	54,46	0,3661	172
	54,83	0,3667	173
	55,20	0,3673	174
	55,56	0,3679	175
	55,93	0,3685	176
	56,30	0,3691	177
	56,67	0,3697	178
	57,04	0,3703	179
	57,41	0,3709	180
	57,78	0,3715	181
	58,15	0,3721	182
	58,52	0,3727	183
	58,90	0,3733	184
	59,27	0,3739	185
	59,64	0,3745	186
	60,02	0,3751	187

Apêndice B – Idade relativa e tempo de passagem, por classe de diâmetro, para a espécie *T. altissima*.

Centro de classe (cm)	DAP (cm)	IPA (cm.ano ⁻¹)	Idade relativa (anos)	Tempo de passagem (anos)
15	10,00	0,1582	63	50
	10,16	0,1601	64	
	10,32	0,1620	65	
	10,48	0,1639	66	
	10,64	0,1658	67	
	10,81	0,1677	68	
	10,98	0,1696	69	
	11,15	0,1715	70	
	11,32	0,1733	71	
	11,49	0,1752	72	
	11,67	0,1771	73	
	11,84	0,1790	74	
	12,02	0,1809	75	
	12,20	0,1827	76	
	12,39	0,1846	77	
	12,57	0,1865	78	
	12,76	0,1883	79	
	12,95	0,1902	80	
	13,14	0,1920	81	
	13,33	0,1939	82	
	13,52	0,1957	83	
	13,72	0,1975	84	
	13,92	0,1994	85	
	14,12	0,2012	86	
	14,32	0,2030	87	
	14,52	0,2048	88	
	14,72	0,2066	89	
	14,93	0,2084	90	
	15,14	0,2102	91	
	15,35	0,2120	92	
	15,56	0,2138	93	
	15,78	0,2155	94	
	15,99	0,2173	95	
	16,21	0,2190	96	
	16,43	0,2208	97	
	16,65	0,2225	98	
	16,87	0,2242	99	
	17,09	0,2259	100	

(Continua...)

				(Continuação...)
	17,32	0,2277	101	
	17,55	0,2294	102	
	17,78	0,2310	103	
	18,01	0,2327	104	
	18,24	0,2344	105	
	18,48	0,2361	106	
	18,71	0,2377	107	
	18,95	0,2394	108	
	19,19	0,2410	109	
	19,43	0,2426	110	
	19,67	0,2442	111	
	19,92	0,2458	112	
25	20,16	0,2474	113	37
	20,41	0,2490	114	
	20,66	0,2506	115	
	20,91	0,2522	116	
	21,16	0,2537	117	
	21,42	0,2553	118	
	21,67	0,2568	119	
	21,93	0,2583	120	
	22,19	0,2598	121	
	22,45	0,2614	122	
	22,71	0,2628	123	
	22,97	0,2643	124	
	23,23	0,2658	125	
	23,50	0,2673	126	
	23,77	0,2687	127	
	24,04	0,2702	128	
	24,31	0,2716	129	
	24,58	0,2730	130	
	24,85	0,2744	131	
	25,12	0,2758	132	
	25,40	0,2772	133	
	25,68	0,2786	134	
	25,96	0,2799	135	
	26,24	0,2813	136	
	26,52	0,2826	137	
	26,80	0,2839	138	
	27,08	0,2853	139	
	27,37	0,2866	140	
	27,66	0,2879	141	
	27,94	0,2892	142	
				(Continua...)

				(Continuação...)
	28,23	0,2904	143	
	28,52	0,2917	144	
	28,82	0,2929	145	
	29,11	0,2942	146	
	29,40	0,2954	147	
	29,70	0,2966	148	
	29,99	0,2978	149	
35	30,29	0,2990	150	31
	30,59	0,3002	151	
	30,89	0,3014	152	
	31,19	0,3025	153	
	31,50	0,3037	154	
	31,80	0,3048	155	
	32,10	0,3059	156	
	32,41	0,3071	157	
	32,72	0,3082	158	
	33,02	0,3093	159	
	33,33	0,3103	160	
	33,64	0,3114	161	
	33,96	0,3125	162	
	34,27	0,3135	163	
	34,58	0,3145	164	
	34,90	0,3156	165	
	35,21	0,3166	166	
	35,53	0,3176	167	
	35,85	0,3186	168	
	36,16	0,3195	169	
	36,48	0,3205	170	
	36,80	0,3215	171	
	37,13	0,3224	172	
	37,45	0,3234	173	
	37,77	0,3243	174	
	38,10	0,3252	175	
	38,42	0,3261	176	
	38,75	0,3270	177	
	39,07	0,3279	178	
	39,40	0,3287	179	
	39,73	0,3296	180	
45	40,06	0,3304	181	30
	40,39	0,3313	182	
	40,72	0,3321	183	
				(Continua...)

				(Continuação...)
	41,05	0,3329	184	
	41,39	0,3337	185	
	41,72	0,3345	186	
	42,06	0,3353	187	
	42,39	0,3361	188	
	42,73	0,3368	189	
	43,06	0,3376	190	
	43,40	0,3383	191	
	43,74	0,3391	192	
	44,08	0,3398	193	
	44,42	0,3405	194	
	44,76	0,3412	195	
	45,10	0,3419	196	
	45,44	0,3426	197	
	45,78	0,3432	198	
	46,13	0,3439	199	
	46,47	0,3445	200	
	46,82	0,3452	201	
	47,16	0,3458	202	
	47,51	0,3464	203	
	47,85	0,3470	204	
	48,20	0,3476	205	
	48,55	0,3482	206	
	48,90	0,3488	207	
	49,25	0,3494	208	
	49,59	0,3499	209	
	49,94	0,3505	210	
55	50,30	0,3510	211	28
	50,65	0,3516	212	
	51,00	0,3521	213	
	51,35	0,3526	214	
	51,70	0,3531	215	
	52,06	0,3536	216	
	52,41	0,3541	217	
	52,76	0,3545	218	
	53,12	0,3550	219	
	53,47	0,3555	220	
	53,83	0,3559	221	
	54,18	0,3563	222	
	54,54	0,3568	223	
	54,90	0,3572	224	
				(Continua...)

(Continuação...)				
	55,25	0,3576	225	
	55,61	0,3580	226	
	55,97	0,3584	227	
	56,33	0,3588	228	
	56,69	0,3592	229	
	57,05	0,3595	230	
	57,41	0,3599	231	
	57,77	0,3602	232	
	58,13	0,3606	233	
	58,49	0,3609	234	
	58,85	0,3612	235	
	59,21	0,3616	236	
	59,57	0,3619	237	
	59,93	0,3622	238	
65	60,29	0,3624	239	27
	60,66	0,3627	240	
	61,02	0,3630	241	
	61,38	0,3633	242	
	61,75	0,3635	243	
	62,11	0,3638	244	
	62,47	0,3640	245	
	62,84	0,3643	246	
	63,20	0,3645	247	
	63,57	0,3647	248	
	63,93	0,3649	249	
	64,30	0,3651	250	
	64,66	0,3653	251	
	65,03	0,3655	252	
	65,39	0,3657	253	
	65,76	0,3658	254	
	66,12	0,3660	255	
	66,49	0,3662	256	
	66,86	0,3663	257	
	67,22	0,3665	258	
	67,59	0,3666	259	
	67,95	0,3667	260	
	68,32	0,3669	261	
	68,69	0,3670	262	
	69,06	0,3671	263	
	69,42	0,3672	264	
	69,79	0,3673	265	
	70,16	0,3674	266	