

KLEYBIANA DANTAS DA ROCHA

**PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. NA REGIÃO
DO POLO GESSO DO ARARIPE**

**RECIFE
2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. NA REGIÃO
DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Ciências Florestais, Área de Concentração: Manejo Florestal.

Orientador: Ph. D. José Antônio Aleixo da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

RECIFE
2012

KLEYBIANA DANTAS DA ROCHA

**PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. NA REGIÃO
DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE**

Data: 24/02/2012

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva
(Orientador- Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)

Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana
(Departamento de Biologia/UFPE)
Membro Titular

Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger
(Departamento de Engenharia Florestal/UFPE)
Membro Titular

Prof. Dr. Mário de Andrade Lira Júnior
(Departamento de Agronomia/UFRPE)
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Carlos Marangon
(Departamento de Ciência Florestal/UFRPE)
Membro Titular

RECIFE
2012

*Dedico à minha filha **Amanda Dantas Pacheco**, um presente enviado por Deus que fez essa árdua trajetória mais suave e colorida.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me ajudado dia após dia, aos meus pais Lisboa e Anita em especial à minha amada mãe por sempre me incentivar principalmente com a sua garra de não desistir diante das dificuldades e ter “assumido” a minha filha nessa reta final, ao meu marido André, por todo o carinho e atenção dispensada durante todo o curso, a Marilene, por ter se dedicado integralmente a Amanda junto a minha mãe, para que eu pudesse terminar essa tese, ao meu irmão Kleison e a minha cunhada Eliana, por sempre acreditarem em mim e me incentivarem.

Agradeço em especial ao professor e orientador José Antônio Aleixo da Silva, por toda compreensão, atenção e paciência que teve comigo, ao co-orientador Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira pelas sugestões e aprendizado, à amiga e professora Ana Carolina Borges Lins e Silva pelos seus conselhos valiosos. Ao professor Luiz Carlos Marangon – coordenador do PPGCF por ser sempre tão atencioso, ao prof. Otacílio Antunes por ter contribuído com este trabalho desde os dados parciais, a prof. Rute Berger pela ajuda nos últimos cálculos desta tese.

Ao secretário do PPGCF Douglas Menezes por toda atenção.

Aos amigos de curso, em especial aos da área de manejo, Fernando Gadelha, Francisco Sales, Rubeni Cunha, Tarcísio Alves, José Ferraz, Tarcísio Pio e Jadson Abreu. Aos amigos de turma: Mozart Barboza, Allyson Ferreira e Allan Cauê. Aos amigos da biometria Luiz Medeiros e especialmente a Cícero Carlos por toda a atenção e ajuda. Aos amigos sempre presentes Carlos Frederico e Juliana Westphalen por todos os conselhos e incentivo. A Renata Souza Leão que foi tão solícita em me ajudar.

À bibliotecária da UFRPE Cléa pelas correções nas bibliografias.

Ao IPA- Araripina em especial ao Dr. José Tavares por toda logística em campo, à empresa Gesso Aliança nas pessoas de Emanuel e Amauri.

À banca examinadora pelas contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa. E a todos que pudera contribuir de alguma forma com a realização deste trabalho.

A todos meu muito obrigada!

Que Deus os abençoe!!!

RESUMO

A vegetação nativa da Região do Polo Gesseiro do Araripe se encontra em contínuo processo de degradação, devido à intensa utilização dos recursos florestais pelas indústrias do Polo Gesseiro do Araripe. Assim, tornam-se importantes estudos de plantios florestais de *Eucalyptus* spp. na região para serem usados como fonte de energia. Objetivou-se neste trabalho: comparar as produtividades de 15 clones de *Eucalyptus* spp. por meio da análise multivariada de medidas repetidas; modelar o crescimento volumétrico dos clones de *Eucalyptus* spp.; determinar a idade de rotação técnica; indicar quais entre os clones são os mais promissores para suprir as necessidades energéticas da região; comparar fontes energéticas utilizadas na região; realizar análise financeira comparativa e a ocupação territorial pelo clone de maior produtividade versus planos de manejo florestal sustentados (PMFS) da Caatinga. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Araripe do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Foram testados 15 clones híbridos de *Eucalyptus* spp. (tratamentos) no espaçamento de 3m x 2 m, com quatro repetições e 25 plantas na área útil da parcela. Mensuraram-se as circunferências à altura do peito (CAP) e as alturas totais (Ht) dos clones, a partir de 12 meses de idade, e assim, sucessivamente, até os 90 meses quando o experimento foi cortado. As árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. Os modelos de crescimento usados foram: Mitscherlich, Brody, Bertalanffy, Chapman-Richards, Weibull, Clutter e Jones, Silva-Bailey e Brito-Silva. Pelo teste de Scott-Knott foram formados três grupos, sendo que o clone C39 apresentou o melhor rendimento volumétrico. Os modelos apresentaram bons ajustes para os grupos de clones analisados. A idade de rotação técnica (IRT) com base nos dados de incrementos volumétricos ficou em torno de 7 anos de idade. A análise financeira indicou ser viável economicamente e ambientalmente a implantação de florestas de rápido crescimento de *Eucalyptus* spp. para as quatro taxas de juros consideradas. A alta produtividade aliada ao menor tempo de rotação do *Eucalyptus* spp. em relação aos PMFS fazem desse gênero um grande potencial para ser usado na matriz energética da indústria do gesso, além de que indiretamente atenuará o processo de devastação da vegetação nativa pela oferta de madeira em menor espaço de tempo. Em termos de ocupação espacial, um hectare plantado com clones de *Eucalyptus* spp. corresponde a aproximadamente 3 hectares de PMFS da Caatinga.

Palavras chaves: Crescimento florestal, Matriz energética, Ocupação espacial.

ABSTRACT

The native vegetation of the Gypsum Pole of the Araripe region is under continuous process of degradation due to intensive use of forest resources by the gypsum industries. Researches of introduction in the region with fast-growth forest plantations with clones of *Eucalyptus* spp. to be used as an energy source are very important. The objective of this study: to compare the yield of 15 clones of *Eucalyptus* spp. by multivariate analysis of repeated measurements; model the volumetric growth of *Eucalyptus* spp. clones.; determine the technical rotation age; to indicate which is the most promising clones to supply the energy needs the region; to compare energy sources in the region;to perform financial analysis and to compare the territorial occupation by the clone with higher productivity versus sustained forest management plans (SFMP) of the Caatinga. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA). It was tested 15 hybrid clones of *Eucalyptus* spp. (treatments) at a spacing of 3m x 2 m with four replications and 25 plants per plot. It was measured circumferences at the breast height (CBH) and total height (Ht) of trees after 12 months age, and so on, up to 90 months when the experiment was cut. The trees were cubed rigorously by the method of Smalian. The growth models applied were : Mitscherlich, Brody, Bertalanffy, Chapman-Richards, Weibull, Clutter and Jones, Smith, Bailey and Brito-Silva. By Scott-Knott test three groups were formed, and the clone C39 presented the best volumetric productivity. All the fitted models adjustments for groups of clones analyzed. The age of rotation technique (IRT) was around 7 years old. The financial analysis showed to be economically viable and environmentally advisable to plant fast-growing forests of *Eucalyptus* spp. for the four interest rates considered. The high productivity combined with the shorter rotation *Eucalyptus* spp. in relation to SFMP showed that the gender has a great potential to be used in the energetic matrix of Gypsum Pole. Indirectly, it will mitigate the process of destruction of native vegetation for the supply of wood in a shorter time. In terms of space occupation, an hectare planted with clones of *Eucalyptus* spp. corresponds to approximately three hectares of SMFP of the Caatinga.

Keywords: Forest growth, Energetic matrix, Spatial occupation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	O POLO GESSEIRO	17
2.2	O EUCALIPTO	19
2.3	FLORESTAS PLANTADAS	21
2.4	OCUPAÇÃO TERRITORIAL DOS PLANTIOS DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> spp. E PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADOS (PMFS) NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	23
2.5	FONTES ENERGÉTICAS NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	25
2.6	CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL	27
2.7	ANÁLISE ECONÔMICA	28
2.8	MODELOS DE CRESCIMENTO	29
2.8.1	Modelo de Mitscherlich	31
2.8.2	Modelo de Brody	32
2.8.3	Modelo de Bertalanffy	32
2.8.4	Modelo de Chapman-Richards	35
2.8.5	Modelo de Weibull	36
2.8.6	Modelo de Clutter e Jones	37
2.8.7	Modelo de Silva-Bailey	37
2.8.8	Modelo de Brito-Silva	38
2.9	MEDIDAS REPETIDAS	39
2.9.1	Teste de esfericidade de Mauchly	41

3	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1	ÁREA DE ESTUDO	42
3.2	DELINEAMENTO MULTIVARIADO DE MEDIDAS REPETIDAS	43
3.2.1	Medidas repetidas	45
3.3	SOBREVIVÊNCIA	46
3.4	MODELOS DE CRESCIMENTO	47
3.5	SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES	48
3.5.1	Índice de Ajuste (IA)	48
3.5.2	Índice de Ajuste ajustado em % (IAaj%)	48
3.5.3	Distribuição gráfica dos resíduos	49
3.5.4	Erro padrão da estimativa	49
3.6	DETERMINAÇÃO DA IDADE DE ROTAÇÃO TÉCNICA	49
3.7	ANÁLISE FINANCEIRA DO EXPERIMENTO	50
3.8	SIMULAÇÃO COMPARATIVA DO RENDIMENTO ECONÔMICO DO EUCALIPTO VERSUS PLANO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO DA (PMFS)	51
3.9	CUSTO DA UTILIZAÇÃO DE FONTES ENERGÉTICAS	51
3.10	OCUPAÇÃO TERRITORIAL DOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> spp. E PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADOS DA CAATINGA NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	SOBREVIVÊNCIA	53
4.2	MEDIDAS REPETIDAS	55
4.3	MODELOS DE CRESCIMENTO	59
4.3.1	Estimativas dos parâmetros e IA_{aj} das equações não lineares para o	

grupo A Clone C39	59
4.3.2 Análise das curvas de crescimento e da distribuição gráfica do resíduo para o grupo A Clone C39	60
4.3.3 Estimativas dos parâmetros e IA_{aj} das equações não lineares para o grupo B Clone C41	61
4.3.4 Análise das curvas de crescimento e da distribuição gráfica do resíduo para o grupo B Clone C41	62
4.3.5 Estimativas dos parâmetros e IA_{aj} das equações não lineares para o grupo C	63
4.3.6 Análise das curvas de crescimento e da distribuição gráfica do resíduo para o grupo C	63
4.4 IDADE DE ROTAÇÃO TÉCNICA (IRT).....	71
4.5 CUSTOS DAS FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADOS NA REGIÃO DO ARARIPE	73
4.6 ANÁLISE FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	74
4.7 OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE EUCALIPTOS VERSUS PMFS DA CAATINGA	76
5. CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICES.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Região do Araripe com detalhe no município de Araripina, onde foi realizado o experimento	42
Figura 2. Desenho esquemático da área de cada parcela com detalhe no limite da área útil. Fonte: Barros (2010)	44
Figura 3. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica do resíduo da equação de Brito-Silva para o grupo A, clone C39 no Polo Gesseiro do Araripe.....	60
Figura 4. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica do resíduo da equação de Chapman-Richards para o grupo A, clone C39 no Polo Gesseiro do Araripe.....	60
Figura 5. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica do resíduo da equação de Clutter e Jones para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.	61
Figura 6. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brito-Silva para o grupo B, clone C41 no Polo Gesseiro do Araripe.....	62
Figura 7. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brody para o grupo B, clone C41 no do Polo Gesseiro do Araripe.....	62
Figura 8. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos da equação de Chapman-Richards para o grupo B, clone C41 no Polo Gesseiro do Araripe.	62
Figura 9. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Brito-Silva para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.	64
Figura 10. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Brito-Silva para os clones 10, 12, 13, 14 e 15 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.....	65
Figura 11. Distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brito-Silva para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.	65

Figura 12. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Clutter e Jones para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.	66
Figura 13. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Clutter e Jones para os clones 10, 12, 1, 14 e 15 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.	67
Figura 14. Distribuição gráfica dos resíduos da equação de Clutter e Jones para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.....	67
Figura 15. Curva de crescimento real e estimada pelo equação de Brody para os clones 1, 2, 3, 4, 5 e 6, 8, 9 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.....	68
Figura 16. Curva de crescimento real e estimada pelo equação de Brody para os clones 10, 12, 13, 14 e 15 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.....	69
Figura 17. Distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brody para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.....	69
Figura 18. Precipitação mensal do ano de 2009, no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.	70
Figura 19. Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) do grupo A, clone C39 no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.	72
Figura 20. Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) do grupo B, clone C49, no Polo Gesseiro do Araripe.	72
Figura 21. Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) dos clones do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Total da área de floretas de <i>Eucalyptus</i> spp. plantadas no Brasil entre os anos de 2005 a 2010.....	22
Tabela 2. Precipitação em (mm) da Estação Experimental do IPA entre os meses dos de 2002 a 2009 (Fonte: ITEP 2011).....	43
Tabela 3. Modelos de crescimento ajustado para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp no Polo Gesseiro do Araripe.....	47
Tabela 4. ANOVA para a sobrevivência entre os 15 clones de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.	53
Tabela 5. ANOVA para a variável volume entre os 15 clones de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.	53
Tabela 6. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume, sobrevivência e IMA dos clones de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.....	54
Tabela 7. Teste de esfericidade de Mauchly, para a variável volume.	56
Tabela 8. Análise da variância para o efeito dos clones avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.....	56
Tabela 9. Análise da variância para os testes das hipóteses entre os efeitos tempo e interação tempo x clones.....	56
Tabela 10. Teste de hipótese do não efeito do tempo para a variável volume.....	56
Tabela 11. Teste de hipótese do não efeito da interação tempo x clones para a variável volume.	57
Tabela 12. Resultado do teste de Scott-Knott para as médias dos volumes ao longo do tempo para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.....	58

Tabela 13. Estimativa dos parâmetros, IA_{aj} e S_{yx} dos modelos testados para o grupo A do clone C39. no Polo Gesseiro do Araripe.	59
Tabela 14. Estimativa dos parâmetros, IA_{aj} e S_{yx} dos modelos testados para o grupo B, clone C41 no Polo Gesseiro do Araripe.	61
Tabela 15. Estimativa dos parâmetro,s IA_{aj} e S_{yx} dos modelos testados para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.	63
Tabela 16. Valores em real para produção de uma tonelada de gesso das principais fontes energéticas utilizadas no Polo Gesseiro do Araripe.	73
Tabela 17. Custos e receitas de implantação do experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no Polo Gesseiro do Araripe.	74
Tabela 18. Valor presente líquido para o clone C39 e considerando 6, 8, 10 e 2% de taxa de juros.	74
Tabela 19. Custos e receita gerada para a condução de um hectare de PMFS na Região do Polo Gesseiro do Araripe.	75
Tabela 20. Comparativo econômico entre o plantio de <i>Eucalyptus</i> spp. e PMFS na Região do Araripe.	76
Tabela 21. Simulação da ocupação espacial dos plantios de <i>Eucalyptus</i> spp. e PMFS da Caatinga.	77

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Lista dos tratamentos utilizados no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.....	43
--	----

1 INTRODUÇÃO

Localizada no bioma Caatinga, a região do Araripe vem passando por grande pressão antrópica ao longo dos anos. Isso se deve, principalmente, a crescente demanda por recursos naturais renováveis, o que vem aumentando gradativamente a sua degradação, tanto ao nível domiciliar com a utilização da lenha e carvão vegetal para cocção de alimentos, bem como industrial, com a utilização da madeira em padarias ou em fornos de desidratação da gipsita para produção de gesso.

Na região do Araripe se localiza o arranjo produtivo local (APL) do Polo Gesseiro do Araripe, que é responsável por 95% da produção de gesso do país, tendo a lenha retirada da vegetação local e circunvizinha como principal fonte energética para produção de gesso.

A oferta de lenha proveniente dos planos de manejo florestal sustentado (PMFS), oficialmente cadastrados na região, não atinge a 5% da demanda da indústria do gesso. Assim, a maioria da lenha consumida na região é retirada ilegalmente da Caatinga, aumentando significativamente a degradação da vegetação local e, conseqüentemente, da biodiversidade da região.

Desta forma, a introdução de espécies de rápido crescimento em áreas degradadas da região pode constituir-se em uma opção viável econômica e ambientalmente, pela oferta de matéria prima em menor espaço de tempo, atenuando a exploração da Caatinga.

O eucalipto por adaptar-se ao clima da região e por ser um gênero de rápido crescimento, quando comparado com a vegetação da Caatinga, constitui-se em uma opção viável como fornecedor de lenha para a indústria do gesso.

Entretanto, a introdução de um gênero ou espécie vegetal em uma região necessita de estudos experimentais em escalas menores, pois possíveis problemas de ordem ambiental, fitossanitária e ecológica podem ser detectados na fase experimental.

Nesses experimentos, estimativas volumétricas, modelagem do crescimento, prognose de produção, associadas às análises econômicas e de impactos ambientais das florestas são imprescindíveis nas futuras tomadas de decisões para plantios em larga escala.

Diante do cenário em que se encontra a Região do Polo Gesseiro do Araripe, experimentos com florestas de rápido crescimento podem colaborar de forma significativa indicando alternativas para a matriz energética, uma vez que outras fontes energéticas não renováveis, além de serem poluentes, atualmente não são economicamente viáveis e, em

consequência, induzem à exploração na maioria dos casos irracional dos recursos florestais da região.

Em função da necessidade de encontrar alternativas econômicas e sustentáveis ambientalmente para substituição parcial ou total da lenha da Caatinga na matriz energética da indústria do gesso, este trabalho teve como objetivos:

- Comparar as produtividades dos clones de *Eucalyptus* spp. utilizando a análise multivariada de medidas repetidas ao longo do tempo;
- Modelar o crescimento volumétrico aplicado a grupos de clones de *Eucalyptus* spp. ;
- Determinar a idade de rotação técnica e indicar quais entre os clones são os mais promissores para suprir as necessidades energéticas da região;
- Comparar fontes energéticas utilizadas na região do Polo Gesseiro do Araripe;
- Realizar análise financeira comparativa entre clones de *Eucalyptus* spp e planos de manejo florestal sustentado (PMFS) da Caatinga;
- Comparar a ocupação territorial de clones de *Eucalyptus* spp. versus PMFS da Caatinga para produção de gesso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O POLO GESSEIRO

A região do Araripe, localizada no extremo oeste de Pernambuco, é composta pelos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubí, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade, que juntos correspondem a 18% da área total de Estado de Pernambuco. É nessa região que fica o Arranjo Produtivo Local (APL) do gesso, denominado de Polo Gesseiro do Araripe (SÁ et al., 2007).

No Polo Gesseiro do Araripe são gerados 13 mil empregos diretos e 66 mil indiretos, resultantes da atuação de 39 minas de gipsita, 139 indústrias de calcinação e cerca de 726 indústrias de pré-moldados, que geram um faturamento anual na ordem de US\$ 364 milhões/ano (SINDUSGESSO, 2012).

Em 2011, a produção anual de gesso foi de, aproximadamente, 4,3 milhões de toneladas, correspondendo a 95% da produção nacional, dos quais 61% foram destinados à fabricação de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos. O Polo Gesseiro do Araripe produziu ainda cerca de 800 mil toneladas de gipsita usada pela indústria de cimento e 200 mil toneladas de gesso agrícola, (SINDUSGESSO, 2012).

As reservas do Polo Gesseiro do Araripe, baseando-se nas informações de Sobrinho et al., (2003), situavam-se em torno de 261.395.640 ton., que garantiriam um período de exploração superior a 113,6 anos, considerando a produtividade atual da indústria do gesso.

Devido à extensiva e contínua extração da gipsita, a região do Araripe vem sofrendo com uma elevada degradação ambiental, à medida que a indústria do gesso foi se desenvolvendo, e paralelamente aumentou o consumo de lenha como energético para a calcinação da gipsita, ocasionando um grande processo de devastação da Caatinga (SECTMA, 2008).

Segundo SECTMA/MMA (2007), um hectare de mata nativa no Araripe produz em média um incremento médio anual (IMA) 5 m³/ha. Considerando um consumo domiciliar de 579.048,75 st, resulta na exploração de 3.860 ha de floresta nativa para uma rotação de 10 anos. A recomendação de rotação para a região esteja entre 10 e 15 anos, preferencialmente, 15 anos para dar um melhor estabelecimento da vegetação na área explorada.

Por ser uma área de grande pressão sobre os recursos florestais, estratégias para conter a devastação florestal tornaram-se de grande importância, incluindo plantios de espécies de rápido crescimento e manejo florestal sustentado da vegetação da Caatinga, bem como medidas para evitar o processo de desertificação propiciada pela prática inadequada de exploração florestal (SILVA, 2009). Desta forma, o eucalipto se tornou uma opção viável para a utilização de lenha na região, pois além de ser bem adaptado às características do clima local, possui rápido crescimento, com capacidade de rebrotas, propiciando assim, a oferta de lenha em maior quantidade em mesmo espaço de tempo.

No ano de 2002, foi implantada na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) uma rede de parcelas permanentes experimentais de clones de *Eucalyptus* spp., com a finalidade de estudar a adaptabilidade de clones na região, bem como analisar o crescimento volumétrico, visando selecionar os clones mais produtivos para atenderem a demanda energética da indústria do gesso. Algumas espécies exóticas e nativas também foram plantadas na mesma época em caráter experimental. Dessa rede de parcelas vários trabalhos já foram produzidos, citando-se:

Silva (2006) empregou a análise Bayesiana para avaliar sobrevivência nos clones de *Eucalyptus* spp. e encontrou que o modelo de Weibull foi o que melhor se ajustou aos dados.

Alves et al. (2007) quantificaram a produção e distribuição de biomassa em diferentes compartimentos da parte aérea de árvores de clones de *Eucalyptus* spp. na Estação Experimental do IPA - Araripina. Os autores encontraram uma biomassa total de 88 ton/ha/ano com o experimento aos 4,5 anos de idade.

Silva (2008) testou e comparou equações volumétricas regionais com equações baseadas em volumes, de diferentes secções da primeira tora em clones de *Eucalyptus* spp. na região da Chapada do Araripe, encontrando que o modelo que se baseia em volumes da primeira tora (SILVA e BORDERS, 1993; RIBEIRO, 2001) se ajustou melhor aos dados, além de dispensar a estimativa da variável altura a ser medida no campo, que é uma fonte de erro sistemática.

Analisando modelos simétricos transformados não lineares com diferentes distribuições de erros para estimativa de altura total das árvores, Lima Filho (2009) encontrou que a distribuição de t de Student com 2 graus de liberdade foi a que apresentou melhores resultados, mesmo com as demais testadas gerando também boas estimativas.

Silva (2009) analisando as potencialidades energéticas de florestas plantadas no Polo Gesseiro do Araripe, concluiu que plantações com clones de *Eucalyptus* spp. podem suprir as demandas da matriz energética da região em menores áreas e menor espaço de tempo.

Estudando a volumetria de nove espécies nativas e exóticas (excluindo eucalipto) na Região do Polo Gesseiro do Araripe, Barros et al. (2010) constataram que o Sabiá e a Jurema foram as espécies mais indicadas para a produção de lenha em plantios comerciais homogêneos, quando comparadas às demais espécies utilizadas no estudo, que produziram, respectivamente 52,28 e 42,76 m³/ha aos 6,5 anos de idade.

Gadelha (2010) avaliou o rendimento volumétrico e energético produzido por três diferentes clones de *Eucalyptus* spp. testados na Chapada do Araripe, concluindo que a lenha desses clones apresentou melhor rendimento volumétrico e energético quando comparada as outras fontes de biomassa florestal comumente usada pelas calcinadoras. O rendimento médio dos clones de *Eucalyptus* spp. ficou em torno de 0,10 m³/ton de gesso e a lenha da Caatinga em 0,151 m³/ton de gesso.

Barros (2010) estudou o modelo de crescimento de Chapman-Richards com distribuição dos erros seguindo a nova classe de modelos simétricos transformados e inferência Bayesiana para os parâmetros, para selecionar a equação que melhor estimasse as alturas de clones de *Eucalyptus urophylla*.

Santos (2010) aplicou modelos simétricos transformados não lineares na estimativa volumétrica dos clones de *Eucalyptus* spp. e encontrou resultados semelhantes aos de Lima Filho (2009), que trabalhou com estimativas de alturas de árvores.

Lundgreen (2011) comparando duas técnicas de Geoestatística, a Krigagem e Cokrigagem com a análise de regressão para estimar o volume de clones de *Eucalyptus* spp. na Região do Araripe, concluiu que a análise de regressão estimou melhor os dados, seguida da técnica de Cokrigagem.

Ferreira (2011) testou diferentes distribuições probabilísticas de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe e *Pinus elliotti* em Brasília. Para o povoamento de clones de *Eucalyptus* spp. a distribuição diamétrica das árvores foi considerada do tipo assimétrica positiva, e a distribuição S_B de Johnson se mostrou como a mais indicada para representar a distribuição diamétrica dos povoamentos.

2.2 O EUCALIPTO

Originado da Austrália e Indonésia, o eucalipto chegou ao Brasil em 1825, como planta ornamental e teve sua utilização para fins econômicos a partir de 1903, quando passou a ser empregado na produção de dormentes ferroviários e lenha para alimentar as locomotivas da época, em substituição à madeira das florestas nativas. Praticamente toda parte da planta é

utilizada. Com a fibra é feita a celulose para a produção de diversos tipos de papel, tecido sintético e cápsulas de remédios; a madeira é usada na produção de móveis, acabamentos refinados da construção civil, pisos, postes e mastros para barcos; o óleo essencial é usado em produtos de limpeza, alimentícios, perfumes e remédios (BERTOLA, 2006).

O gênero *Eucalyptus* possui mais de 700 espécies, apresentando uma alta variação latitudinal, o que leva a crer que o eucalipto tenha desenvolvido genótipos adaptados às mais variadas condições de solo e clima (LIMA, 1996). Por ser um gênero com grande plasticidade ambiental, elevada produtividade, ampla diversidade de espécies e possuir características energéticas, esse gênero tem sido cada vez mais utilizado para a produção de matéria prima florestal de alto rendimento e de rápido crescimento, sendo usado nas mais diversas utilidades (TONELLO e TEIXEIRA-FILHO, 2011). Porém, tem sido mais utilizado para a implantação de florestas com fins energéticos (MORA e GARCIA, 2000).

A grande vantagem das florestas de eucalipto é que proporcionam maior uniformidade da matéria-prima florestal, melhor adaptação aos diferentes ambientes de plantio, maior produção de madeira por unidade de área, racionalização das atividades operacionais e redução da idade de corte (SANTOS et al., 2006).

Extensos e bem conduzidos, reflorestamentos industriais com *Eucalyptus* spp. têm garantido o fornecimento constante e regular de várias indústrias que processam e consomem as matérias-primas dessas plantações. O custo relativamente baixo de implantação e fácil manutenção, associada a uma produção contínua de madeira dentro de um curto período, e aliada às excelentes condições de solo e clima nas quais o eucalipto cresce no Brasil, têm colocado o reflorestamento com base em indústria florestal no grupo de oportunidades de investimento mais elevado de competitividade (RODRIGUEZ et al., 1997; RODRIGUEZ e DIAZ-BALTEIRO, 2006).

O reflorestamento de espécies exóticas de rápido crescimento, como o eucalipto, tem sido uma alternativa econômica e ambientalmente viável, pois além de contribuir no sentido de reduzir a retirada das florestas nativas remanescentes, também se encontram direcionadas para a produção de madeira ou produtos não madeireiros, tais como óleos, essências, resinas, ecoturismo, etc. (BAENA, 2005).

No Brasil, a eucaliptocultura é intensiva e baseada principalmente em florestas clonais compostas por materiais de elevada produtividade, chegando a atingir de incremento de 45 a 60 m³/ha/ano (MORA e GARCIA, 2000).

A opção de clonagem para plantio reduz os custos, molda o tronco com melhor qualidade para o mercado e proporciona maior retorno financeiro em consequência do seu amadurecimento precoce resultante de seu crescimento acelerado (MOTTA, 2010).

Os estudos voltados para a implantação florestal com espécies de potencial econômico e silviculturais são importantes, pois além de atenderem à grande demanda de produtos lenhosos, principalmente no setor industrial, favorecem a preservação e conservação dos remanescentes florestais ameaçados (BARROS et al., 2010).

Para Silva et al. (2005), o setor florestal cresceu significativamente nas décadas de 70 e 80 com os incentivos fiscais, quando houve um aumento de plantio de florestas homogêneas, cujo principal objetivo era promover o uso da madeira proveniente de reflorestamento para reduzir o desmatamento.

Rapassi et al. (2008) acreditam que eucaliptocultura está em ascensão e deverá crescer nos país nos próximos anos e que a lucratividade do empreendimento depende da finalidade da produção que varia de acordo com a idade de corte das árvores e do preço obtido por m³.

2.3 FLORESTAS PLANTADAS

As florestas plantadas além de desempenharem um papel importante como alternativa de matéria-prima para indústria florestal podem ser implantadas em áreas já desmatadas, o que diminui a pressão exercida sobre as florestas nativas, bem como atender a mercados específicos (SOARES et al., 2003).

As florestas de *Eucalyptus* spp. estão entre as mais produtivas do mundo, o que se deve às condições ambientais favoráveis associadas à evolução de técnicas silviculturais, manejo e melhoramento genético. A necessidade na produção de florestas altamente produtivas, com madeira de alta densidade, acompanhadas de características que se correlacionam positivamente com a qualidade do produto final, têm levado as empresas brasileiras a investimentos cada vez maiores em programas de melhoramento genético, com a utilização de técnicas como a hibridação e a clonagem (TONINI et al., 2004).

A clonagem permite a conservação total das características da planta mãe de modo a obter estandes uniformes de rápidos crescimentos e produções de matéria-prima homogênea. Tal fato possibilita a implantação de talhões formados por genótipos tecnologicamente superiores e resistentes a doenças e pragas (FERREIRA, 1989).

Para Patiño Valera (1988), existem características que não sofrem grandes alterações com as variações ambientais. Porém, as características de maior importância econômica são quantitativas, e pequenas variações no ambiente podem ser suficientes para provocar modificações fenotípicas significativas.

Conforme a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) o plantio de florestas de *Eucalyptus* spp. tem se intensificado nos últimos anos (Tabela 1), embora tenha havido uma queda na expansão do plantio no ano de 2009, que teve como principal causa a crise econômica que atingiu todo o planeta.

Tabela 1. Total da área de florestas de *Eucalyptus* spp. plantadas no Brasil entre os anos de 2005 a 2010.

ANO	ÁREA PLANTADA (mil ha)	CRESCIMENTO ANUAL (%)
2005	3,463	8,2
2006	3,746	8,2
2007	3,970	6,0
2008	4,325	9,0
2009	4,516	4,4
2010	4,754	5,3

Fonte: ABRAF 2012

Segundo Valverde et al. (2003), a economia florestal brasileira tem uma participação significativa nos indicadores socioeconômicos do país, como o Produto Interno Bruto (PIB), empregos, salários, impostos e balança comercial. No mercado internacional de produtos florestais como a celulose, madeira, móveis, laminados etc., o Brasil vem conquistando espaço em razão das vantagens competitivas que possui.

Entre os diversos produtos extraídos das florestas plantadas se destacam os produtos madeireiros para exploração comercial. O motivo pelo seu enorme interesse se deve à sua operacionalidade comercial e pelas dificuldades em manejar as florestas nativas de forma adequada para atender a legislação vigente (GARLIPP e FOELKEL, 2009).

Segundo Machado et al. (2010), o Brasil tem grandes vantagens para a atividade florestal, devido às excelentes condições edafoclimáticas, aliadas ao desenvolvimento tecnológico no plantio de florestas

O cenário nacional indica que o setor florestal deverá despontar em crescimento, pois os setores vinculados de maior relevância estão em franca expansão. Há investimentos anunciados em andamento para a ampliação de unidades industriais e ampliação dos negócios já existentes. Agrega-se a essa perspectiva, a nova visão de oportunidade de renda para

pequenos e médios produtores rurais. Esses produtores vêm aderindo aos programas de fomento e de apoio à expansão da silvicultura, valendo-se de linhas de crédito especiais, como as do PRONAF Florestal e do PROFLORA (VASQUES e WANZUITA, 2007).

De acordo com Campello et al. (1999), o Nordeste do Brasil, onde o setor florestal gera cerca de 170 mil empregos diretos e 500 mil indiretos, além de contribuir com 15% da renda global dos produtores, destaca-se também pela sua produção de lenha, uma vez que 35% do seu parque industrial têm a lenha como sua fonte de energia primária, além de atender a 70% da demanda energética dos domicílios da região. Isto tem feito com que o produto florestal desempenhe papel fundamental na economia informal, sendo uma das poucas alternativas econômicas para a geração de renda das famílias rurais nos períodos de estiagens (MOURA, et al., 2006)

A diversificação da produção constitui uma estratégia interessante para os pequenos produtores, sob dois aspectos: a possibilidade de receitas melhor distribuídas ao longo do ano e a não dependência de uma ou poucas atividades, que, em caso de ocorrência de algum problema de mercado ou outro qualquer, podem comprometer o desempenho da propriedade. Neste contexto, inserem-se as culturas florestais, que podem ser adotadas na forma de monoculturas ou em consórcios com culturas agrícolas ou animais (VITALE e MIRANDA, 2010).

2.4 OCUPAÇÃO TERRITORIAL DOS PLANTIOS DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. E PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADOS (PMFS) NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE

Dados do incremento médio anual (IMA) da Caatinga são contraditórios. Pareyn e Riegelhaupt (2007) apresentando resultados de mais de 30 anos de experiência do Projeto GEF Caatinga (MMA/GEF/PNUD), no Workshop “Construção do Plano de Desenvolvimento Florestal do Araripe” afirmaram que o IMA comprovado da Caatinga variava entre 5 e 15 st/ha, correspondendo a uma variação de 1,32 a 4,52 m³/ha/ano.

Informações do IBAMA indicam que o IMA dos PMFS é de ordem de 17,8 st/ha/ano, correspondendo a 5,36 m³/ha, para um período de rotação de 10 anos (FUPEF, 2007).

Em 2008, haviam 18 PMFS cadastrados na região, distribuídos da seguinte forma: Araripina (2); Cedro (1); Exu (9); Ipubí (2); Moreilândia (1) e Ouricuri (3), dos quais 13 estavam em andamento, 3 paralisados, 1 suspenso e 1 em tramitação. O ciclo de corte estava entre 10 e 15 anos, para uma área total de aproximadamente 6.652 hectares. A oferta de lenha

proveniente desses planos de manejo era inferior a 5% da demanda somente por parte da indústria do gesso, considerando uma rotação de 10 anos (IBAMA, 2009).

Com essa baixa oferta de lenha autorizada e a crescente produção da indústria do gesso, em torno de 20% ao ano, bem como a diferença entre o preço da madeira e outras fontes energéticas, poderia ser possível afirmar que o consumo de lenha ilegal aumentou com a falta de fontes alternativas de produtos florestais.

Outro fator que aumenta a degradação da Caatinga é que a madeira ilegal geralmente é vendida pela metade do preço da madeira proveniente de PMFS. Isto tem aumentado consideravelmente as áreas devastadas na região e que podem ser usadas em reflorestamentos com eucaliptos.

Segundo Schneider e Schneider (2008), o manejo florestal está centrado no conceito de utilização de forma gradual e sustentado dos recursos florestais, de modo que as gerações futuras possam desfrutar, pelo menos, dos mesmos benefícios da geração presente.

Silva et al. (2005), citam que o manejo sustentável das florestas envolve as atividades relacionadas à implantação, crescimento, manutenção, colheita e comercialização da produção, e para se obter sucesso nesse manejo, é necessário o conhecimento das forças econômicas, ecológicas, sociais e políticas que determinam o uso racional dos recursos florestais.

A ocupação territorial por plantios florestais ou PMFS é um dos fatores que podem viabilizar ou não a atividade florestal, quer sejam plantios ou PMFS, pois envolvem custos iniciais que irão repercutir diretamente no cálculo final da rentabilidade econômica da atividade. A redução de áreas plantadas ou de PMFS com aumento de produtividade implicam maior eficiência e lucratividade na atividade florestal.

Segundo Sá et al. (2007), no mapeamento das classes de atividades florestais na região do Araripe existem disponíveis 470.000 ha para manejo florestal; 110.000 ha para florestamento e ou reflorestamento; 267.000 ha para recuperação e 6.000 ha para unidade de conservação.

Portanto, na implantação de clones de *Eucalyptus* spp. na Região do Araripe, o fator ocupação territorial é de fundamental importância, pois esses novos plantios devem ser realizados em áreas disponíveis para florestamento e ou reflorestamento, evitando o desmatamento de áreas com vegetação nativa.

2.5 FONTES ENERGÉTICAS NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE

Há muito tempo que a vegetação nativa do Nordeste do Brasil vem sendo usada como fonte de biomassa vegetal, necessária ao desenvolvimento de atividades produtivas e de subsistência. No semiárido, a vegetação da Caatinga tem servido como fonte de lenha e carvão vegetal, e a exploração desses recursos ocorre sem critério técnico, o que compromete o equilíbrio ambiental e a oferta desses produtos florestais (SANTOS e GOMES, 2009).

Analisando a composição da matriz energética mundial, constata-se 80% da mesma é proveniente de carbono fóssil, petróleo, carvão mineral e gás natural. O Brasil se destaca entre as economias industrializadas pela elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Isso se esclarece por algumas características ambientais do país, como uma bacia hidrográfica com vários rios de planalto, fundamental à produção de eletricidade e o fato de ser o maior país tropical do mundo, diferencial positivo para a produção de energia de biomassa (MAPA, 2006).

A matriz energética do Polo Gesseiro do Araripe é composta pela eletricidade, derivada do petróleo e lenha. A eletricidade é utilizada em todas as etapas do processo produtivo do gesso. No extremo da matriz encontra-se a lenha, que é utilizada apenas na calcinação, porém apresenta-se como a principal fonte de energia do setor (CUNHA et al., 2008; CAMPELLO, 2011).

Araújo (2004) cita que a matriz energética do Polo Gesseiro do Araripe encontrava-se enfrentando uma crise na obtenção dos combustíveis utilizados na calcinação da gipsita. Essa crise foi agravada pelo cenário internacional, seja pelos combustíveis fósseis, que são dependentes dos países importadores, seja pela energia elétrica escassa durante as épocas de racionamento, nas quais há o controle das vazões das represas geradoras de energia. Já para a lenha, o principal problema é a falta de PMFS em número suficiente para atender a demanda da indústria do gesso.

No estudo realizado por Dantas (2010), a lenha foi apontada como a melhor opção para utilização como fonte de energia pelas empresas do Polo Gesseiro do Araripe.

Segundo Grauer e Kawano (2001), a madeira utilizada para a geração de energia apresenta vantagens e desvantagens, quando comparadas aos combustíveis à base de petróleo. Entre as vantagens está o baixo custo de aquisição, a não emissão de dióxido de enxofre, a menor corrosão de equipamentos (caldeiras e fornos), a possibilidade de aproveitamento dos resíduos do processo de fabricação (serragem, cavacos e pedaços de madeira) e o menor risco ambiental, pois por se tratar de recurso renovável, as emissões não contribuem para o efeito

estufa. Como desvantagens têm-se: o menor poder calorífico, maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera e as dificuldades no estoque e armazenamento.

A situação institucional do setor florestal no Nordeste se caracteriza pela ausência de uma política regional própria, devido à baixa importância dada ao setor. Somente a partir de 1994, com a elaboração de diagnósticos florestais, bem como de programas de desenvolvimento florestal em quatro dos nove estados nordestinos, é que se deu início a um trabalho de estruturação do setor (CAMPELLO et al., 1999).

Para Uhlig et al. (2008), a demanda por madeira usada como combustível no Nordeste por indústrias e consumidores intensivos, apresentam impactos ambientais negativos, principalmente, com relação ao empobrecimento do solo e à desertificação.

De acordo com Müller e Couto (2006), o uso da madeira como fonte de energia é uma tendência mundial, impulsionada pela necessidade de diminuir o uso de combustíveis fósseis, tornando-se menos dependente dos países exportadores e reduzindo as emissões de gases nocivos a atmosfera.

Mendéz (2005) acredita que a biomassa utilizada como fonte de energia apresenta vantagens ambientais quando comparada aos combustíveis fósseis, principalmente em relação à emissão de gases de efeito estufa. É importante ressaltar que a lenha representa 60% de toda a energia utilizada para o cozimento dos alimentos das famílias da região Nordeste.

O estabelecimento de plantios florestais comerciais, bem como o manejo florestal sustentado da Caatinga, são necessidades indispensáveis para o desenvolvimento regional, a fim de evitar o desmatamento de áreas com vegetação nativa e, conseqüentemente, os delitos ambientais.

Segundo dados da ATECEL (2006), a matriz energética da indústria do gesso do Araripe é muito diversificada, usando, aproximadamente, 3% de energia elétrica, 5% de óleo diesel, 8% de óleo BPF (Baixo Poder de Fusão), 10% de coque e 74% de lenha.

As ações que visam à gestão da atividade florestal devem buscar o equilíbrio entre oferta e demanda de madeira e, sempre que possível, o superávit, de modo que haja garantia de sustentabilidade ambiental, social e econômica da atividade, atendimento às necessidades humanas, menores riscos nos investimentos realizados e sustentabilidade das atividades (SCHETTINO et al., 2000).

Campello (2011) analisando a matriz energética da região constatou que a lenha proveniente da Caatinga se constitui como a principal fonte energética para a indústria do gesso, e que a maioria dessa lenha é de origem ilegal.

2.6 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

De acordo com Imanã-Encinas et al. (2005), o crescimento individual de árvores pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa, etc. O crescimento de árvores individuais pode ser entendido como o somatório da divisão, alongamento e engrossamento de suas células.

O crescimento florestal é composto pela mortalidade, o ingresso e as produções correntes e futuras, tanto para florestas nativas quanto para florestas plantadas. O crescimento das árvores e da floresta como um todo é obtido por meio de medições e remediações em parcelas permanentes (CAMPOS e LEITE, 2006).

A produção de um povoamento florestal pode ser expressa do ponto de vista matemático, por uma equação de produção, que é assim definido como incremento corrente anual (ICA) e corresponde ao valor do aumento da produção para um determinado período de tempo, geralmente, de um ano (DAVIS e JOHNSON, 1987 *apud* DEMOLINARI, 2006).

Segundo Schneider e Schneider (2008), a curva de crescimento tem uma forma sigmoideal, começando no tempo zero com crescimento lento, passando a ser mais íngreme até um ponto de inflexão, quando se aproxima da assíntota. Qualquer processo biológico pode ser descrito pelo mesmo tipo de curva, tanto para organismos inteiros como parte dele. Na área florestal isso significa que o crescimento em volume, altura, diâmetro de árvores e de povoamentos pode ser descrito pelo mesmo tipo de curva.

Do ponto de vista volumétrico, a idade de corte ótima é aquela que resulta no maior volume médio anual ao longo de diversas rotações. A decisão de cortar a floresta quando o incremento médio anual IMA é máximo se justifica por resultar em um volume anual médio maior do que o volume anual que seria obtido se a floresta fosse cortada em qualquer outra idade.

A taxa média de crescimento ou IMA se constitui na mais importante e reveladora característica dos povoamentos florestais equiâneos e é, normalmente, usada nos estudos de dinâmica de povoamentos florestais (SHARMA et al., 2003).

Segundo Berger et al. (2000), a previsão do crescimento de uma floresta feita a partir de curvas de projeção do desenvolvimento em diâmetro, altura e volume é condição fundamental em qualquer processo de planejamento da produção, já que essas curvas são importantes para determinar a idade ótima e econômica de corte, bem como analisar de forma eficiente os experimentos florestais.

As técnicas utilizadas para prever a dinâmica de um povoamento florestal são conhecidas como modelagens de crescimento e produção (AVERY e BURKHART, 1994).

Para Leite (2002), a predição do crescimento e da produção florestal está inserida em um conceito mais amplo, denominado de modelagem de crescimento e produção, que trata do desenvolvimento de técnicas e modelos estatísticos com o intuito de conhecer e prognosticar a dinâmica de crescimento dos povoamentos que compõe a floresta.

As modelagens do crescimento e do rendimento são as principais ferramentas utilizadas no manejo florestal. Mesmo usando dados relativamente simples, geralmente obtém-se um alto grau de precisão na previsão de crescimento médio da floresta em uma região (BATTAGLIA e SANDS, 1998).

2.7 ANÁLISE ECONÔMICA

As informações relativas aos custos de todas as etapas de implantação de um projeto florestal são extremamente necessárias para a viabilização de recursos para a execução de cada fase. Aliado a isso, os custos dos investimentos, juntamente com as receitas futuras no final do projeto, são parte indispensável das análises de viabilidade do investimento (SILVA et al., 2004).

Por apresentar um ciclo de produção relativamente longo quando comparado a outros cultivos, a implantação do plantio florestal se torna uma decisão difícil de ser realizada. Assim como todo investimento, os administradores econômicos precisam decidir quanto produzir (área), como produzir (espaçamento, manejo, etc.) e para qual finalidade: energia, celulose ou serrados (SIMIONI e HOEFLICH, 2006).

Para Rapassi et al. (2008), a decisão para a realização de um investimento exige que o produtor tenha informações que o auxiliem a investir seu capital em atividades que lhe assegurem um retorno econômico satisfatório.

Rezende e Silva (1997) acreditam que o sucesso de um projeto depende da sua prévia avaliação, que resulta em racionalização das atividades para maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção. Porém, a necessidade de avaliar um projeto que engloba várias etapas de execução, como produção e transporte de mudas, preparo do solo, combate à formigas, plantio e replantio, é de extrema importância para o profissional ligado à área florestal.

O investimento em recursos, também chamados de aplicação de capital, afeta os investimentos florestais por longo período de tempo. Como os recursos são limitados, muitas

vezes é necessário selecionar uma, dentre várias alternativas de investimentos, sendo necessário escolher uma base de comparação. Por isso que, os investimentos em plantios florestais devem estar fundamentados em uma análise econômica para auxiliar na decisão de escolha da alternativa a ser adotada. Entre os critérios existentes nessa análise se encontram o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), a razão benefício/custo (B/C), o valor anual equivalente (VAE), o custo de oportunidade da terra (COT), o valor esperado da terra (VET) e o custo médio de produção (CMP) (BERGER et al., 2011).

Uma forma de avaliar um determinado projeto florestal é a utilização do Valor Presente Líquido (VPL), que representa a diferença entre os fluxos de caixa futuros descapitalizados para o valor presente pelo custo de oportunidade do capital e o investimento inicial. Segundo Silva et al. (2005), um experimento analisado pelo VPL é economicamente viável quando apresenta uma diferença positiva entre receitas e custos atualizados para uma determinada taxa de desconto.

De acordo com Faro (1979), o ponto crucial na aplicação do VPL e na avaliação de um projeto, é a escolha da taxa de juros. Projetos considerados antieconômicos, analisados a uma determinada taxa de juros, podem se tornar viáveis, quando avaliados a uma taxa menor. Além disso, a mudança na taxa de juros pode acarretar uma variação na ordenação de alternativas.

Segundo Lima Júnior et al. (1997), é comum o uso de taxas de juros arbitrariamente escolhidas na amplitude de 4 a 15% ao ano. Rezende e Oliveira (2001) consideram que a taxa de desconto representa o que se deixa de ganhar pela não aplicação do capital em outra atividade de investimento, sendo seu uso decorrente da necessidade de comparar valores que ocorrem em diferentes pontos no tempo. Para o valor da madeira em m³/ha foi considerado o valor em pé na floresta.

A utilização de *Eucalyptus* spp. em reflorestamentos tem apresentado viabilidade técnica e econômica, mostrando-se muito promissores, sendo esse gênero muito importante para ampliar significativamente a participação na composição da renda agropecuária, com vantagens adicionais sob a ótica social e ambiental (SOARES et al., 2003).

2.8 MODELOS DE CRESCIMENTO

O estudo da modelagem de crescimento e produção de povoamentos de eucaliptos teve início no Brasil na década 80 e, encontra-se bastante desenvolvido com avanços significativos (OLIVEIRA et al., 2009a). Como resultados existem modelos ajustados para diferentes

regiões do país, incluindo desde modelos empíricos em nível de povoamento e distribuição diamétrica, até modelos baseados em processos biológicos (CAMPOS e LEITE, 2006).

Segundo Abreu et al. (2002), os modelos com propriedades biológicas e amparados em uma amostragem adequada, com informações precisas e remedições, propiciam prognose do crescimento e da produção florestal com elevado grau de confiabilidade.

Os critérios qualitativos para seleção de um modelo dizem respeito à sua suficiência explicativa e consistência nos resultados encontrados. O modelo deve ir além de reescrever os dados observados, ele deve ser interpretável, fazer sentido e ser compreensível. Também é importante que os componentes do modelo, principalmente seus parâmetros, estejam ligados aos processos biológicos considerados (MYUNG et al., 2003).

Diversos estudos têm sido realizados no Brasil utilizando modelos de crescimento e produção ajustados para plantações de eucaliptos (COUTO e BASTOS, 1986; MAESTRI et al., 2003; RESENDE et al., 2004; MENDES et al., 2006; GORGENS et al., 2007; BAESSO et al., 2010; CARVALHO, 2010). De acordo com Colbert et al. (2004), os modelos de crescimento são importantes por melhorar a capacidade de estimação da produção de árvores em função da idade.

Existem modelos com estruturas lineares e não lineares, sendo que os não lineares geralmente se ajustam melhor aos dados de fenômenos biológicos.

Muitos modelos biológicos (teóricos) não lineares são utilizados no lugar de modelos matemáticos (empíricos) para a prognose do crescimento florestal. Isto está relacionado, principalmente, ao fato dos modelos biológicos apresentarem uma hipótese biológica associada como causa ou função do fenômeno descrito pela variável resposta. Já os modelos matemáticos, entre eles os polinomiais, não devem ser considerados para modelar o crescimento e produção porque são desprovidos de qualquer interpretação biológica e não têm parâmetros significativos do ponto de vista florestal (LEI e ZHANG, 2004).

Atualmente, o ajuste dos modelos de crescimento é realizado com a utilização de métodos cada vez mais avançados, diante da facilidade encontrada ao acesso de computadores de alto desempenho e de *softwares* especializados nessas análises. (MENDES et al., 2006).

Estudos de crescimento e produção de um povoamento florestal tratam do desenvolvimento de mecanismos de predição das características quantitativas em condições específicas, principalmente, visando atingir o manejo florestal sustentado.

Na literatura, são propostos vários modelos não lineares para descrever curvas de crescimento tais como: Mitscherlich, Brody, Bertalanffy, Logístico, Gompertz, Weibull, Chapman-Richards, Silva-Bailey, entre outros (SCHNEIDER et al., 2009; BARROS, 2010).

Segundo Prodan (1968), a primeira tentativa de se empregar um modelo matemático para estimar o crescimento florestal foi feita por Spath em 1797.

2.8.1 Modelo de Mitscherlich

No início do século passado, Mitscherlich utilizou um princípio de economia (a produção se aproxima de um limite máximo e o incremento na produção tende a zero), traduzindo-o em termos de crescimento biológico como “Lei dos efeitos dos fatores de crescimento” (SILVA, 1986).

Essa lei diz que a taxa de crescimento dw/dt é proporcional a diferença entre o tamanho máximo (último nível de crescimento ou termo assintótico) e o próprio parâmetro de crescimento.

Assim:

$dW/dt = c \cdot (U - W)$, resultando em::

$$W = U[1 - \exp(-ct)]$$

Se os efeitos de vários (n) fatores são considerados, a expressão se transforma em:

$W = U[1 - \exp(-c_1 t)] [1 - \exp(-c_2 t)] \dots [1 - \exp(-c_n t)]$, resultando em:

$$W_i = U [1 - \exp(-c' t_i)]^n + \varepsilon_i$$

Em que:

W_i = variável resposta (crescimento);

U = expressa o valor assintótico (tamanho máximo que o organismo pode atingir);

$c' = c_1 = c_2 = \dots = c_n$;

n = número de fatores;

t_i = tempo;

ε_i = erro aleatório.

Este modelo tem recebido destaque na literatura germânica (SILVA, 1986; RODRIGUEZ et al., 1997; 1997; BRITO et al., 2007; TONIINI et al., 2003).

2.8.2 Modelo de Brody

Brody (1945) propôs o seu modelo a partir da divisão de duas curvas sigmoidais. A primeira curva sendo uma função exponencial crescente, com sua assíntota infinita, porém essa curva só pode ser aplicada em intervalos limitados e não pode ser extrapolada. A segunda é uma função exponencialmente decrescente.

Assim:

$$\frac{dW}{dt} = \alpha \cdot \beta \cdot t \cdot \kappa$$

Após a solução da equação diferencial e aplicação do método das diferenças de equações resultou em:

$$W_i = W_\infty (1 - \beta^{-\kappa t_i}) + \varepsilon_i$$

Em que:

W_i = variável resposta;

$W_\infty = \alpha$ = valor assintótico (tamanho máximo atingido);

β, κ = parâmetros do modelo;

t_i = tempo;

ε_i = erro aleatório.

Este modelo tem se destacado por ser bastante utilizado para descrever o crescimento de animais (FREITAS, 2005; SANTOS et al., 2007; SOUZA et al., 2010).

2.8.3 Modelo de Bertalanffy

Um dos primeiros modelos que empregou as relações biológicas foi desenvolvido por Von Bertalanffy (1957). Ele considerou as denominadas relações alométricas dos organismos. A alometria foi compreendida por existir relação entre elementos dimensionais de um organismo, denominado P e Q, expressa por:

$$P = \alpha \cdot Q^\theta$$

Em que:

$W = V =$ variável resposta;

$t =$ tempo;

$\alpha, \kappa =$ parâmetros do modelo;

A vantagem da equação diferencial proposta está na sua fundamentação teórica, em que a razão anabólica é proporcional à área da superfície do organismo, enquanto que a catabólica é proporcional ao volume da biomassa, que após diferenciação resulta em:

$$W_i = W_\infty [1 - \exp(-\kappa \cdot t_i)]^3 + \varepsilon_i$$

Clutter (1963) desenvolveu uma metodologia na qual o valor do W_∞ pode ser eliminado do modelo, pelo uso do método das diferenças de equações.

Considerando que no tempo i o modelo possui a seguinte forma:

$$W_i = W_\infty [1 - \exp(-\kappa \cdot t_i)]^3 \quad (1)$$

e no tempo $i+1$:

$$W_{i+1} = W_\infty [1 - \exp(-\kappa \cdot t_{i+1})]^3 \quad (2)$$

torna-se possível encontrar o valor de W_∞ em (1) e substituir em (2), mudando a estrutura do modelo para:

$$W_{i+1} = W_i \left[\frac{1 - \exp(-\kappa \cdot t_{i+1})}{1 - \exp(-\kappa \cdot t_i)} \right]^3 + \varepsilon_i$$

Esta forma permite que se estime um valor futuro no tempo $i+1$ pelo conhecimento do valor em um tempo i . Este modelo possui as propriedades de compatibilidade e invariância (CLUTTER, 1963).

2.8.4 Modelo de Chapman-Richards

Richards (1959), estudando o crescimento de plantas, utilizou a função de crescimento de animais desenvolvida por Von Bertalanffy em 1951, e apresentou uma série de considerações que possibilitaram a generalização dessa função de crescimento, principalmente, que a constante alométrica (2/3) deveria ser variável no modelo.

Chapman (1961), em outra pesquisa, analisando o crescimento de peixes chegou às mesmas conclusões que Richards, isto é, que ao invés de usar a constante 2/3, deveria se usar mais um parâmetro no modelo.

Turnbull (1963) trabalhando em modelagem de crescimento florestal denominou o modelo originário de Von Bertalanffy com as idéias de Chapman e Richards, como modelo Chapman-Richards, que passou a ser empregado em várias pesquisas no setor florestal, partindo do princípio de que o crescimento segue a um processo de síntese (anabolismo) e degradação (catabolismo) (MACHADO, 1978; SILVA, 1986; SCOLFORO, 1994).

A generalização de Chapman-Richards do modelo de crescimento de Von Bertalanffy é uma expressão matemática de uma hipótese concernente a causas essenciais do fenômeno de crescimento, de tal modo que os parâmetros no modelo têm pelo menos uma total interpretação biológica ou fisiológica (PIENAAR e TURNBULL, 1973; SILVA, 1986).

A equação diferencial que deu origem ao modelo de Chapman-Richards é expressa por:

$$dW/dt = \alpha \cdot W^m - \kappa \cdot W$$

Em que:

m = expressa a localização do ponto de inflexão na curva cumulativa de crescimento, sendo responsável pela forma da curva sigmoidal. (MACHADO et al., 1997).

A solução da equação diferencial resulta no seguinte modelo:

$$W_i = W_\infty [1 - \exp(-\kappa \cdot t_i)]^\theta + \varepsilon_i$$

Em que:

$\theta = 1/(1-m)$ = parâmetro do modelo;

Dependendo do valor de m , o modelo de Chapman-Richards pode representar outros modelos: Bertalanffy ($m=2/3$), Monomolecular ($m=0$), Gompertz ($m=1$) e Logístico ($m=2$) (MACHADO, 1978).

Este modelo é um dos mais difundidos na área florestal em que foram realizados diversos trabalhos (MACHADO, 1978; SILVA, 1986; MACHADO et al., 1997; FERREIRA e TREVISAN, 2001; COLBERT et al., 2004; LEI e ZHANG, 2004; FLORIANO et al., 2006; BRITO et al., 2007; CRUZ et al., 2008; TONINI et al., 2008; SANQUETTA et al., 2010; ELASBÃO, 2011).

2.8.5 Modelo de Weibull

Segundo Angelo e Guimarães (2001) a função Weibull é a terceira mais utilizada em estatística, sendo superada apenas pela Normal e Gama. Essa função pode ser empregada em uma ampla variedade de aplicações florestais, embora tenha sido inicialmente aplicada restritamente por Bailey e Dell (1973) para descrever distribuições diamétricas em florestas homogêneas. Para Guimarães (2000), entre as funções mais empregadas em modelagem, a Weibull se destaca pela sua característica de simplicidade e flexibilidade.

Sanquetta et al. (2010), estudaram diversos modelos de crescimentos e empregaram o de Weibull com a seguinte forma:

$$W_i = \alpha \left(1 - e^{-\beta x^\gamma} \right) + \varepsilon_i$$

Em que:

W_i = variável dependente;

α , β e γ = parâmetros do modelo;

x = idade em anos;

ε_i = erro aleatório

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos no ajuste da função de Weibull (SILVA, 1986; GUIMARÃES, 1994; BINOTI et al., 2010; SANQUETTA et al., 2010; MENDES et al., 2006) entre outros.

2.8.6 Modelo de Clutter e Jones

Clutter e Jones (1980) apresentaram um modelo para prever o número de árvores de plantações desbastadas e não desbastadas de *Pinus elliottii* em uma idade t . Substituindo N por W na equação diferencial se tem:

$$\frac{dW}{dt} = \alpha W^\beta t^\gamma$$

Após a solução da equação diferencial e a aplicação do método das diferenças de equações no modelo, o mesmo resulta em:

$$W_{i+1} = \left[W_i^\beta + \alpha (t_{i+1}^\gamma - t_i^\gamma)^{\frac{1}{\beta}} \right] + \varepsilon_i$$

2.8.7 Modelo de Silva-Bailey

Silva (1986) estudando o crescimento de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* em função de diferentes fontes de nutrientes, considerou a ideia de dinâmica de populações proposta por Leslie (1945), que exprimia que para qualquer distribuição arbitrária no tempo i , a estrutura de uma população pode ser expressa na forma de $n+1$ equações lineares, em que de n para $n+1$ é o último grupo de idade na tabela de distribuição etária.

O modelo expressa o tamanho da população (W_{i+n}) no tempo $i+n$ como função do tamanho da população no tempo i (W_i) da taxa de sobrevivência (S), do número médio de recrutamentos (F) produzido na população no tempo i . Sua expressão é:

$$W_{i+n} = W_i (SF)^n$$

Silva (1986) considerou o plantio de *Pinus* spp. como uma população fechada e o parâmetro F do modelo foi desprezado, uma vez que em populações florestais o problema de recrutamento no período de investigação é desprezível, bem como a migração, que são fenômenos comuns em populações animais (móveis). Ocorre mortalidade, mas essa pode ser modelada sem maiores problemas. Já o parâmetro S é desconhecido e depende da taxa de

mortalidade, que pode ser regular ou irregular (BURKHART, 1974). Mortalidade regular é resultante de fatores tais como densidade de plantio, qualidade do sítio, tratamentos silviculturais, etc, enquanto que mortalidade irregular é devida a eventos catastróficos como, por exemplo, fogo, doenças, pragas, ventos. Então o modelo obteve a seguinte forma:

$$W_{i+1} = W_i \cdot e^{\beta \cdot (k^{t_{i+1}} - k^{t_i})} + \varepsilon_i$$

Este modelo foi aplicado com boas estimativas na modelagem de recursos pesqueiros (SIQUEIRA et al., 1989; ROSA, 1993) e na área florestal (SILVA e BAILEY, 1991; BRITO et al., 2007; MARTINS et al., 2007).

2.8.8 Modelo de Brito-Silva

Brito-Silva (2005) estudando o crescimento em altura para leucena e tubarão-junteiro, desenvolveram um modelo baseado nas variações (produto) dos modelos de Silva-Bailey e Chapman-Richards, considerando que a variação do crescimento em função do tempo é proporcional a uma condição inicial, multiplicado pela diferença entre o anabolismo e o catabolismo do indivíduo ao longo do tempo.

A partir da equação diferencial:

$$W = [(\beta_1 + \beta_2 \cdot e^{-k \cdot t})^{\beta_3} \cdot (\beta_4 \cdot e^{\beta_5 - \alpha t})]$$

O modelo resultante foi:

$$W_{i+1} = W_i \cdot \left[\left(\frac{1 + \beta \cdot e^{-K \cdot t_{i+1}}}{1 + \beta \cdot e^{-K \cdot t_i}} \right) \cdot e^{\lambda(\alpha t_{i+1} - \alpha t_i)} \right]^\theta + \varepsilon_i$$

No desenvolvimento matemático do modelo alguns produtos de parâmetros foram considerados o que faz com que apareçam resultados de coeficientes difíceis de interpretar biologicamente.

Em que:

W_{i+1} = altura no tempo $i+1$;

W_i = altura no tempo i ;

t_{i+1} = tempo no período $i+1$;

t_i = tempo no período i ;

$\beta, \kappa, \lambda, \theta$ = parâmetros do modelo;

ε_i = erro aleatório.

2.9 MEDIDAS REPETIDAS

Na montagem de experimentos em que se tomam medidas ao longo do tempo, geralmente, se utiliza o arranjo de parcelas subdivididas, no qual o tempo é considerado um tratamento e as medidas são também consideradas independentes, isto é, uma medida posterior independe da medida anterior. Entretanto, em estudos de crescimento em que as medidas são realizadas no mesmo indivíduo ao longo do tempo, tal independência, geralmente, não existe, o que pode tornar inválida a análise estatística de parcelas subdivididas.

Experimentos com medidas repetidas são extensivamente utilizados em diversas áreas, incluindo as ciências florestais. Podem ser usados para descrever situações em que a variável resposta para cada unidade experimental é medida em várias ocasiões ao longo do tempo (ZHAO et al., 2005).

De acordo com Nemeç (1996), os objetivos de uma análise de medidas repetidas são: determinar como as unidades experimentais mudam ao longo do tempo e comparar as mudanças entre os grupos estudados. Três hipóteses são testadas:

- 1- H_{01} : não existe efeito do tempo (perfis coincidentes);
- 2- H_{02} : não existe efeito entre tempo e tratamento (perfis horizontais);
- 3- H_{03} : não existe efeito do tratamento (perfis paralelos).

Em uma análise univariada, as medidas repetidas são consideradas como observações separadas, sendo o tempo incluído como fator no modelo da análise da variância (ANOVA). Já na análise multivariada, MANOVA, as medidas repetidas são tratadas como elementos de uma única observação (VIEIRA et al., 2007).

De acordo com Miliken e Johnson (1992), um delineamento com medidas repetidas no tempo, requer uma determinada condição para a matriz de covariâncias dos erros.

Uma condição suficiente para que o teste F da análise de variância usual, em nível de subparcela, para o fator tempo e interação tempos versus tratamentos, seja válido, é que a matriz de covariâncias tenha uma forma chamada de simetria composta, que ocorre quando a matriz de covariâncias puder ser expressa, por exemplo, como:

$$\Sigma = \begin{vmatrix} (\sigma^2 + \sigma_1^2) & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & (\sigma^2 + \sigma_1^2) & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & (\sigma^2 + \sigma_1^2) & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & (\sigma^2 + \sigma_1^2) \end{vmatrix}$$

Em que:

σ^2 = variância da subparcela (intra-indivíduos);

σ_1^2 = variância da parcela (entre indivíduos).

A condição denominada de Huynh-Feld (H-F) especifica que os elementos da matriz de covariâncias Σ sejam expressos, para um $\lambda > 0$, como:

$$\Sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1^2 & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_3^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_4^2)}{2} - \lambda \\ \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2)}{2} - \lambda & \sigma_2^2 & \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_3^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_4^2)}{2} - \lambda \\ \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_1^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_2^2)}{2} - \lambda & \sigma_3^2 & \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_4^2)}{2} - \lambda \\ \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_1^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_2^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_3^2)}{2} - \lambda & \sigma_4^2 \end{vmatrix}$$

Em que:

λ = média das variâncias – média das covariâncias

Assim, a matriz de covariâncias é dita do tipo (H-F) de simetria composta, se:

$\sigma_{y_j - y_i}^2 = \sigma_j^2 + \sigma_i^2 - 2\sigma_{ji} = a$, em que “a” é constante $\forall j \neq i$

A matriz de covariâncias Σ da simetria composta é um caso especial da condição de H-F.

Huynh e Feldt (1970) indicaram que, em um delineamento de parcelas subdivididas no tempo, o teste F com relação à parcela tem distribuição F exata, mas com relação à subparcela, só terá distribuição F exata se a matriz de covariâncias satisfizer certas pressuposições, além das citadas anteriormente.

2.9.1. Teste de esfericidade de Mauchly

Esse teste proposto por Mauchly (1940) é usado para conferir se a matriz de covariâncias atende à condição HUYNH-FELDT (H-F), que verifica se uma população normal multivariada apresenta variâncias iguais e as correlações nulas. A violação da condição de H-F leva a testes muito liberais para os fatores da subparcela, para tempos e para a interação tempos versus tratamentos (Meredith e Stehman, 1991, citados por XAVIER, 2000).

Uma condição suficiente para que o teste F da análise de variância usual, em nível de subparcela, para o fator tempos e interação tempos versus tratamentos seja válido, é que a matriz de covariâncias tenha uma forma chamada de simetria composta. A condição de simetria composta implica que a variável aleatória seja igualmente correlacionada e tenha variâncias iguais, considerando as diferentes ocasiões.

A condição mais geral da forma de Σ é descrita por Huynh e Feldt (1970) e é necessária e suficiente para que o teste F da análise de variância usual, no esquema de delineamento de parcelas subdivididas para análise de dados com medidas repetidas, seja válido. A condição de H-F é equivalente a especificar que variâncias da diferença entre pares de erros sejam todas iguais.

Se a condição de H-F para a matriz Σ de covariâncias não for satisfeita, uma opção seria a análise multivariada, que adota uma hipótese mais geral sobre a estrutura da matriz de covariâncias, ou utilizar análise univariada para análise de dados de medidas repetidas, realizando o ajuste do número de graus de liberdade do teste F para o fator da subparcela.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental do Araripe, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizado no município de Araripina, na Chapada do Araripe, extremo Oeste de Pernambuco, fazendo fronteiras com os Estados do Ceará e do Piauí (Figura 3). Possui coordenadas geográficas de 07°29' de latitude sul e 40°36' de longitude e altitude de 816m. O clima da região é classificado DdB'4a' semiárido mesotérmico. A precipitação média anual é de aproximadamente 700 mm, concentrando-se entre os meses de dezembro a março, com um pequeno excesso em abril. Deficiências hídricas se acumulam a partir do mês de maio até o mês de janeiro. As temperaturas médias mensais apresentam valores mínimos de junho a agosto e máximos de dezembro a março. O solo é do tipo Latossolo vermelho-amarelo (ENCARNAÇÃO, 1980).

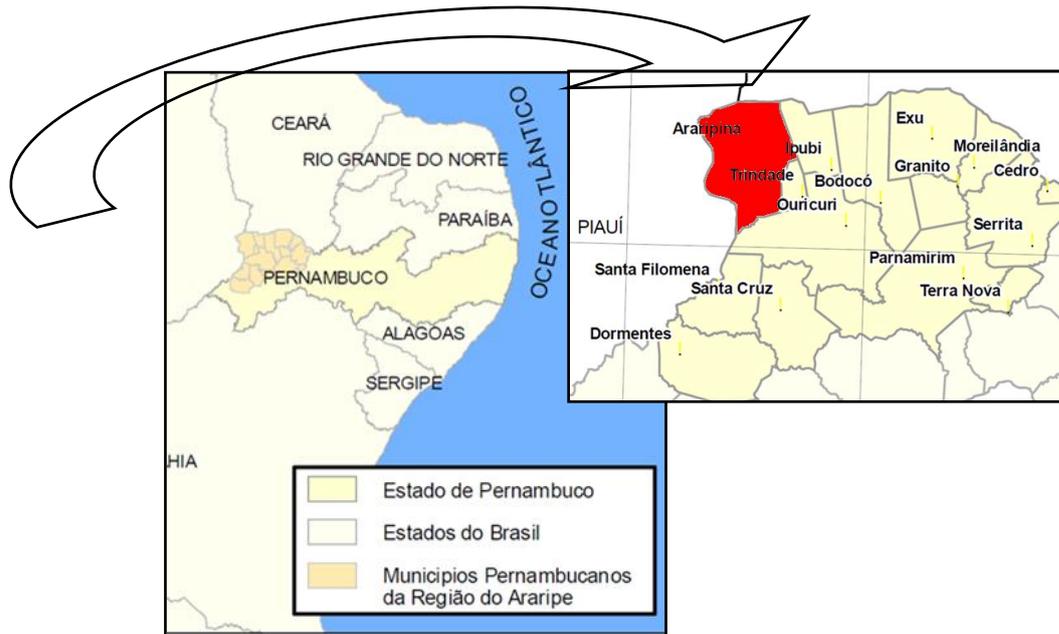


Figura 1. Localização da Região do Araripe com detalhe no município de Araripina, onde foi realizado o experimento.

Na Tabela 2 encontram-se os valores mensais de precipitação entre os anos de 2002 e 2009, correspondentes ao período final do experimento quando foi realizada a cubagem das árvores.

Tabela 2. Precipitação em (mm) da Estação Experimental do IPA entre os meses dos de 2002 a 2009 (Fonte: ITEP 2011).

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2002	213	77	101	37	1	4	9	2	6	0	13	162	624
2003	88	109	108	50	67	0	1	0	0	0	74	5	502
2004	397	244	79	102	107	9	1	0	1	1	37	50	1027
2005	158	45	177	28	18	17	13	3	2	2	80	79	621
2006	2	223	216	111	80	18	17	0	0	13	19	11	710
2007	51	457	97	42	33	4	5	7	4	0	27	20	746
2008	98	55	310	159	6	0	24	0	0	0	0	117	768
2009	78	128	186	335	142	15	8	3	0	26	34	149	1103

O preparo efetivo da área experimental (2,5 ha) teve início no mês de janeiro de 2002, no qual foi feita a dragagem, subsolagem e aplicação de herbicida, sendo o plantio definitivo realizado no início do mês de março de 2002. Após o plantio foi aplicado na área adubo químico e foi realizado o combate às formigas quando necessário. O término do experimento foi em setembro de 2009, quando foi realizada a cubagem rigorosa das árvores, com o experimento aos 7,5 anos de idade.

3.2 DELINEAMENTO MULTIVARIADO DE MEDIDAS REPETIDAS

Na instalação do experimento foram utilizadas covas nas dimensões de 30x20x20 cm com espaçamento de 3x2 m, para 15 clones de *Eucalyptus* spp. com 04 repetições (Quadro 1).

Quadro 1. Lista dos tratamentos utilizados no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

Trat.	Clone	Híbridos
01	C49	<i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
02	C80	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
03	C 315	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
04	C101	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
05	C78	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
06	C156	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
07	C39	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
08	C27	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
09	C51	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
10	C158	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
11	C41	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
15	C11	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)

* As mudas dos clones C 80, C315, C101, C78, C51, C158 foram produzidas com material genético de procedência da região de Laura, Queensland, Austrália.

A forma utilizada de cada parcela foi de 14 x 21 m com área de 294 m² (Figura 2). O total de plantas por parcela foi de 49, sendo a área útil composta por 25 plantas com 150 m². As mudas dos clones de *Eucalyptus* spp. foram provenientes da Comercial Agrícola Paineiras LTDA, localizada em Urbano Santos, Maranhão.

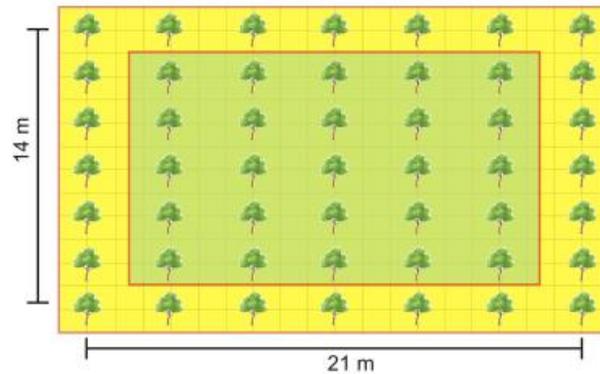


Figura 2. Desenho esquemático da área de cada parcela com detalhe no limite da área útil. Fonte: Barros (2010).

As medições foram feitas a cada seis meses a partir do plantio, tendo ao final do experimento as medidas aos 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90 meses. Em cada medição foram registrados a altura total e o diâmetro a altura do peito (DAP) de todas as plantas úteis de cada parcela. Aos 90 meses as árvores foram cubadas rigorosamente, em que a altura total de cada árvore foi medida com trena e o volume individual foi obtido por meio da somatória de secções, segundo fórmula de Smalian.

$$v_t = \sum_{i=1}^n v_i$$

$$v_i = \frac{l}{2} (g_b + g_u)$$

Em que:

v_i = volume da secção em m³;

v_t = volume total da secção;

l = altura ou comprimento da secção em m;

g_b = área transversal da base da secção em m²;

g_u = área transversal do topo da secção em m².

Os volumes das idades de 12 a 84 meses foram calculados utilizando o fator de forma médio para cada clone em que:

$$f = \text{Vol real/Vol cilindro}$$

Depois de calcular o fator de forma médio para cada clone, o cálculo do volume foi feito multiplicando o fator de forma pelo produto da área transversal (g) e pela altura total da árvore.

3.2.1 Medidas repetidas

O delineamento de medidas repetidas, no qual se tem as respostas coletadas para cada unidade experimental no tempo, caracterizou a análise como multivariada de medidas repetidas, sendo empregado para o experimento o modelo estatístico sugerido por Nemeç (1996).

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \tau_j + (\gamma\tau)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = volume do i-ésimo clone, no j-ésimo tempo e na k-ésima repetição;

μ = média geral;

γ_i = efeito do i-ésimo clone;

τ_j = efeito no j-ésimo tempo;

$(\gamma\tau)_{ij}$ = efeito da interação entre o i-ésimo clone no j-ésimo tempo;

ε_{ijk} = erro aleatório do i-ésimo clone no j-ésimo tempo e na k-ésima repetição.

O teste de Mauchly foi realizado para verificar a condição de esfericidade da matriz de covariâncias, ou seja, se essa era do tipo Huynh-Feldt e satisfazia a condição:

$$C_{(t-1) \times (t)} \sum_{(t \times t)} C'_{(t) \times (t-1)} = \lambda I_{(t-1) \times (t-1)}$$

Em que:

C = matriz de coeficientes dos contrastes ortogonais normalizados que apresenta o total de hipóteses nulas;

Σ = matriz de covariâncias;

$\lambda > 0$; I = matriz identidade.

Satisfeita esta condição a matriz de Σ covariância é dita esférica.

As hipóteses testadas ao nível de 5% de probabilidade foram:

H_{01} = não existem diferenças significativas entre os tratamentos (perfis coincidentes);

H_{02} = existe igualdade do efeito tempo (perfis horizontais); e

H_{03} = não existe interação tempo x tratamentos (perfis paralelos).

Para se testar as hipóteses H_{01} , H_{02} e H_{03} , foram usados os testes Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy, conforme descritos por Khattree e Naik (1999). Essas estatísticas foram dadas por:

1. $\Delta = \prod_{i=1}^s (1 - \theta_i)$: Lambda de Wilks em que $s = \min(t-1, g-1)$, sendo t o número de instantes do tempo e g o número de tratamentos.

2. $P = \sum_{i=1}^s \theta_i$ Traço de Pillai

3. $T = \sum_{i=1}^s \theta_i (1 - \theta_i)^{-1}$: Traço de Lawley-Hotelling

4. $\theta_s = \max(\theta_i)$: Roy

Para a comparação das médias dos tratamentos ao longo do tempo se utilizou o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o comando “REPEATED” constante nos procedimentos da ANOVA e GLM do SAS (Statistical Analysis System) (1999).

3.3 SOBREVIVÊNCIA

A análise da sobrevivência foi realizada com indivíduos da área útil de cada parcela na idade de 90 meses, considerando um experimento inteiramente aleatório (SILVA e SILVA, 1995).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} = sobrevivência do i -ésimo clone, na j -ésima repetição;

μ = média geral;

τ_i = efeito do i -ésimo clone;

ε_{ij} = erro aleatório do i -ésimo clone na j -ésima repetição.

O teste de comparação de médias empregado foi o de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade utilizando o software ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA, 2012).

3.4 MODELOS DE CRESCIMENTO

Antes do ajuste dos modelos foi realizada uma análise da variância (ANOVA) entre os clones com a finalidade de constatar ou não diferenças volumétricas significativas. Para agrupar os clones que apresentam volumes médios semelhantes na idade de 90 meses, foi realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando o software ASSISTAT versão 7.6 beta (2011). Os ajustes dos modelos foram feitos com os valores médios de cada idade para cada clone. Os modelos empregados nas análises de modelagem do crescimento dos 15 clones de *Eucalyptus* spp. estão descritos na Tabela 3. Para todos eles considerou-se o método das diferenças de equações (CLUTTER, 1963).

Tabela 3. Modelos de crescimento ajustado para os clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

AUTOR(ES)	MODELO
Mitscherlich	$V_f = V_i - \beta_0 \cdot [\kappa^{t_f} - \kappa^{t_i}] + \varepsilon_i$
Brody	$V_f = V_i - \beta_0 \cdot (e^{\kappa \cdot t_f} - e^{\kappa \cdot t_i}) + \varepsilon_i$
Bertalanffy	$V_f = V_i \cdot \left(\frac{1 - e^{\kappa \cdot t_f}}{1 - e^{\kappa \cdot t_i}} \right)^3 + \varepsilon_i$
Chapman-Richards	$V_f = V_i \cdot \left(\frac{1 - e^{\kappa \cdot t_f}}{1 - e^{\kappa \cdot t_i}} \right)^{\beta_0} + \varepsilon_i$
Weibull	$V_f = V_i - \beta_0 \cdot [e^{-\kappa \cdot t_f^{\beta_1}} - e^{-\kappa \cdot t_i^{\beta_1}}] + \varepsilon_i$
Clutter e Jones	$V_f = [V_i^{\beta_0} + \beta_1 (t_f^{\beta_0} - t_i^{\beta_0})]^{\frac{1}{\beta_0}} + \varepsilon_i$
Silva-Bailey	$V_f = V_i \cdot e^{\beta_0 \cdot (\kappa^{t_f} - \kappa^{t_i})} + \varepsilon_i$
Brito-Silva	$V_f = V_i \cdot \left[\left(\frac{1 + \beta_0 \cdot e^{-\kappa \cdot t_f}}{1 + \beta_0 \cdot e^{-\kappa \cdot t_i}} \right) \cdot e^{\beta_3 (\beta_2 \cdot t_f - \beta_2 \cdot t_i)} \right]^{\beta_1} + \varepsilon_i$

Em que:

V_f = volume final;

V_i = volume inicial;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \kappa$ = parâmetros do modelo;

t_f = tempo final;

t_i = tempo inicial;

ε_i = erro aleatório.

3.5 SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES

A seleção das melhores equações resultantes dos modelos testados foi feita levando em consideração o Índice de Ajuste ajustado, a distribuição gráfica dos resíduos e o erro padrão da estimativa.

3.5.1 Índice de Ajuste (IA)

Para modelos lineares ou não lineares intrinsecamente lineares, o coeficiente de determinação R^2 é comumente usado para representar a variabilidade dos dados explicada pela equação resultante. Já para os modelos não lineares intrinsecamente não lineares o método dos mínimos quadrados ou da verossimilhança não pode ser aplicado, e procedimentos da análise numérica são utilizados e o Índice de ajuste (I.A) se aplica nessas condições (SCHLAEGEL, 1981).

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

Em que:

IA % = Índice de ajuste em percentual

Y_i = valor observado (real);

\hat{Y}_i = valor estimado pela equação de regressão;

\bar{Y} = média dos valores observados.

3.5.2 Índice de Ajuste ajustado em % (IAaj%)

$$IA_{aj}\% = 1 - (1 - I_A) \left[\frac{(n-1)}{n-p} \right]$$

Em que:

IA_{aj} % = Índice de ajuste ajustado;

IA = índice de ajuste;

n = Tamanho da amostra;

p = número de parâmetros do modelo.

3.5.3 Distribuição gráfica dos resíduos

A análise gráfica dos resíduos, apesar de ser uma representação visual, possibilita a verificação do ajuste do modelo a partir da distribuição dos dados observados e estimados (MENON, 2005).

$$E_i = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \cdot 100$$

Em que:

E_i = resíduo da i -ésima observação;

Y_i = volume real da árvore em m^3 ;

\hat{Y}_i = volume estimado da árvore em m^3 .

3.5.4 Erro padrão da estimativa

O erro-padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$) foi obtido pela expressão conforme descrito por Schneider et al. (2009):

$$s_{yx}(\%) = \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{Y}} \cdot 100$$

3.6 DETERMINAÇÃO DA IDADE DE ROTAÇÃO TÉCNICA

A idade ótima de corte foi definida do ponto de vista volumétrico como a que resultou no maior incremento médio anual, para cada grupo de clones previamente estabelecidos. Essa idade é comumente definida quando há o cruzamento das curvas do Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) (IMANÁ-ENCINAS, 2005).

$$IMA = V/t$$

Em que:

IMA = incremento médio anual;

V = volume produzido em função da idade t = idade da floresta (anos).

Da condição de primeira ordem tem-se que:

$$\frac{dIMA}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{V' t - V}{t^2} = 0 \Rightarrow V' = \frac{V}{t} \Rightarrow ICA = IMA$$

O resultado é a esperada igualdade entre incremento corrente anual (ICA) e IMA, quando IMA é máximo. Alternativamente, é válido dizer que o IMA será máximo quando a taxa relativa de crescimento for igual ao inverso da idade da floresta (IMANÃ-ENCINAS et al., 2011):

3.7 ANÁLISE FINANCEIRA DO EXPERIMENTO

Para a realização da análise financeira do experimento foram levados em consideração os custos do experimento e das receitas geradas pelo volume de madeira do clone de maior produtividade.

A análise financeira foi realizada com a finalidade de verificar se a renda gerada pela venda da lenha de eucalipto colhida remunera ou não o capital investido na implantação do experimento.

O parâmetro utilizado para realizar tal verificação foi o Valor Líquido Presente (VLP) representado por:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

Em que:

R_j = receitas no período j;

C_j = custos no período j;

i = taxa de desconto;

j= período de ocorrência de R_j e C_j;

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

Os custos de implantação e a receita gerada pelo experimento foram processados em planilhas do Microsoft Office Excel 97. Para a realização da análise financeira o custo referente ao preparo do solo incluiu a roçagem, aração e gradagem da área.

Neste estudo foi realizada a análise financeira considerando taxas de juros de 6, 8, 10 e 12%. O valor da madeira de eucalipto por (m³) foi de R\$ 100,00, o mesmo para a lenha de

PMFS, com um custo para a retirada da lenha de R\$ 12,00 por m³. O valor da terra não foi incluído no projeto, pois se considerou que o produtor possuía a terra.

3.8 SIMULAÇÃO COMPARATIVA DO RENDIMENTO ECONÔMICO DO EUCALIPTO VERSUS PLANO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO (PMFS)

Para a realização do comparativo de rendimento econômico de um hectare de eucalipto versus um hectare de PMFS da Caatinga, foram usados dados de custo já calculados para o eucalipto e receitas geradas na realização do Valor Presente Líquido. Para os custos de condução do PMFS foi considerada a taxa de manutenção referente ao pagamento do Engenheiro Florestal, abertura de talhões anualmente e taxas de vistoria do órgão ambiental no valor de R\$ 80,00 por ha/ano. O valor do m³ da lenha foi de R\$ 100,00 e o preço para a retirada de um m³ de madeira foi de R\$ 20,00. O valor da terra não foi incluído no projeto, pois se considerou que o produtor possuía a terra. No cálculo da receita foi considerada a produção de madeira do PMFS com rotação de 14 anos.

3.9 CUSTO DA UTILIZAÇÃO DE FONTES ENERGÉTICAS

Para a realização do custo da utilização de fontes energéticas para o processamento de uma tonelada de gesso, foram feitos os cálculos com base nas informações fornecidas pela Empresa Gesso Aliança, em que as fontes energéticas analisadas foram: óleo BPF, gás GLP, coque, lenha da Caatinga, algaroba e eucalipto. Os custos das fontes energéticas foram realizados para identificar do ponto de vista econômico qual a fonte energética mais viável para ser usada na região.

3.10 OCUPAÇÃO TERRITORIAL DOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp. E PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADOS DA CAATINGA NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE

Considerando dados do SINDUSGESSO (2012), que indicam que a produção de gesso e de outros produtos derivados da gipsita foi superior a 6,5 milhões de toneladas, adotou-se este valor como referência para o ano de 2012 e realizou-se uma inferência sobre a ocupação espacial com plantios de clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para a região e os PMFS da Caatinga, permitindo uma comparação entre ambos.

Para efeito de simulação, considerou-se um crescimento da indústria do gesso para os próximos 14 anos em torno de 10% ao ano, que é inferior às previsões atuais da indústria gesso, que estão em torno de 20%. Vale ressaltar que os consumos de lenha como fonte energética para cocção de alimentos e outras indústrias não estão incluídos nesta simulação.

Também foi considerado que os plantios de clones de *Eucalyptus* spp. seriam feitos anualmente, iniciando em 2012, com rotação de 7 anos, para atender a demanda da indústria do gesso que iniciaria a partir do ano de 2019. Nos próximos anos (2019 a 2025) haveriam novos cortes de áreas de clones de *Eucalyptus* spp. resultantes das áreas de rebrotas dos plantios feitos entre 2012 e 2018. Já para a lenha da Caatinga foi considerado que já existem PMFS iniciados em 2004 (rotação de 14 anos).

Os valores de produção utilizados na simulação foram os valores máximos encontrados na literatura, com IMA da vegetação nativa da região de 5,36 m³/ha, resultando em uma produção de 75,04 m³ aos 14 anos (FUPEF, 2007), E para o eucalipto foi considerado o IMA (27,09 m³/ha) do clone C39, *E. urophylla* (cruzamento natural) que apresentou a maior produtividade, resultando em uma produção de (189,63 m³/ha) aos 7 anos.

O consumo de lenha da Caatinga considerado por tonelada de gesso foi de 0,151 m³, equivalente a 0,5 st (BARROS et al. 2010). Gadelha (2010) testando três clones de *Eucalyptus* spp. encontrou um consumo médio de 0,1 m³/ton de gesso, variando de 0,09 a 0,115 m³/ton de gesso, sendo que para este trabalho está sendo considerado um consumo superior, 0,125 m³/ton de gesso. Foram considerados os fatores de conversão de st para m³ iguais 3,32 e 2,0 respectivamente, para lenha da Caatinga e o clone C39. Embora a unidade de metro st ainda seja utilizada na Região, foi utilizada a conversão para m³, pois de acordo com a portaria nº 130/99 do INMETRO fica proibida a utilização da unidade de medida denominada estéreo para a comercialização de madeira.

A comparação foi feita em termos de ocupação territorial, isto é, qual seria a área plantada com o clone de maior produção com uma rotação de 7 anos e 1 ha de Caatinga com rotação 14 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SOBREVIVÊNCIA

A análise da variância (ANOVA) registrou a existência de diferenças significativas para a sobrevivência aos 90 meses entre os clones de *Eucalyptus* spp. ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 4).

Tabela 4. ANOVA para a sobrevivência entre os 15 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	1,26176	0,09013	2,1194*
Resíduo	45	1,91360	0,04252	
Total	59	3,17536		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

O teste de Scott-Knott para a média de sobrevivência entre os clones mostrou diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. Os clones C80 (Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* de Laura) e C101 (Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* de Laura) obtiveram as maiores médias de sobrevivência (Tabela 6). Os clones C31 (Híbrido de *E. brassiana*) e C11 (Híbrido de *E. brassiana*) ficaram em um grupo a parte dos demais, o que sugere que esses dois clones apresentavam características genotípicas não favoráveis às condições climáticas e edáficas da região, conseqüentemente, menos habilitados para competir por nutrientes e luz com os demais clones.

Por meio da análise da variância (ANOVA) para volumes verificou-se a existência de diferenças significativas entre os clones na idade de 7,5 anos (Tabela 5).

Tabela 5. ANOVA para a variável volume entre os 15 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	13,26817	0,94773	3,5424 **
Resíduo	45	12,03906	0,26753	
Total	59	25,30723		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 6, encontra-se o resultado pela ordem decrescente da média do volume em m³/ha. As menores produções dos clones C31 (Híbrido de *E. brassiana*) e C11 (Híbrido de *E. brassiana*) foram afetadas diretamente pela alta mortalidade ocorrida nesses clones chegando a morrer, respectivamente, 49 e 51% das árvores amostradas nas parcelas de áreas úteis.

O clone C101 (Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* de Laura) apesar de apresentar 99% de sobrevivência não ficou entre aqueles com maiores valores de volume, pois esse clone apresentou árvores com pequenas áreas basimétricas e baixas alturas.

Tabela 6. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume, sobrevivência e IMA dos clones de *Eucalyptus* spp. avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.

Tratamentos	Clones	Volume (m ³ /ha)*	Sobrevivência (%)	IMA (m ³ /ha/ano)
7	C39	222,55 a	89a	29,68
11	C41	171,31 b	72a	22,85
10	C158	152,18 c	91a	20,30
9	C51	147,91 c	95a	19,73
4	C101	147,78 c	99a	19,71
1	C49	141,91 c	85a	18,93
2	C80	133,85 c	98a	17,85
3	C315	132,25 c	85a	17,64
13	C25	131,72 c	79a	17,57
14	C33	129,78 c	86a	17,31
5	C78	120,78 c	72a	16,11
15	C11	117,32 c	51b	15,65
8	C27	114,78 c	86a	15,31
6	C156	112,92 c	82a	15,06
12	C31	74,39 c	49b	9,92

As médias seguidas pela mesma letra diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

* volume real obtido por cubagem das árvores, determinado aos 90 meses de idade após o plantio.

Com base nos dados obtidos a partir do teste de Scott-Knott, houve a formação de três grupos com volume médio semelhante: o grupo A com apenas o clone C39 que para o espaçamento utilizado deve ser o indicado para a região, o grupo B com apenas clone C41 e o grupo C com os demais clones.

De acordo com dados da Tabela 6, dos 15 clones, os que apresentaram maiores volumes foram: C39, C41, C158, C51 e C101, valores bem superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2009b), em plantios em Minas Gerais e na Bahia, variando entre 80,36 a

139,97 m³/ha, e por Oliveira et al. (1998), que encontraram em um estudo realizado no Cerrado uma produção de 123,37 m³/ha.

Os valores registrados dos IMA no Polo Gesseiro do Araripe (Tabela 6), variaram de 29,68 m³/ha/ano para o clone C39 e 9,92 m³/ha/ano para o clone C31, sendo este bastante afetado pela alta taxa de mortalidade. Os valores encontrados encontram-se próximos àqueles registrados por Soares et al., (2009), para a classe baixa de produtividade em plantios híbridos de *Eucalyptus* sp., no Município de Monte Dourado, no Estado do Pará, o que pode ser considerado bastante animador uma vez que na região do Pará a precipitação ultrapassa 2.000 mm ao ano, bastante diferente do cenário que ocorre na área em que foi realizado este estudo. Valores semelhantes também foram encontrados por Carvalho (2010) no Estado de Minas Gerais, para a classe IV de produtividade. Gomide et al., (2005) estudando 10 clones de *Eucalyptus* spp., em empresas brasileiras, registraram IMA que variaram de 33,9 a 52,9 m³/ha. Ainda segundo esses autores, nas últimas décadas, o Brasil apresentou os mais elevados níveis mundiais de IMA. Já Almeida et al. (2004) encontraram em áreas experimentais com plantações de eucaliptos, valores de IMA variando aproximadamente entre 24 e 41 m³ ha/ano em duas regiões no Norte do Espírito Santo.

Sabe-se que pelas próprias características de crescimento rápido e adaptação ao clima local, o estoque em volume dos eucaliptos é bem elevado em relação ao estoque da vegetação da Caatinga. Comparando os dados de estoque de eucaliptos mencionados anteriormente com os estoques de volume na Caatinga, Francelino et al. (2003) estudando distintas formações florestais da Caatinga do Rio Grande do Norte, encontraram volumes que variaram de 52,60 m³/ha para a formação mais aberta e 108,73 m³/ha para a vegetação mais fechada. Mesmo para a vegetação mais densa, esses valores ainda são inferiores aos encontrados neste estudo.

A diferença entre a produtividade dos eucaliptos quando comparados aos valores da Caatinga, confirmam a grande importância da implantação de florestas de eucaliptos com fins energéticos na Região do Araripe, e se essas forem plantadas em larga escala, caso não ocorra nenhuma alteração externa do ambiente, doenças ou pragas, serão responsáveis por grandes rendimentos em volume de madeira para a região, o que ajudaria a minimizar o elevado processo de degradação na vegetação nativa.

4.2 MEDIDAS REPETIDAS

Por meio do teste de esfericidade de Mauchly, para a variável volume observou-se que a condição de esfericidade foi violada com um nível de significância de 0,0001%, ou seja, a

matriz de significância não é do tipo Huynh-Feld, isto é, rejeita-se a hipótese de que a distribuição dos dados seja normal com variáveis independentes não correlacionadas e com variâncias constantes, o que justifica que a análise experimental multivariada de medidas repetida deve ser usada (Tabela 7).

Tabela 7. Teste de esfericidade de Mauchly, para a variável volume.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	χ^2	Pr > χ^2
Variáveis transformadas	90	3,956E-28	2553,8159	<0,0001
Componentes ortogonais	90	5,315E-17	1889,4917	<0,0001

A partir da análise da variância para o efeito dos clones, efeito do tempo e efeito da interação tempo versus clones (Tabelas 8 e 9), encontraram-se resultados significativos tanto para o efeito dos clones, do tempo e da interação tempo versus clones, sendo rejeitadas as hipóteses de nulidades para os perfis coincidentes, horizontais e paralelos.

Tabela 8. Análise da variância para o efeito dos clones avaliados no Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Clones	14	30,6398	2,1886	2,417	0,0131
Erro	45	40,8915	0,9087		

Tabela 9. Análise da variância para os testes das hipóteses entre os efeitos tempo e interação tempo x clones.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F	G-G	H-F
Tempo	13	287,7794	22,1368	831,27	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tempo x Clones	182	15,6520	0,0860	3,23	<0,0001	0,0006	<0,0001
Erro	585	15,5786	0,0266				

Em relação à análise estatística, é rejeitada a hipótese de nulidade para as interações, para o efeito do tempo, por meio dos testes de Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy (Tabela 10), já para a interação do tempo versus clones, (Tabela 11), houve significância para todos os testes, o que indica que a hipótese de nulidade foi rejeitada, isto é existe interação tempo versus clones.

Tabela 10. Teste de hipótese do não efeito do tempo para a variável volume.

Estatísticas	Valor	F	Pr>F
Lambda de Wilks	0,0301	81,76	<0,0001
Traço de Pillai	0,9699	81,76	<0,0001
Traço de Hotelling-Lawley	32,2078	81,76	<0,0001
Maior Raiz de Roy	32,2078	81,76	<0,0001

Tabela 11. Teste de hipótese do não efeito da interação tempo x clones para a variável volume.

Estatísticas	Valor	F	Pr>F
Lambda de Wilks	0,0033	1,53	0,0004
Traço de Pillai	3,8117	1,53	0,0067
Traço de Hotelling-Lawley	10,2131	1,76	0,0001
Maior Raiz de Roy	4,5095	14,49	<0,0001

A ANOVA para os clones ao longo do tempo, com médias separadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidades é apresentada na Tabela 12. Na idade inicial aos 12 meses houve diferenças significativas entre os clones, sendo os clones C51, C41 e C33 aqueles que apresentam as maiores médias do volume. Como nessa fase inicial de crescimento não havia grande competição por recursos ambientais, esses clones se destacaram dos demais pelas próprias características genotípicas.

Nas idades entre 18 meses até 54 meses o comportamento entre o desenvolvimento em volume dos clones foi semelhante. Nessas idades os clones já estão praticamente estabelecidos, e mantiveram o crescimento uniforme entre si até a idade de 54 meses. A partir das idades de 60 a 84 meses houve formação de dois grupos, estando os clones C39 e C41 separados dos demais por apresentarem maiores volumes. Porém na idade de 90 meses, ao final do experimento, os clones apresentaram-se com três grupos, ficando o clone C39 no grupo A, o C41 no grupo B e os demais clones no grupo C.

Observa-se que o clone C39 permaneceu como o mais produtivo, aproximadamente, durante todo o experimento, apenas apresentando crescimento inferior ao clone C51, na fase inicial de plantio, em que a plantação tem disponíveis os fatores ambientais e não foi estabelecida a competição entre as árvores.

A análise de variância para todos os clones em todos os tempos se encontra no apêndice A.

Tabela 12. Resultado do teste de Scott-Knott para as médias dos volumes ao longo do tempo para os clones de *Eucalyptus* spp. no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

Idade em meses														
	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
C49	3,72b	13,32a	26,35a	40,82a	50,82a	58,75a	67,49a	74,72a	82,20b	88,15b	96,32b	106,90b	122,35b	141,96c
C80	4,11b	12,15a	22,49a	32,38a	42,43a	50,02a	56,75a	62,99a	69,40b	74,72b	83,00b	95,42b	110,94b	133,88c
C315	3,61b	10,06a	20,77a	30,04a	46,86a	53,74a	60,41a	67,60a	74,29b	80,48b	88,64b	98,80b	108,70b	132,29c
C101	3,63b	10,27a	21,01a	31,69a	44,73a	53,84a	62,50a	71,12a	79,17b	85,25b	95,68b	107,77b	127,02b	147,79c
C78	3,75b	11,25a	22,25a	34,73a	44,80a	52,40a	59,23a	65,60a	71,68b	76,41b	83,24b	91,84b	105,33b	120,83c
C156	3,03b	10,24a	22,30a	33,36a	40,90a	46,41a	51,75a	56,93a	63,12b	67,89b	73,98b	82,97b	97,74b	112,93c
C39	4,07b	14,60a	27,56a	42,85a	56,39a	72,03a	84,94a	98,91a	110,96a	120,93a	136,93a	158,44a	189,68a	222,55a
C27	2,14b	9,01a	19,02a	30,08a	39,90a	45,77a	52,92a	59,39a	67,02b	71,74b	79,31b	87,93b	100,85b	114,80c
C51	5,44a	15,17a	28,23a	38,64a	52,94a	62,59a	70,52a	78,28a	85,43b	91,27b	99,93b	110,77b	129,02b	147,96c
C158	4,40b	10,85a	23,54a	36,78a	47,60a	55,98a	66,00a	76,00a	83,36b	89,53b	100,60b	111,88b	130,96b	152,21c
C41	6,12a	17,18a	31,81a	44,39a	57,48a	68,37a	78,81a	87,35a	96,74a	104,25a	114,54a	127,04a	148,42a	171,32b
C31	2,09b	8,36a	16,30a	23,63a	28,20a	32,12a	36,17a	39,65b	43,44b	46,95b	51,75b	56,19b	65,72b	74,40c
C25	3,00b	11,49a	22,18a	32,68a	40,87a	49,54a	57,67a	63,92a	71,01b	75,93b	85,54b	96,02b	113,26b	131,78c
C33	7,10a	16,98a	31,04a	45,10a	53,23a	60,42a	65,72a	71,20a	76,68b	82,35b	89,93b	97,94b	113,49b	129,80c
C11	1,75b	8,60a	18,52a	30,33a	38,03a	44,28a	51,47a	57,79a	65,07b	69,07b	78,56b	90,64b	103,78b	117,33c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, no tempo não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

4.3 MODELOS DE CRESCIMENTO

4.3.1 Estimativas dos parâmetros e IA_{aj} das equações não lineares para o grupo A Clone C39

Na Tabela 13, encontram-se os valores das estimativas dos parâmetros dos modelos testados, e os índices de ajustes e os erros padrões das estimativas, obtidos a partir da modelagem do crescimento em volume do clone C39 do grupo A.

Tabela 13. Estimativa dos parâmetros, IA_{aj} e S_{yx} dos modelos testados para o grupo A do clone C39 no Polo Gesseiro do Araripe.

Grupo A							
Equações	k	b_0	b_1	b_2	b_3	$IA_{aj}\%$	$S_{yx}\%$
Mitscherlich	0,999	0,107				98,5	7,48
Brody	-3E-07	1674924,000				98,5	7,39
Bertalanffy	0,916					98,9	6,15
Chapman-Richards	0,212	1,020				99,1	5,80
Weibull	0,110	0,118	1,3E-07			94,1	14,71
Clutter e Jones	3,265	0,015	1,989			99,0	5,58
Silva-Bailey	6,727	0,933				98,7	6,64
Brito e Silva	0,001	743,427	0,017	0,230	-553,056	99,6	4,10

No geral os modelos testados apresentaram bons ajustes, porém a equação resultante do modelo de Weibull apresentou o menor IA_{aj} com 94,1% e maior erro padrão da estimativa. Este resultado difere daquele obtido por Sanquetta et al. (2010), ajustando o crescimento em diâmetro de *Nectandra grandiflora* em que o modelo de Weibull apresentou o melhor ajuste aos dados. Já o modelo Brito-Silva apresentou o melhor IA_{aj} (99,7%) e menor erro padrão da estimativa (4,10%), o que é devido ao maior número de parâmetros em comparação aos outros modelos, dando mais flexibilidade no ajuste dos dados. Na equação diferencial geradora do modelo, todos os parâmetros têm explicações biológicas, mas durante a dedução do modelo, artifícios matemáticos transformaram esses parâmetros e como consequência o coeficiente b_3 foi igual a -553,056, sem sentido biológico. As equações resultantes dos modelos de Chapman-Richards e Clutter e Jones obtiveram os segundo e terceiro melhores ajustes com 99,1 e 99%, valores semelhantes tanto para o IA_{aj} como para o erro padrão da estimativa com 5,80 e 5,58% respectivamente. No trabalho realizado por Ferreira e Trevisan (2001) os melhores resultados, expressos pelos menores erros da projeção

volumétrica, foram obtidos com o modelo de Chapman-Richards. Segundo esses autores, o modelo de Chapman-Richards tem aplicações nas mais variadas áreas da ciência florestal, onde processos de crescimento sigmoidais são representados. A equação resultante do modelo de Bertalanffy apresentou IA_{aj} de 98,9%. Esse modelo é amplamente usado na ciência florestal (SANQUETTA, et al. 2010; COLBERT et al., 2004) e, segundo LEI e ZHANG (2004) foi aplicado em cerca de 90% das literaturas referentes à modelagem de crescimento e incremento de florestas.

4.3.2 Análise das curvas de crescimento e da distribuição gráfica do resíduo para o grupo A Clone C39

Nas Figuras 3, 4 e 5 podem ser observados os gráficos das curvas de crescimento entre os valores estimados e os valores reais e a distribuição dos resíduos, para os três melhores modelos ajustados, destacando o modelo de Brito-Silva em que a curva do crescimento em volume real e estimada ficou muito bem ajustada, bem como o gráfico as melhores distribuições dos resíduos. Apesar de apresentar bom ajuste o modelo de Chapman-Richards subestimou os dados nas idades iniciais (Figura 4). Os gráficos para os demais modelos da curva de crescimento e distribuição gráfica do resíduo encontram-se no apêndice B.

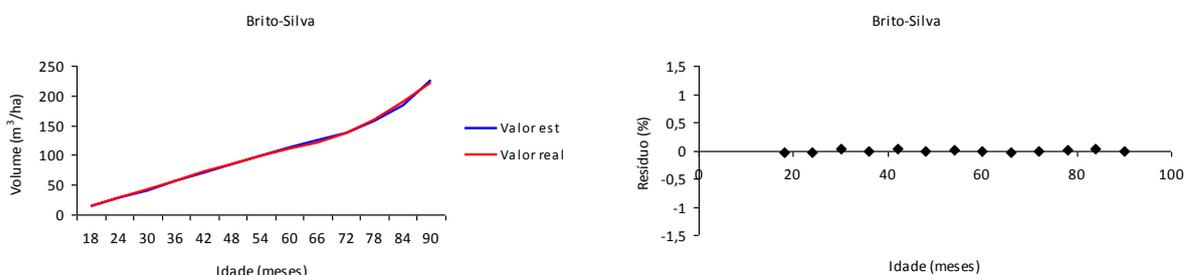


Figura 3. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica do resíduo da equação de Brito-Silva para o grupo A, clone C39 no Polo Gesseiro do Araripe.

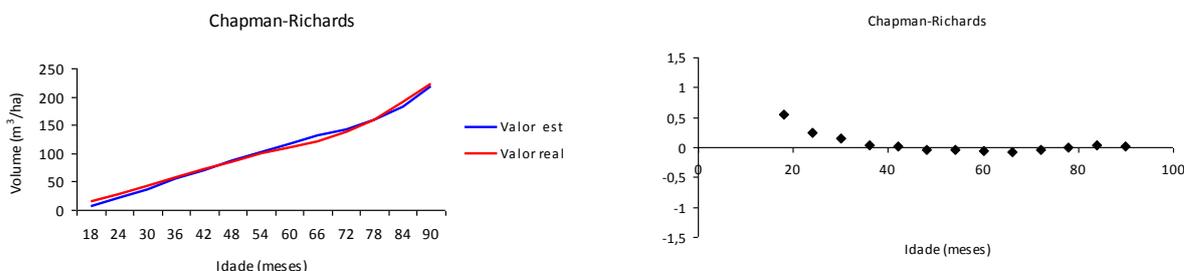


Figura 4. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica do resíduo da equação de Chapman-Richards para o grupo A, clone C39 no Polo Gesseiro do Araripe.

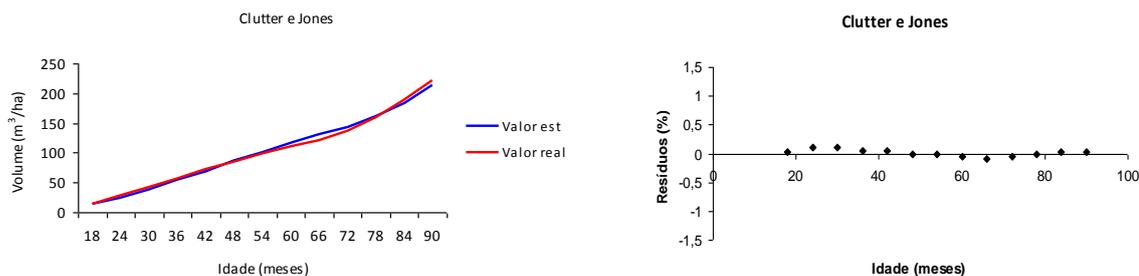


Figura 5. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica do resíduo da equação de Clutter e Jones para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.

4.3.3 Estimativas dos parâmetros e IA_{aj} das equações não lineares para o grupo B Clone C41

Na Tabela 14, encontram-se os valores dos parâmetros estimados, os índices de ajustes e os erros padrões das estimativas obtidos a partir da modelagem do crescimento em volume do grupo B, clone C41.

Tabela 14. Estimativa dos parâmetros, IA_{aj} e S_{yx} dos modelos testados para o grupo B, clone C41 no Polo Gesseiro do Araripe.

Grupo B							
Equações	k	b_0	b_1	b_2	b_3	$IA_{aj}\%$	$S_{yx}\%$
Mitscherlich	0,999	120824,000				98,8	5,44
Brody	-3,28E-07	11632,400				98,8	5,34
Bertalanffy	0,759					98,3	6,75
Chapman-Richards	0,089	1,116				98,6	6,75
Weibull	9,818	33,927	-1,41E-07			95,4	10,68
Clutter e Jones	2,978	0,021	2,299			97,8	5,34
Silva-Bailey	4,134	0,875				98,0	6,75
Brito e Silva	1,534	0,825	6,050	0,996	11,294	99,4	4,06

As equações também apresentaram bons $IA_{aj}\%$ para o grupo B, sendo o de Brito-Silva que apresentou valor mais alto para o $IA_{aj}\%$, seguido de Brody e Mitscherlich com os mesmos índices de 98,8% e Chapman-Richards com valores próximos de 98,6%. A equação de Weibull apresentou o menor $IA_{aj}\%$. Como já era de se esperar, o erro padrão da estimativa foi menor, nas equações de melhor ajuste, confirmando assim a precisão da estimativa dessas equações.

4.3.4 Análise das curvas de crescimento e da distribuição gráfica do resíduo para o grupo B Clone C41

Nas figuras 6, 7 e 8 estão as curvas de crescimento e as distribuições gráficas dos resíduos para os três melhores modelos ajustados para os dados do grupo B, os demais gráficos das curvas de crescimento e distribuição gráfica dos resíduos encontram-se no apêndice C.

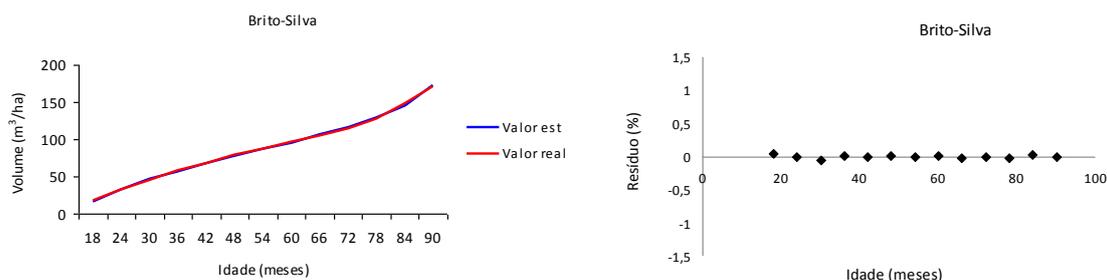


Figura 6. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brito-Silva para o grupo B, clone C41 no Polo Gesseiro do Araripe.

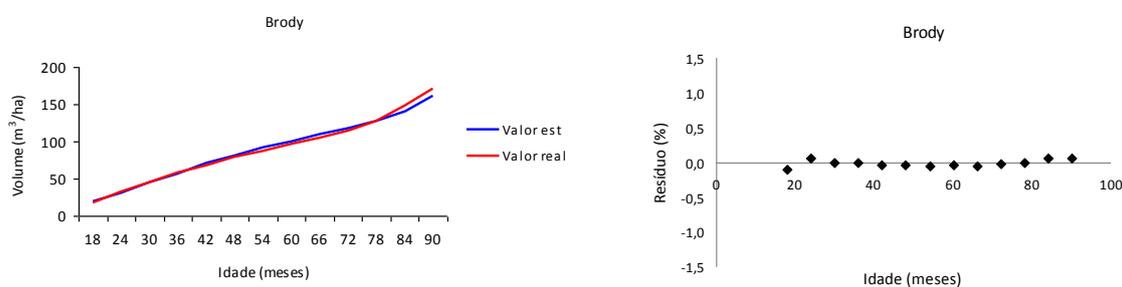


Figura 7. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brody para o grupo B, clone C41 no do Polo Gesseiro do Araripe.

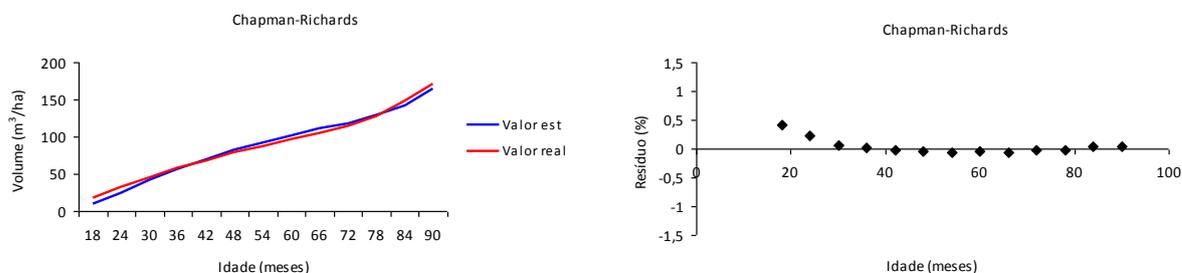


Figura 8. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos da equação de Chapman-Richards para o grupo B, clone C41 no Polo Gesseiro do Araripe.

4.3.5 Estimativas dos parâmetros e IA_{aj} das equações não lineares para o grupo C

A estimativa dos parâmetros, o índice de ajuste e o erro padrão da estimativa dos modelos para os clones do grupo C podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15. Estimativa dos parâmetros IA_{aj} e S_{yx} dos modelos testados para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

Grupo C							
Equações	k	b_0	b_1	b_2	b_3	$IA_{aj}\%$	$S_{yx}\%$
Mitscherlich	1	902217,000				98,3	6,74
Brody	-3,53E-07	800685,000				98,3	6,74
Bertalanffy	0,758					97,9	7,96
Chapman-Richards	0,202	0,853				98,2	7,27
Weibull	114,287	3,745	-1,59E-07			95,7	10,78
Clutter e Jones	1,244	0,160	0,978			98,4	6,50
Silva Bailey	4,667	0,908				97,8	7,76
Brito e Silva 1	0,0002	462,597	0,003	0,352	-1,052	98,5	6,50

Assim como para os grupos anteriores, as equações também proporcionaram bons $IA_{aj}\%$ sendo o modelo de Brito-Silva o de melhor ajuste, seguido de Clutter e Jones com 98,4% e Brody e Mitscherlich com 98,3% ambos, os valores para o IA_{aj} e o erro padrão da estimativa ficaram muito próximos entre os melhores modelos.

4.3.6 Análise das curvas de crescimento e da distribuição gráfica do resíduo para o grupo C

O gráfico da curva de crescimento real e estimada dos três melhores modelos ajustados para o volume dos eucaliptos do grupo C, bem com a distribuição gráfica dos resíduos encontram-se nas Figuras 8 a 15. Por ser o grupo C ser representado por 13 clones, os gráficos dos modelos para as curvas de crescimento serão apresentados por clone para facilitar a visualização. Os gráficos da curva de crescimento e a distribuição gráfica dos resíduos para os demais modelos se encontram nos apêndice D.

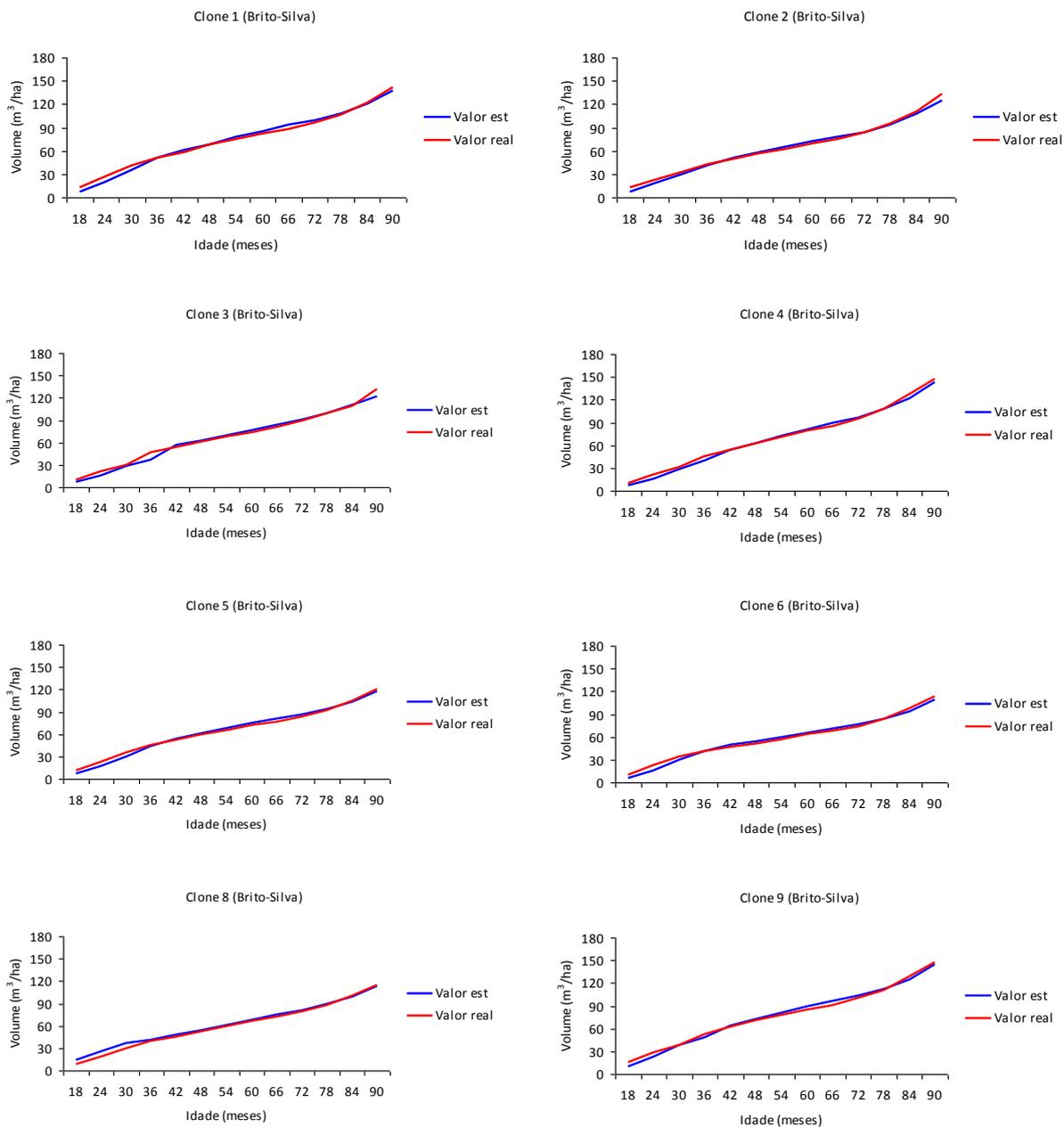


Figura 9. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Brito-Silva para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

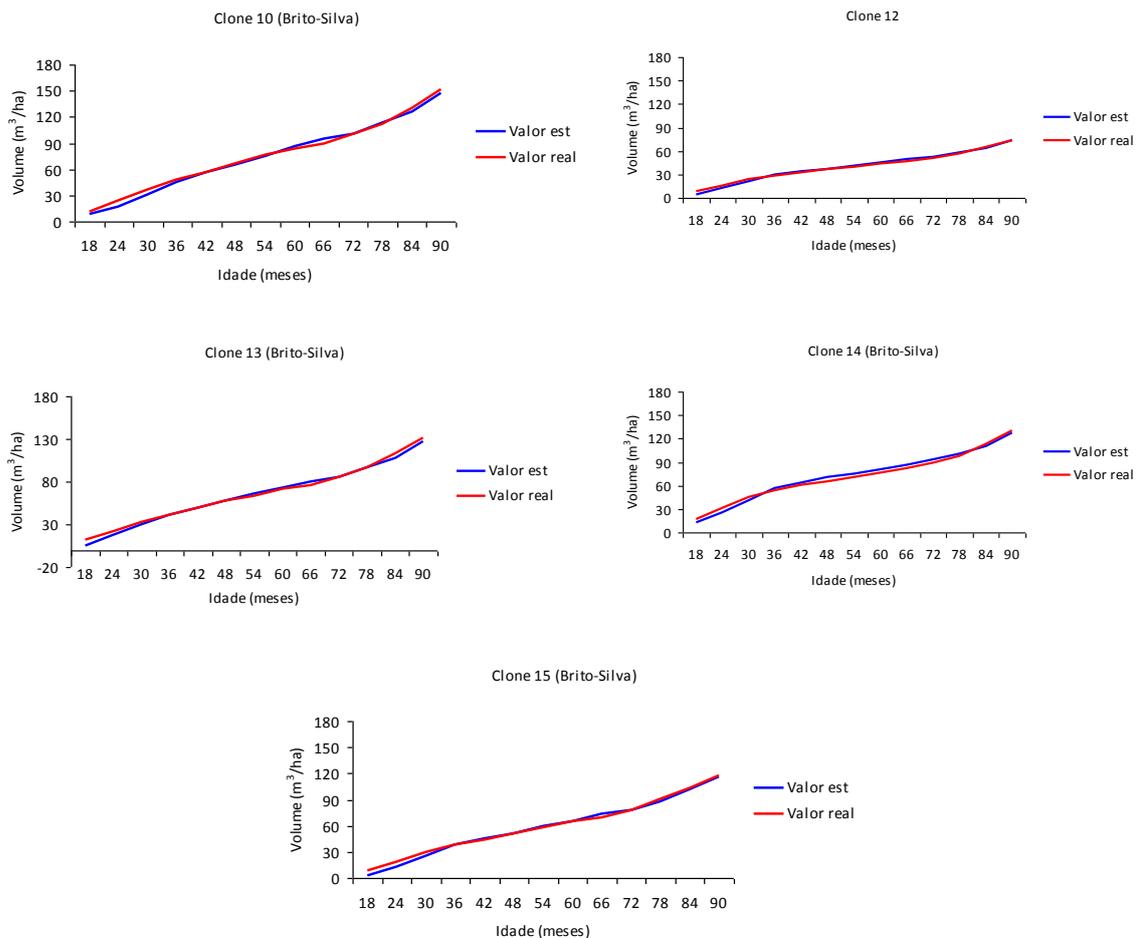


Figura 10. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Brito-Silva para os clones 10, 12, 13, 14 e 15 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

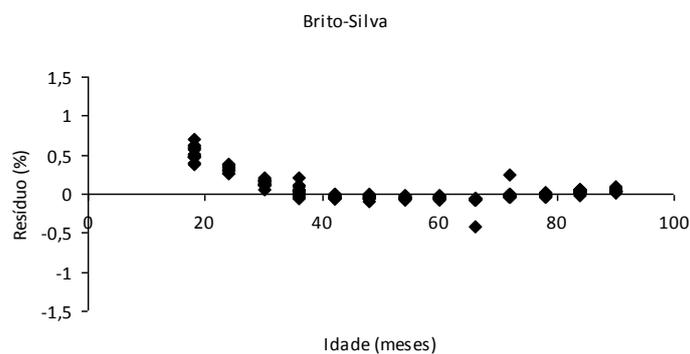


Figura 11. Distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brito-Silva para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

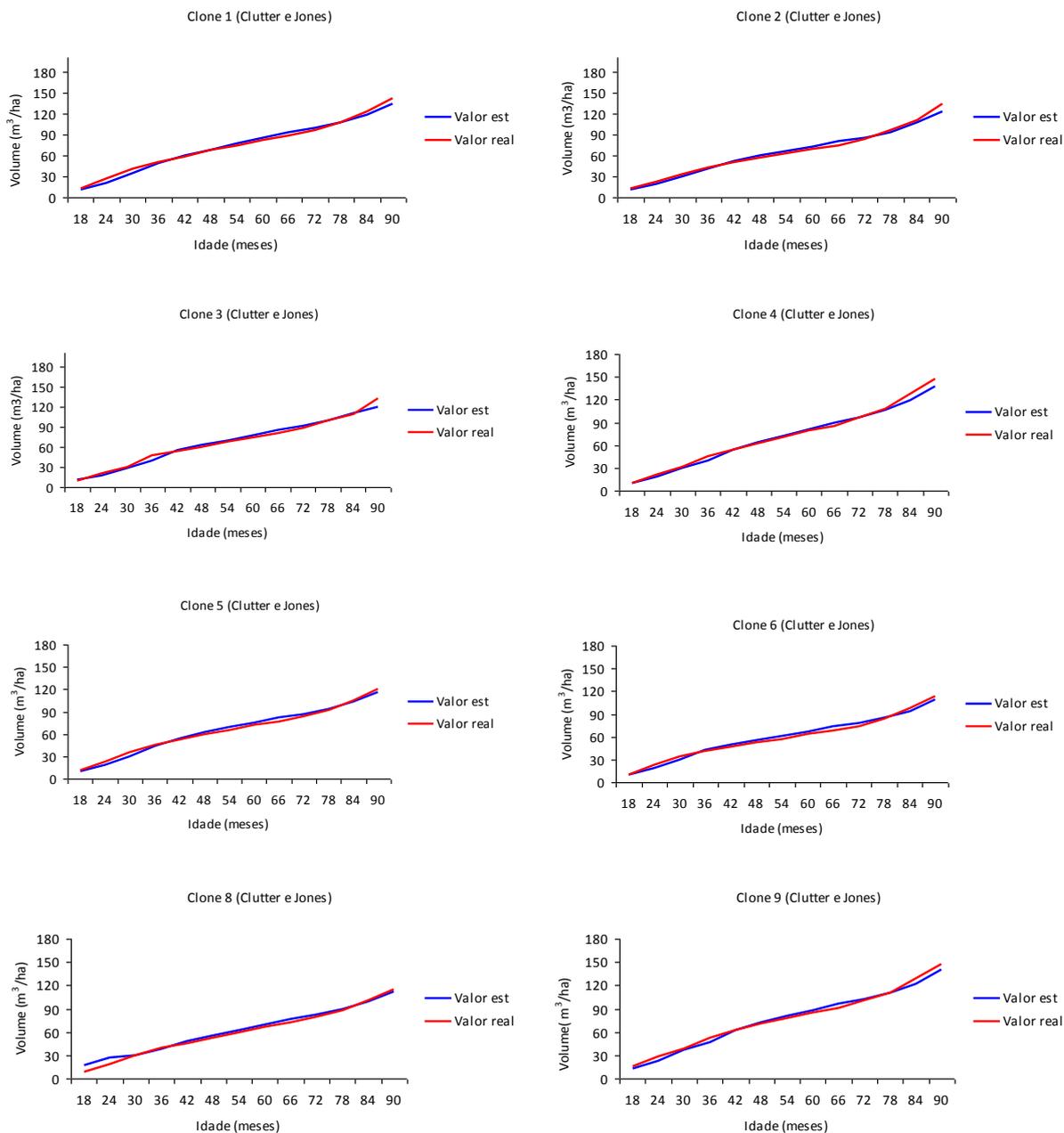


Figura 12. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Clutter e Jones para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

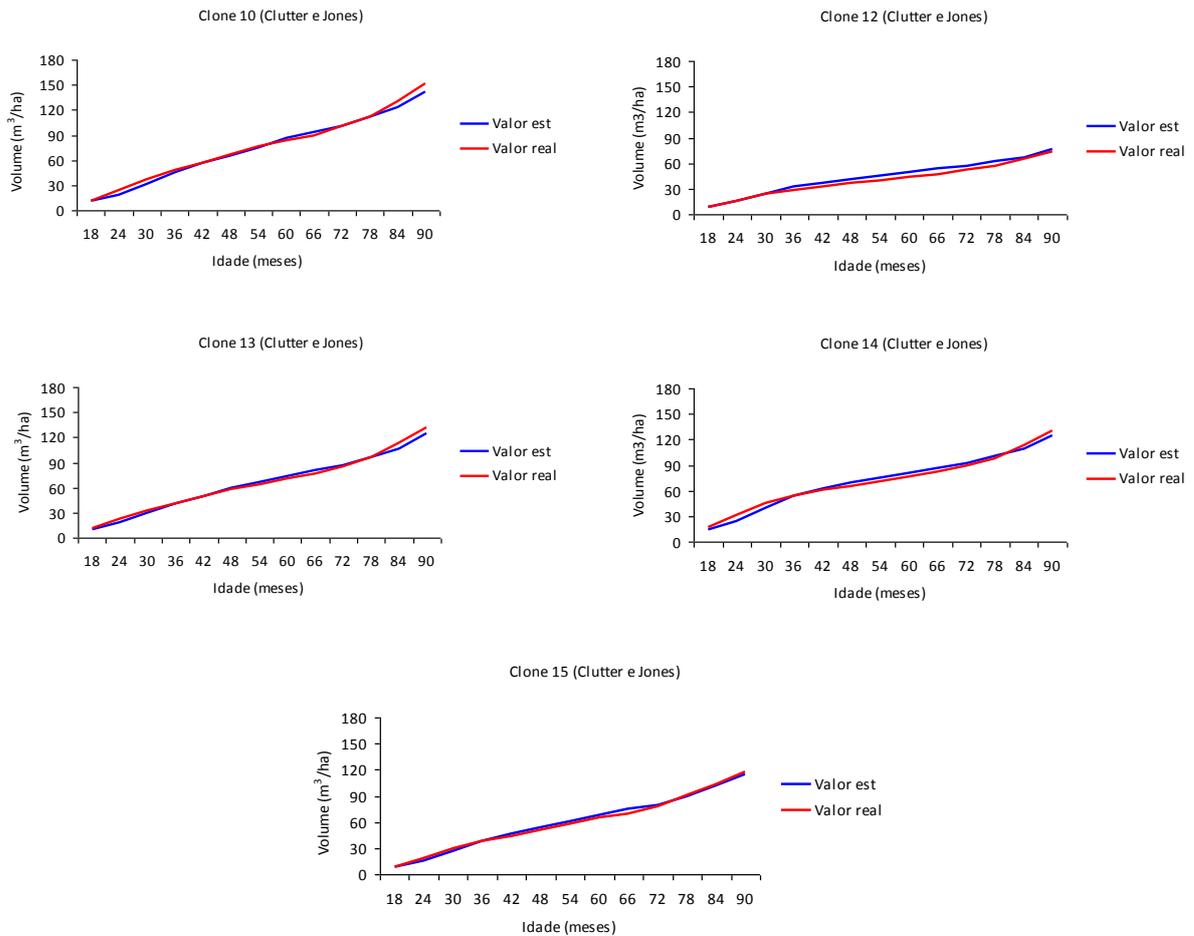


Figura 13. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Clutter e Jones para os clones 10, 12, 13, 14 e 15 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.



Figura 14. Distribuição gráfica dos resíduos da equação de Clutter e Jones para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

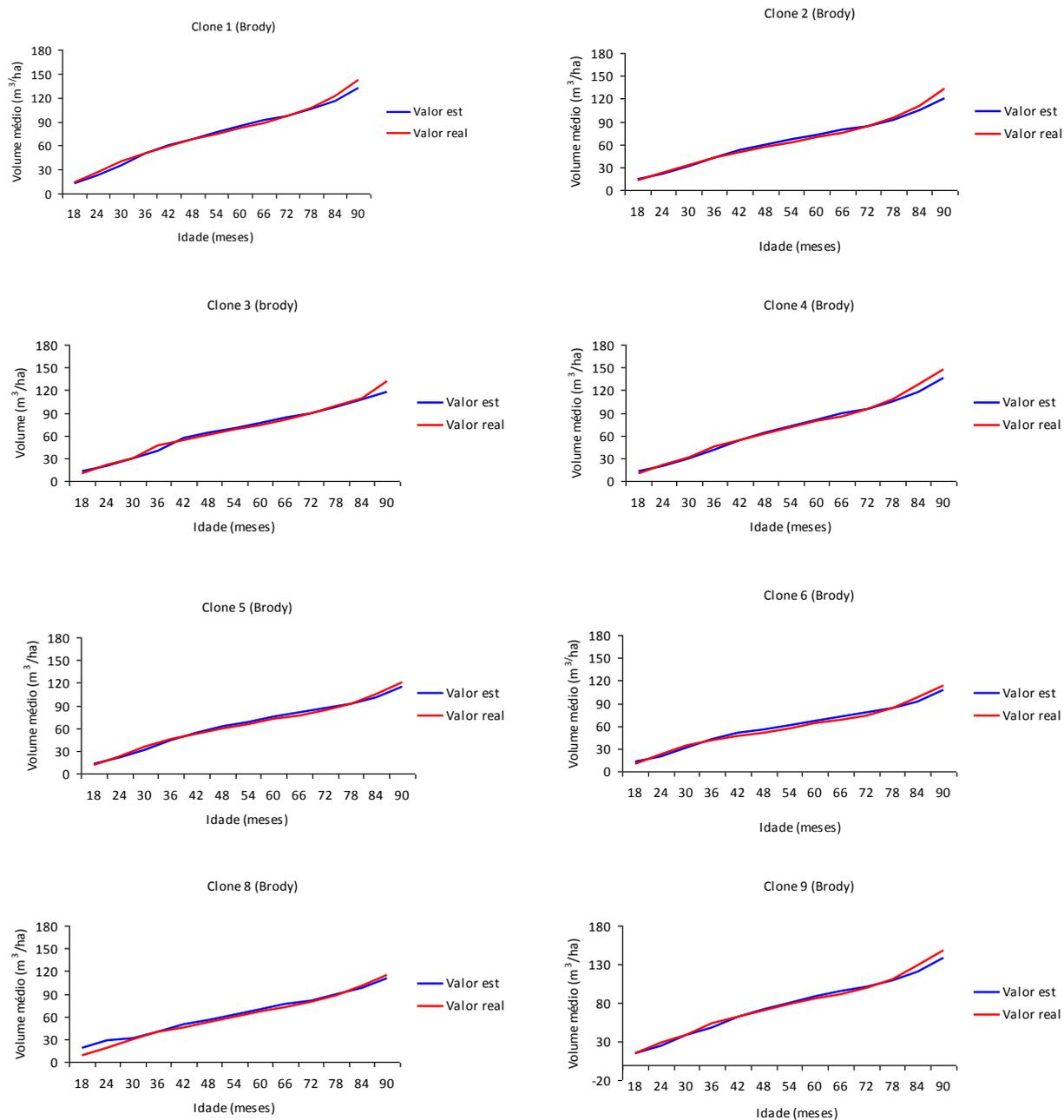


Figura 15. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Brody para os clones 1, 2, 3, 4, 5 e 6, 8, 9 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

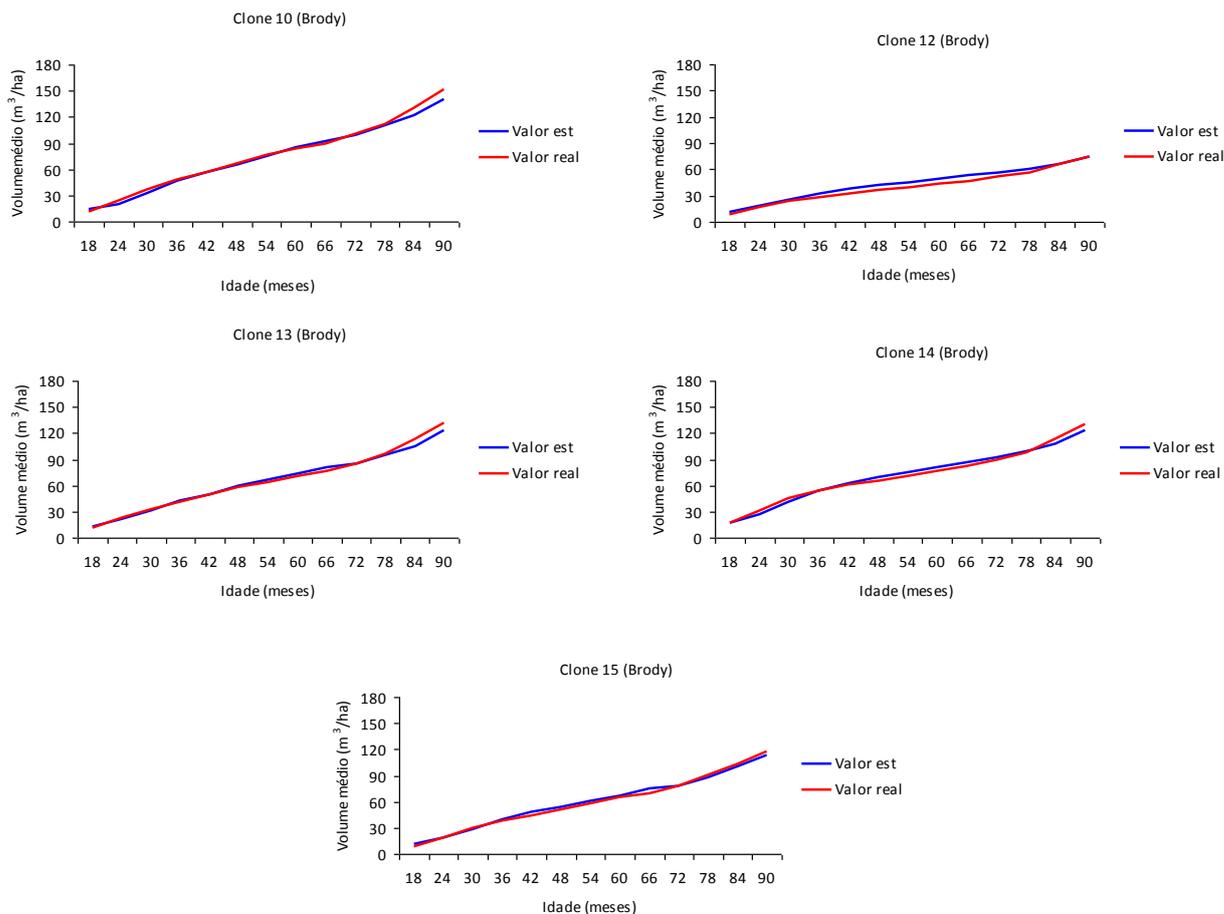


Figura 16. Curva de crescimento real e estimada pela equação de Brody para os clones 10, 12, 13, 14 e 15 do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

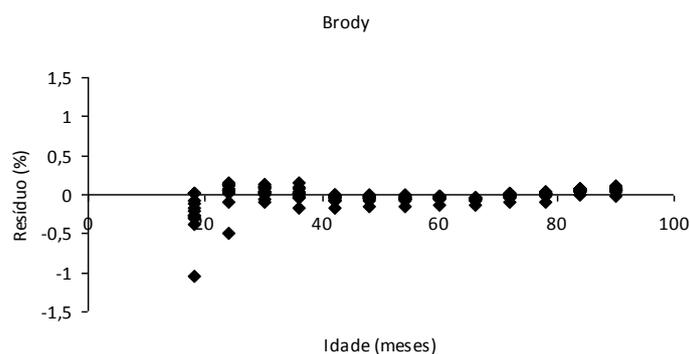


Figura 17. Distribuição gráfica dos resíduos da equação de Brody para o grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

Os modelos testados apresentaram curvas de crescimento seguindo o mesmo padrão, em que nas idades finais o crescimento em volume se eleva bruscamente. Porém essa elevação da produção coincidiu com um inverno atípico, bastante rigoroso

que ocorreu na região, chegando a chover o equivalente a 70% do ano entre os meses de fevereiro a junho, quando o experimento se encontrava aos sete anos de idade (Figura 18).

Acredita-se que essa elevação no volume nas idades finais tenha sido devido a esse elevado aporte de hídrico na área. Corroborando com isto, Stape et al. (2010) avaliando o potencial de crescimento de oito plantações de eucaliptos no Brasil, sujeitos a diferentes fornecimento de nutrientes e água, observaram que em sítios com maiores disponibilidade de água, ocorreram incrementos de 30% no crescimento da plantação.

Sabe-se que a região da Caatinga onde está implantado o experimento é afetada diretamente pela sazonalidade climática, sendo a mesma considerada por Araújo et al. (2007) como um fator de stress que funciona como força seletiva modeladora da dinâmica da vegetação. Essa sazonalidade da região reflete diretamente no desenvolvimento dos eucaliptos, que em períodos de estiagem o crescimento ficaria mais brando e em situações de elevado aporte hídrico as árvores apresentariam crescimentos acima do normal.

Mantovani et al. (2005), consideram a sazonalidade climática um fator abiótico de influência na sobrevivência, ritmo fenológico, produtividade e capacidade de rebrota das plantas de diferentes formações vegetacionais.

No ano de 2009, ocorreu um excesso pluviométrico no Polo Gesseiro do Araripe (Figura 18) o que proporcionou uma retomada de crescimento dos clones, resultando nos maiores incrementos do período de rotação.

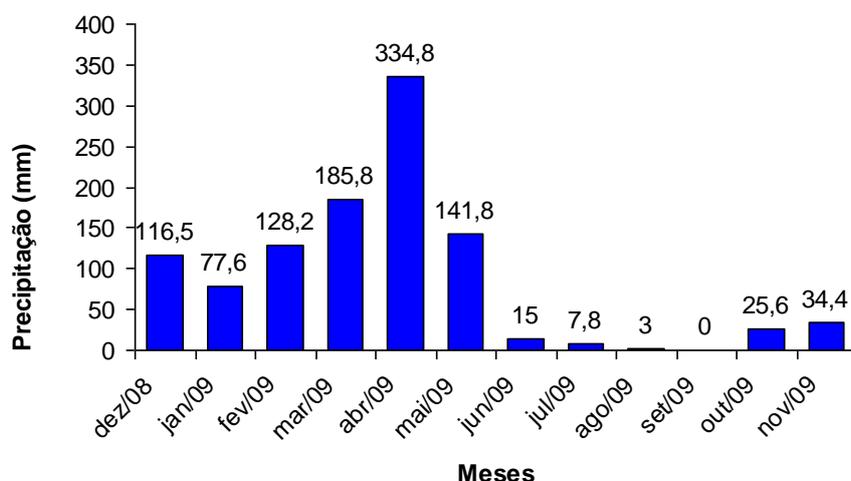


Figura 18. Precipitação mensal do ano de 2009, no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

4.4 IDADE DE ROTAÇÃO TÉCNICA (IRT)

As definições das idades de rotação técnica com base nos dados dos incrementos correntes anuais (ICA) e incrementos médios anuais (IMA) podem ser analisadas nas Figuras 19, 20 e 21. Na maioria dos casos as IRT ocorreram entre 6,5 e 7 anos de idade.

Na realidade a idade de 6,5 anos para rotação, mesmo sendo selecionada como a IRT, apresenta um problema de ordem ambiental. Como os plantios são realizados na estação chuvosa, entre fevereiro e abril, uma rotação de 6,5 anos implicaria em cortes nos meses mais secos, o que, certamente, iria prejudicar sensivelmente a rebrota, podendo chegar a inviabilizá-la, uma vez que o aporte hídrico é fundamental na fase inicial do plantio. Por esta razão, a IRT foi considerada neste trabalho como sendo aos sete anos, que coincide com a estação das águas na região.

Observa-se que para os três grupos estudados o ICA se eleva nas idades finais, sendo que seria comum de acontecer o contrário, porém como já mencionado anteriormente, essa curvatura atípica da curva de ICA no final do experimento, provavelmente está intimamente ligada a elevada precipitação na área, seis meses antes do corte do experimento.

Imaña-Encinas et al. (2011) estudando a produção volumétrica e econômica de *Eucalyptus urophylla* em Goiás, registraram a rotação ótima volumétrica de 5 e 6 anos e a econômica de cerca de 3 anos, e recomendaram com base nas duas análises um ciclo de corte de 4 anos de idade.

Segundo Leite et al. (2001) a IRT tem uma tendência de ser atingida mais cedo em locais de maior capacidade produtiva, por que nesses locais as árvores atingem a estagnação do crescimento mais precocemente.

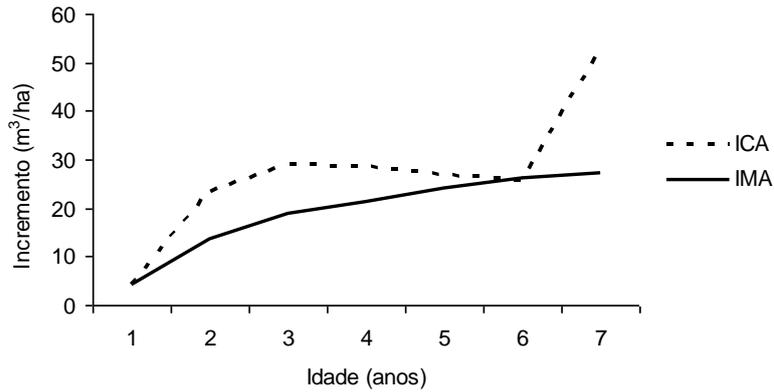


Figura 19. Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) do grupo A, clone C39 no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

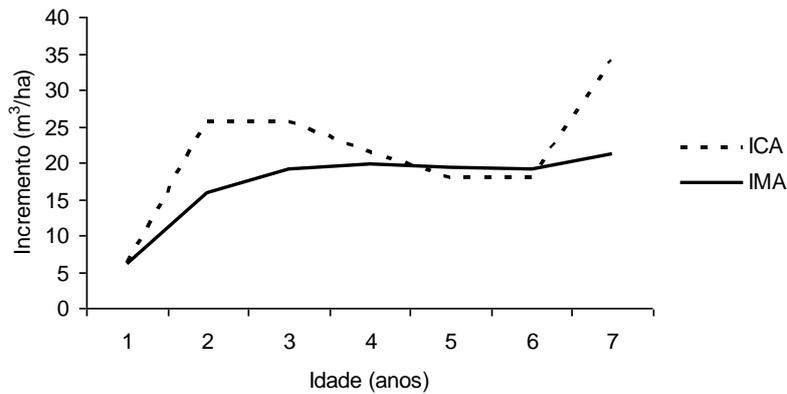


Figura 20. Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) do grupo B, clone C49, no Polo Gesseiro do Araripe.

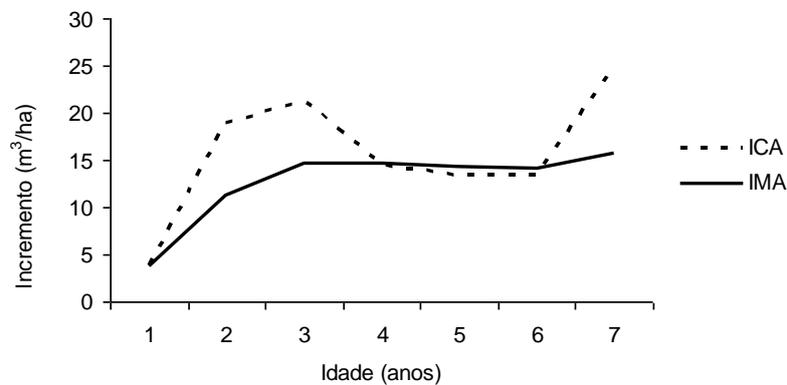


Figura 21. Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) dos clones do grupo C no Polo Gesseiro do Araripe.

4.5 CUSTOS DAS FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADOS NA REGIÃO DO ARARIPE

Na tabela 16, encontram-se os valores em reais para o consumo de uma tonelada de gesso, das principais fontes energéticas mais usadas na região do Araripe.

Tabela 16. Valores em real para produção de uma tonelada de gesso das principais fontes energéticas utilizadas no Polo Gesseiro do Araripe.

Fonte Energética	Preço (R\$)	Consumo (ton)	Preço (R\$) da ton/gesso
Óleo BPF	1,98 (Kg)	33 (Kg)	65,34
Gás GLP	1,72 (Kg)	16 (Kg)	27,52
Coque	0,473 (Kg)	36 (Kg)	16,92
Lenha da Caatinga	100,0 m ³	0,151 m ³	15,10
Algaroba	99,6 m ³	0,151 m ³	15,04
Eucalipto	100,0 m ³	0,125 m ³	12,50

Fonte: (Gesso Aliança, 2012)

De acordo com os dados da tabela 16, o eucalipto é a fonte energética que possui o menor custo associado para o processamento de uma tonelada de gesso, seguido da algaroba, da lenha da Caatinga e do coque. Porém, o coque é proibido de ser utilizado em diversos Estados do Brasil por ser um material oriundo de resíduo do petróleo, provocando maiores danos ao meio ambiente. O coque utilizado no Polo Gesseiro do Araripe (duas indústrias) entra pelo porto de Cabedelo na Paraíba, onde ainda não existe tal proibição.

Méndez (2005) cita que o coque de petróleo é um resíduo com alto teor de carbono, baixo teor de cinzas e um material de pouco valor comercial considerado problemático, tanto em termos comerciais quanto ambientais. O eucalipto apresenta o menor preço para sua utilização, além de não ser tão poluente quanto o coque, sendo portanto considerado a melhor opção de fonte energética na região do Araripe. Isto corrobora as afirmativas de Tolmasquim et al. (2007) que acreditam que as melhores matrizes energéticas são as que possuem baixo custo associados, baixo impacto ambiental e vantagens em termos econômicos. Segundo Genovese et al. (2006) a biomassa vegetal como fonte de energia no Brasil possui vantagens significativas, pois diversifica a matriz energética brasileira diante à dependência de exportar em relação aos combustíveis fósseis.

4.6 ANÁLISE FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Na tabela 17, encontram-se os custos de implantação de um experimento de eucalipto e a receita gerada, considerando uma rotação de sete anos.

Tabela 17. Custos e receitas de implantação do experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

Descrição	Ano	Unid.	Quant.	Valor unit. (R\$)	Custo (R\$)	Produção C39	Receita (R\$)
Preparo do solo	1	h/m	4	80,00	320,00		
Sub-solagem	1	h/m	1	60,00	60,00		
Gesso agrícola	1	kg	500	0,04	20,00		
Adubo químico	1	Kg	250	1,00	250,00		
Aplicação de adubo	1	h/d	5	30,00	150,00		
Mudas	1	R\$	1667	0,40	666,80		
Frete das mudas	1	1	1667	0,25	416,75		
Plantio	1	h/d	6,5	30,00	195,00		
Controle de formiga	1	h/d	6	30,00	180,00		
Controle de formiga	2	h/d	6	30,00	180,00		
Capina manual	2	h/d	5	30,00	150,00		
Capina manual	3	h/d	5	30,00	150,00		
Adm./manutenção	1...7		7	11,00	77,00		
Produção (ha)	7	IMA (m ³)	27,1			189,68	
Corte da lenha	7	h/m ³	189,68	12,00	2.276,16		
Valor da lenha (m ³)							100,00
Total (R\$)					5.091,71		18.968,00
Receita líquida (R\$)							13.876,29

Em que: h/m = hora máquina e h/d = homem hora

O custo da produção por hectare foi de R\$ 5.091,71 e a receita líquida gerada foi de R\$ 13.876,29. No cálculo do VPL em que há o desconto das taxas de juros tanto para as receitas quanto para os custos, os valores resultados do Valor Presente Líquido se encontram na Tabela 18.

Tabela 18. Valor presente líquido para o clone C39 e considerando 6, 8, 10 e 12% de taxa de juros.

Taxas de juros				
VPL	6%	8%	10%	12%
(R\$)	8.371,8	7.031,9	5.878,0	4.881,8

Com base nos dados da Tabela 18, pode-se observar que o VPL foi economicamente viável para todas as taxas de juros em que, percebe-se que o setor florestal do eucalipto constitui um bom negócio. Estes valores são correspondentes a um hectare, porém se fosse realizado em escala comercial os lucros seriam ainda maiores, pois com o aumento da área plantada, os custos de implantação diminuem por unidade de área.

Baena (2005) considerando uma taxa de 14% para plantações de eucalipto em São Paulo, registrou um VPL de 1.085,24.

No trabalho de Rezende et al. (2006), realizando a análise econômica do eucalipto em Minas Gerais, considerando uma taxa de 8,75% e madeira de pé, encontraram um VPL de 2.016,15 (R\$/ha).

Soares et al. (2003) analisando um experimento na Bahia avaliando sem desbaste e com três intensidades de desbastes e em diferentes classes de produtividade, encontraram o VPL 203,125 (R\$/ha) para 0% de remoção em área basal, ou seja, sem desbaste.

Para os custos e receitas geradas pela condução de um hectare de (PMFS), os valores podem ser observados na Tabela 19.

Tabela 19. Custos e receita gerada para a condução de um hectare de PMFS na Região do Polo Gesseiro do Araripe.

Descrição	Ano	Unidade	Quant.	Valor unit. (R\$)	Custo (R\$)	Produção (m ³)	Receita (R\$)
Elaboração do Projeto	1	ha	1	50,00	50,00		
Manutenção	1 a 14	ha	14	80,00	1.120,00		
Produção	14	m ³					
Corte da lenha	14	h/m ³	75,04	20,00	1.500,80		
Produção (ha)	14	IMA(m ³)	5,36			75,04	
Valor da lenha	14	m ³	75,04	100,00			7.504,00
Total (R\$)					2.670,80		
Receita líquida							4.833,20

Em que h/m³ = homem por m³

O custo da condução do PMFS é de R\$ 2.670,80 e a receita líquida gerada após 14 anos de rotação foi de 4.833,20.

O comparativo dos rendimentos entre o *Eucalyptus* spp. e o PMFS é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20. Comparativo econômico entre o eucalipto e PMFS na Região do Araripe.

Fontes energéticas	Rotação (anos)	Produção (m ³ /ha)	Lenha (R\$/m ³)	Receita (R\$/ha)	Despesas (R\$/ha)	Lucro (R\$/ha)	Rendimento (R\$/ha/ano)
Eucalipto	7	189,68	100,00	18.968,0	5.091,71	13.876,29	1.982,32
PMFS	14	75,04	100,00	7.504,00	2.670,80	4833,20	345,22

Comparando os resultados da Tabela 20, observa-se que o rendimento por hectare/ano proporcionado pelo eucalipto é 5,74 vezes superior ao da lenha proveniente de PMFS da Caatinga, mesmo comparando uma rotação de sete anos para o eucalipto e de 14 anos para o PMFS. Isto constitui uma grande vantagem financeira para o produtor rural, mesmo sem levar em consideração dos efeitos indiretos do plantio de eucalipto, destacando-se a atenuação da devastação da vegetação nativa, pois o eucalipto oferece maiores volumes de madeira em menor espaço de tempo, em menores áreas de produção, o que certamente, diminuirá a busca por lenha da vegetação nativa.

4.7 OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE EUCALIPTOS VERSUS PMFS DA CAATINGA

Para atender a demanda da indústria do gesso a partir do ano de 2019, quando seria feito o primeiro corte dos eucaliptos plantados em 2012 (sete anos de rotação) e corte de PMFS da Caatinga iniciados em 2004 (rotação de 14 anos), consideraram-se os rendimentos de 0,125 e 0,151 m³/ton de gesso produzida, respectivamente, para eucaliptos e lenha da Caatinga.

Admitindo-se para *Eucalyptus* spp. um IMA de 27,10 m³/ha, produzir-se-á 189,70 m³/ha aos sete anos. Este volume permite a produção de 1.517,60 toneladas de gesso por hectare.

A simulação da ocupação espacial dos plantios de eucaliptos e planos de manejo sustentado da Caatinga é apresentada na Tabela 21.

Tabela 21. Simulação da ocupação espacial dos plantios de *Eucalyptus* spp. e PMFS da Caatinga.

ANO	PRODUÇÃO DE GESSO (milhão/ton)	CONSUMO DE EUCALIPTOS (milhão/m ³)	ÁREA PLANTADA COM EUCALIPTOS (mil ha)	CONSUMO DE LENHA DA CAATINGA (milhão/m ³)	ÁREA CORTADA DE PMFS (mil ha)
2012	6,5		8,3		
2013			9,18		
2014			10,10		
2015			11,11		
2016			12,22		
2017			13,44		
2018			14,80		
2019	12,67	1,58		1,91	25,49
2020	13,93	1,74		2,10	28,04
2021	15,33	1,92		2,31	30,84
2022	16,86	2,11		2,55	33,93
2023	18,55	2,32		2,80	37,32
2024	20,40	2,55		3,08	41,05
2025	22,44	2,80		3,39	45,15
TOTAIS	120,17	15,02	79,18	18,15	241,82

Considerando a Tabela 21, observa-se que se daria início a exploração florestal no ano de 2019, que corresponde ao primeiro corte feito no plantio de eucaliptos realizado em 2012, e o corte de uma área submetida a um PMFS iniciado em 2004.

Adotando-se um crescimento anual da indústria do gesso em torno de 10% e tendo como base inicial o ano de 2012, em 2019 a produção de gesso corresponderia a 12,67 milhões de toneladas, demandando um consumo de lenha de eucaliptos de 1,58 milhões de m³ e 1,91 milhões de m³ de lenha da Caatinga, provenientes de 8346,51 e 25488,80 hectares, respectivamente dos plantios de eucaliptos e de PMFS da Caatinga.

Prosseguindo com o raciocínio para os anos subsequentes, chegam-se as estimativas de áreas cortadas em plantios de eucaliptos e de PMFS da Caatinga, que seriam respectivamente, 79184,75 e 241816,64 hectares.

Calculando a equivalência espacial, isto é, a razão entre a área cortada com eucaliptos e de PMFS da Caatinga, chega-se a um valor de aproximadamente 0,33, que indica que para cada hectare plantado de eucaliptos implicaria em 3,03 ha de PMFS da Caatinga. Se considerar a rotação da Caatinga com 14 anos e plantar o eucalipto no ano de início do PMFS, conseguem-se duas rotações com eucaliptos. Assim a equivalência espacial passaria a ser 6,06, isto é, para uma rotação de 14 anos de um PMFS da Caatinga, 1 ha de eucaliptos equivale a 6,06 ha de PMFS da Caatinga.

Considerando que em 2007 existiam disponíveis 267.000 ha para recuperação (SÁ et al., 2007), o que atualmente deve ser uma área ainda maior, uma vez que a degradação da Caatinga continua, a ocupação espacial dos plantios de eucaliptos na região do Araripe poderia ser feita em áreas propícias à recuperação, sem que haja necessidade de desmatar áreas cobertas pela vegetação nativa, muito pelo contrário, o plantio de eucaliptos em função de seu rápido crescimento e alta produtividade quando comparado com a vegetação da Caatinga, propiciará lenha em maior quantidade e menor espaço de tempo, o que resultará em atenuação da devastação da Caatinga.

Isto vem a corroborar afirmativas de vários autores que justificam o uso de plantios dos eucaliptos como alternativa energética viável econômica e ambientalmente (SOARES et al., 2003; BAENA, 2005; REZENDE et al., 2006).

5. CONCLUSÕES

- O clone C39 híbrido de *Eucalyptus urophylla* (cruzamento natural) apresentou o melhor rendimento volumétrico na região do Polo Gesseiro. Como foi testado em um único espaçamento, recomendam-se mais pesquisas com esse clone, bem como os que apresentaram resultados mais próximos, em espaçamentos diferentes, e se possível, associados a consórcios agroflorestais, com a finalidade de minimizar os custos de implantação iniciais dos plantios de eucaliptos. Outra opção para a região é o clone C41 também híbrido de *Eucalyptus urophylla* (cruzamento natural) que ficou como segundo mais produtivo;
- Em geral, os modelos de crescimento testados apresentaram bons ajustes, indicando que qualquer um deles pode ser usado na prognose do crescimento para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp.
- O crescimento volumétrico ao longo do tempo de clones de *Eucalyptus* spp. do Polo Gesseiro do Araripe pode ser analisado a partir da análise multivariada de medidas repetidas;
- A idade de rotação técnica (IRT) com base nos dados volumétricos para os grupos de clones ficou em torno de sete anos de idade;
- A alta produtividade, aliada ao menor tempo de rotação de clones de *Eucalyptus* spp. comparada aos PMFS da Caatinga, faz desse gênero um grande potencial para ser usado como oferta para fins energéticos e minimizar o processo de devastação da vegetação nativa.
- Plantios de florestas de rápido crescimento, especificamente, clones de *Eucalyptus* spp. constituem-se em uma alternativa rentável economicamente e ambientalmente viável para produção de gesso no Polo Gesseiro do Araripe, pois ocupando menores áreas plantadas, são capazes de suprir a demanda energética de indústria do gesso em menor espaço de tempo e com maiores retornos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). **Indicadores do setor de florestas plantadas**. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/> acesso em fev. de 2012.
- ABREU, E. C. R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 1, p. 86-102, 2002.
- ALMEIDA, A. C. et al. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in fast growing *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 167–177, 2004.
- ALVES, A. M. C. et al. Quantificação da produção de biomassa em clones de eucaliptos com 4,5 anos, no Polo Gesseiro do Araripe-PE. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, PA, n. 48, p. 161-173, 2007.
- ANGELO, H.; GUIMARÃES, D. P. Subsídios econômicos ao manejo florestal sustentável na Região Amazônica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 353-360, 2001.
- ARAÚJO, S. M. S. de, **O Polo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração**. 2004. 276f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Campinas, Campinas-SP.
- ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. A.; CASTRO, C. C. Dynamics of the Brazilian Caatinga – a revision concerning the plants, environments and people. **Functional Ecosystems and Communities**, United Kingdom, v. 1, p. 15-29, 2007.
- ATECEL. **Diagnóstico Energético do Setor Industrial do Polo Gesseiro da Mesoregião de Araripina – PE**. Campina Grande, 126f. 2006.
- AVERY, T. E.; BURKHART, H. **Forest management**. 4ed. New York: MacGraw-Hill, 1994, 432p.
- BAENA, E. S. A. A rentabilidade da cultura do *Eucalyptus* e sua contribuição ao agronegócio brasileiro. **Conhecimento Interativo**, São José dos Pinhais, São Paulo, v.1, n.1, p. 3-9, 2005.
- BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.
- BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distribution with the Weibull function. **Forest Science**, Washington, v. 19, n. 2, p. 27-64, 1973.

BARROS, K. N. N. O. **Abordagem clássica e bayesiana em modelos simétricos transformados aplicados à estimativa de crescimento em altura de *Eucalyptus urophylla* no Polo Gesseiro do Araripe – PE.** 2010. 67f. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BARROS, B. C. et al. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no Polo Gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 20, n. 4, p. 641-647, 2010.

BATTAGLIA, M., SANDS, P. J. Process-based forest productivity models and their application in forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 102, p. 13–32, 1998.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Efeito do espaçamento e da fertilização sobre o crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna*. In: Simpósio Latino-Americano sobre manejo de floresta, 2000. Santa Maria **Anais...**Santa Maria: UFSM, 2000. p. 209 – 236

BERGER, R. et al. Rentabilidade econômica da produção de *Pinus* spp. por mesorregião homogênea no Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 161-168, 2011.

BERTALANFFY, L. V. Quantitative laws for metabolism and growth. **Quaterty Review of Biology**. Strony Brook, v. 32, p. 217-231, 1957.

BERTOLA, A. **Eucalipto: verdades e mentiras.** <http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc009.pdf>. (Acesso 04 Agosto 2010).

BINOTI, D. H. B. et al. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n.1, p. 147-156, 2010.

BRITO, C. C. R. **Novos modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (LAM.) de Wit e Tubarão-junteiro (*Carcharhinus porosus*).** 2005 141f. (Mestrado em Biometria) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BRITO, C. C. R. et al. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de Chapman-Richards Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (LAM.) De Wit. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 17, n. 2, p. 175-185, 2007.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth.** New York: Reinhold Publishing Corp, 1945. 1023 p.

BURKHART, H. E. **Estimating growth and mortality In: Inventory design and analysis.** Proc. of a Workshop of S.A.F. Inventory group. Colorado State University. p. 111-124, 1974.

CAMPELLO, F. C. B. et al. **Diagnóstico florestal da região nordeste**. Brasília, DF: IBAMA, 1999. 20p.

CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe-PE**. 2011. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 470 p.

CARVALHO, S. P. C. **Uma nova metodologia de avaliação do crescimento e da produção de *Eucalyptus* SP clonal para fins energéticos**. 2010. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CHAPMAN, D. E. **Statistical problems in dynamics of exploited fishing populations**. In: Berkeley Symposium on mathematical statistic and probability, p. 153-158, Proceedings 1961.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

CLUTTER, J. L.; JONES-JR, E. P. Predictions of growth after thinning in old-field slash Pine plantations. **Forest Service Research Paper**, Asheville, NC, 14 p, 1980.

COLBERT, J. J. et al. Individual tree basal-area growth parameter estimates for four models. **Ecological Modelling**, Quebec, v. 174, p. 115-126, 2004.

COUTO, H. T. Z; BASTOS, N. L. M. Curvas de crescimento em volume para *Eucalyptus* sp, em segunda rotação no Estado de São Paulo. **Revista do IPEF**, Piracicaba, SP, v. 34, p.15-18, 1986.

CRUZ, J. P. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.679-685, 2008.

CUNHA, A. B. et al. Consumo da lenha na calcinação da gipsita e impactos ambientais no Polo Gesseiro da mesorregião do Araripe – PE. **Revista de Biologia e Farmácia**, João Pessoa, PB, v. 2, n. 1, 2008.

DANTAS, M. A hora e a vez da biomassa. SINDUGESSO, **Revista Brasil Gypsum Magazine**, Recife, p. 21, 2010.

DEMOLINARI, R. A. **Crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados**. 2007. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

ELASBÃO, L. E. G. **Performance do *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. em áreas arenizadas e degradadas no Oeste do Rio Grande do Sul.** 2011. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Observações meteorológicas e tipos climáticos das unidades e campos experimentais da empresa IPA.** Recife: IPA, 1980, 110 p.

FARO, C. de. **Elementos de engenharia econômica.** 3.ed. São Paulo, Atlas, 328p, 1979.

FERREIRA, C. A.; TREVISAN, R. Prognose do crescimento volumétrico de espécies de *Eucalyptus* para a Região Centro Sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p. 81-94, 2001.

FERREIRA, F. A. **Patologia Florestal: principais doenças florestais no Brasil.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 570p, 1989.

FERREIRA, J. C. S. **Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade.** 2011. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF.

FLORIANO, E. P.; et al. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 16, n. 2, p. 177-199, 2006.

FRANCELINO, M. R. et al. Contribuição da Caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão norte-rio-grandense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n. 1, p. 79-86, 2003.

FREITAS, A. R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 786-795, 2005.

FUPEF, **Apoio técnico e institucional para o desenvolvimento do programa florestal da Chapada do Araripe: produto 2 – Diagnóstico**, Curitiba, 2007, 203 p.

GADELHA, F. H. L. **Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus brassiana* (Cruzamento Natural) na Chapada do Araripe – PE.** 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

GARLIPP, R. FOELKEL, C. O Papel das Florestas Plantadas para Atendimento das Demandas Futuras da Sociedade. **XII Congresso Mundial / FAO / Buenos Aires**, Argentina 18 a 23 de Outubro de 2009.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos Energéticos da Biomassa como Recurso no Brasil e no Mundo, **Agrener Gd**, Escola Politécnica da USP, 2006.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GORGENS, E. B. et al. Tendências de crescimento de povoamentos de eucalipto após aplicação de desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.5, p. 879-885, 2007.

GRAUER, A.; KAWANO, M. **Uso de biomassa para produção de energia. Boletim informativo da bolsa de reciclagem.** v. 1, n. 5. nov/dez., 2001. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/composer...tm/leconteudo=/energi/biomassa-vant.html>. Acesso em: 20 jan.2012.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** 1994. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GUIMARÃES, D. P. Um modelo de passo invariante baseado na função de Gompertz para prognose do crescimento. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 75-81, 2000.

HUYNH, H; FELDT, L.S. Conditions under which mean square ratios in repeated measurements designs have exact F-distributions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 65, n. 332, p. 1582-1589, 1970.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) **Um breve histórico**, disponível em http://www.ibama.gov.br/institucional/historia/index_htm. Acesso em: 10 abr.2009.

IMAÑA-ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. Brasília: **Comunicações técnicas florestais**, Brasília, DF, v. 7, n. 1, 43p. 2005.

IMAÑA-ENCINAS, J. I.; SANTANA, O. A.; IMANÃ, C. R. Volumetric and economic optimal rotations for firewood production of *Eucalyptus urophylla* in Ipameri, State of Goiás. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 4, p. 905 - 912, 2011.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) **Portaria nº 130, de 07 de dezembro de 1999.** Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior- MDIC, disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC000612.pdf>

ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco). **Dados meteorológicos.** Disponível em: http://www.itep.br/index.php?option=com_content&view=article&id=73:centro-tecnologico-do-araripe-araripina&catid=63:ct-araripe-araripina&Itemid=479. Acesso em set. 2011.

KHATTREE, R.; NAIR, D. N. **Applied multivariate statistics with SAS software.** 2 ed. Cary, NC: SAS Institute, 1999. 340 p.

- LEI, Y. C.; ZHANG, S. Y. Features and partial derivatives of Bertalanffy-Richards growth model in forestry. **Nonlinear Analysis: Modeling and Control**, v. 9, n. 1, p. 65-73, 2004.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; LIMA, J. E. Um modelo de crescimento e produção para *Pinus taeda* L. na região sul do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 105-112, 2001.
- LESLIE, P. H. On the use of matrices in certain populations mathematics. **Biometrika**, Alexandria, v. 35, p. 183-212, 1945.
- LIMA-FILHO, L. M. A. **Modelos simétricos transformados não-lineares com diferentes distribuições dos erros: aplicados em ciências florestais**. 2009, 89f. Dissertação (Mestrado em Biometria) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- LIMA, W. de. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301p.
- LIMA JÚNIOR, V. B. L.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 3, n. 1, p. 186, 1997.
- LUNDGREN, W. J. C. **Uso da Geoestatística na estimativa volumétrica de clone de *Eucalyptus sp* no Polo Gesseiro do Araripe**. 2011, 175f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
- MACHADO, S. A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus Taeda* L. plantations in the State of Paraná Brazil**. 1978. 169f. Thesis (Doctor of Philosophy) University of Washington. Washington.
- MACHADO, S. A. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37, 1997.
- MACHADO, M. F.; GOMES, L. J.; MELLO, A. A. Caracterização do consumo de lenha pela atividade de cerâmica no Estado de Sergipe. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 507-514, 2010.
- MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. Modelagem do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus grandis* através de processos de difusão. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 33, n. 2, p. 169-182, 2003.
- MANTOVANI, M. et al. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 451-458, 2005.
- MARTINS, E. F. P. et al. Curvas de índice de sítio para leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] no Agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 17, n. 4, p. 365-376, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia**. 2ª ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2006. 110 p. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/PLANOS/PNA_2006_2011/PLANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA%202006%20-%202011-%20PORTUGUES.PDF. Acesso em: 5 jan. 2011

MAUCHLY, J.W. Significance test for sphericity of normal n-variate distribution. **Annals of Mathematical Statistics**, v.11, p.204-209, 1940.

MENDES, B. R. et al. Desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores individuais fundamentado em equações diferenciais. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 12, n. 3, p. 254-263, 2006.

MÉNDEZ, M. O. A. **Síntese de materiais carbonosos ativados a partir do coque de petróleo**. 2005, 117f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) - Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP.

MENON, M. U. Ajuste dos modelos de Kozak e do sistema Murkhart e Cao para plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ambiência**, Guarapuava, PR, n. 1, p. 197-205, 2005.

MILLIKEN, G. A.; JOHNSON, D. E. **Analysis of messy data v.1 designed experiments**. New York: Chapman e Hall, 1992, 473p.

MMA. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE) **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga**. Brasília: UFPE/Fade/Conservation Internacional do Brasil/Fundação Biodiversitas/Semiárido. 2002. 36 p.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo. 2000. 114p.

MOTTA, D.; SILVA, W.F. da; DINIZ, E.N. Análise da viabilidade sustentável e econômica numa plantação de eucalipto. In: VII Simpósio de Excelência em Gestão Tecnológica, Resende, R.J. 14p. 2010.

MÜLLER, M. D.;COUTO, L. **Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para a produção de biomassa**. Viçosa, MG: RENABIO, 2006. 58 p. (Documento Técnico)

MYUNG, In J.; PITT, M. A.; KIM, W. **Model evaluation and selection**. Columbus, USA: Ohio State University, Department of Psychology, 2003, 45p.

NEMEC, A. F. N. **Analysis of repeated measures and time series: An Biometrical information with forestry examples handbook**. 6. Ministry of Forest, Victoria B. C. Work paper 15, 1996, 83p.

OLIVEIRA, A. D. et al. Avaliação econômica da vegetação de Cerrado Submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de Eucalipto plantado em monocultura. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.4, n.1, p.34-56, 1998.

- OLIVEIRA, M. L. R. et al. Modelagem e prognose em povoamentos não desbastados de clones de Eucalipto. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 841-852, 2009a.
- OLIVEIRA, M. L. R. et al. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 133-141, 2009b.
- PAREYN, F.; RIEGELHAUPT, F. O Manejo florestal sustentado da Caatinga. **Revista opiniões**. 2007. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=291>. Acesso em fev.2011.
- PATIÑO-VALERA, F. Interação genótipo x espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, SP, v. 39, n. 2, p. 5-16, 1988.
- PIENAAR, L. V., TURNBULL, K. J. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. **Forest Science**, Washington, v. 19, p. 2-22, 1973.
- PRODAN, M. **Forest Biometrics**. Pergamon Press, Oxford, 447 p. 1968.
- RAPASSI, R. M. A. et al. A cultura do eucalipto na região de Suzanápolis, Estado de São Paulo: Análise Econômica. **Informações Econômicas**, São Paulo-SP v.38, n.4, 2008.
- RESENDE, R. R. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 219-225, 2004.
- REZENDE, J. L. P. et al. Análise econômica de fomento florestal com eucalipto no Estado de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 12, n. 3, p. 221-231, 2006.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, UFV, 2001. 389p.
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function of empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 10, p. 290-300, 1959.
- RIBEIRO, C. A. S. et al. Seleção de modelos volumétricos para Leucena no Agreste de Pernambuco. **Brasil Floresta**, Brasília, DF, ano. 20, n. 72, 2001.
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function of empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 10, p. 290-300, 1959.
- RODRIGUEZ, L. C.; BUENO, A. R. S.; RODRIGUES, F. Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 51, p. 15-28, 1997.
- RODRIGUEZ, L. C. E.; DIAZ-BALTEIRO, L. Régimen óptimo para plantaciones de eucaliptos en Brasil: un análisis no determinista. **Interciencia**, Caracas, v. 31, n. 10, p. 739 - 744, 2006.

ROSA, M. C. C. **Estudo comparativo de modelos matemáticos de crescimento aplicados a peixes cultivados**. 1993. 23f. Monografia (Especialização em Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SÁ, I. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, D. F. Geotecnologias conciliando preservação ambiental e fortalecimento das atividades produtivas na região do Araripe-PE. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: INPE, 2007. p. 1875-1882.

SANQUETTA, C. R. et al. Equações individuais e determinação de classes de crescimento para *Nectandra grandiflora* Nees a partir de dados de análise de tronco. **Scientia Agraria**, Curitiba, PR, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2010.

SANTOS, C. S. A. **Modelos simétricos transformados não-lineares com aplicação na estimativa volumétrica em híbrido de *Eucalyptus tereticornis* no Polo Gesseiro do Araripe**. 2010, 93f. Dissertação (Mestrado em Biometria)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; LEITE, H. G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 737-747, 2006.

SANTOS, S. C. J.; GOMES, L. J. Consumo e procedência de lenha pelos estabelecimentos comerciais de Aracaju-SE. **Revista da Fapese**, Aracaju, SE, v. 5, n. 1, p. 155-164, 2009.

SANTOS, V. B. et al. Avaliação de curvas de crescimento morfométrico de linhagens de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 5, p. 1486-1492, 2007.

SCHETTINO, L. F.; et al. Diagnóstico para a gestão florestal sustentável no Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 445-456, 2000.

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. R. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria - RS, FACOS - UFSM, 2009. 294p.

SCHLAEGEL, B. E. Testing, reporting, and using biomass estimation models. IN: SOUTHERN FOREST BIOMASS WORKSHOP, 1981, [S.I.]. **Proceedings...** [S.I: s.n], 1981. 95-112.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal: Parte 1**. Lavras: ESAL/FAEPE, 182p. 1994.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping mean in the analysis of variance. **Biometrics**, Alexandria, v. 30, p. 507-5042, 1974.

SECTMA (**Secretaria de Ciência e Tecnologia de Pernambuco**) Disponível em http://www.sectma.pe.gov.br/acoes_todos.asp?menu_sub=3&secao=2. Acesso em 21 jan. 2008.

SECTMA/MMA, **Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007, 91 p.

SHARMA, M.; AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E. Forest stand dynamics and similarity theory. **Ecological Modelling**, v. 167, n 1-2, p. 165-180, 2003.

SILVA, F. A. S. **Assistat (Assistência estatística)**. versão 7.6. Disponível em <http://www.assistat.com/indexp.html#down>. Acesso em jul 2011.

SILVA, K. R.; et al. Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG v.28, n.3, p. 361-366, 2004.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**, 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 178p, 2005.

SILVA, D. A. N. **Uma abordagem Bayesiana para análise de sobrevivência de clones de Eucaliptos no Polo Gesseiro do Araripe**. 2006. 50f. (Mestrado em Biometria) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, J. A. A. **Dynamics of stand structure in fertilized slash pine plantations**. Athens: University of Georgia, 1986. 133 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Georgia.

SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L. Uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n.12 p. 199-206, 1991.

SILVA, J. A. A.; BORDERS, B. E. A tree volume equation based on two lower stem diameters for Loblolly Pine in the southeastern United State. **Southern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v.17, n.4, p. 160-162, 1993.

SILVA, J. A. A; SILVA, I. P. **Estatística experimental aplicada à ciência florestal**. Universidade Federal Rural de Pernambuco 269f. 1995.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no Polo Gesseiro de Pernambuco. **Anais da Academia de Ciências Agrônômica**. v. 5 e 6, p. 303-319, 2008-2009.

SILVA, S. M. F. S. **Comparação entre equações volumétricas regionais e equações baseadas em volumes da primeira tora em clones de *Eucalyptus* na chapada do Araripe- PE**. 2008, 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Avaliação de Risco em Investimentos Florestais. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 52, p. 79-9, 2006.

SINDUSGESSO (**Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco**), disponível em http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp, acesso em 28 de novembro de 2012.

SIQUEIRA, A. T. et al. Estimativa do tempo ideal de despesca em dois cultivos de *Penaeus subtilis* (Perez-Farfante). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE CULTIVO DE CAMARÃO, 3., 1989, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa. [UFPB] 1989. p. 451-455.

SOARES, C. P. B. et al. Predição do crescimento em povoamentos clonais de eucalipto não desbastados utilizando matriz de transição não estacionária. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 831-840, 2009.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G. Predição da produção de madeira de eucalipto em região com alta variabilidade pluviométrica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 58, p. 41-48, 2000.

SOBRINHO, A. C. P. de L.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J. O. C. **Gipsita**. Departamento Nacional de Produção Mineral. <http://www.dnpm-pe.gov.br/>, 2003. Acesso em 09.12.2007.

SOUZA, L. A. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado do Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 41, n. 4, p. 671-676, 2010.

STAPE, J. P. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684–1694. 2010.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, São Paulo, SP, n. 79, p. 47-69, 2007.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA-FILHO, J. Efeito das variáveis ambientais no comportamento ecofisiológico de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*: condições de campo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 39, n. 92, p. 419-431, 2011.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. O crescimento da *Nectandra megapotamica* Mez., em floresta nativa na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, n. 1, p. 85-90, 2003.

TONINI, H. et al. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no Estado de Roraima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 2, p. 151-158, 2008.

TURNBULL, K. J. **Population dynamics in mixed Forest stands: A system of mathematical model of mixed stand growth and structure**. 1963. 186f. Dissertação. University of Washington, W. A., Washington.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, MG, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

VALVERDE, S. R. et al. Efeitos multiplicadores da economia florestal brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 285-293, 2003.

VASQUES, A. G.; WANZUITA, M. **Setor florestal mostra vigor e deve crescer**. In: ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA – AGRIANUAL 2007. São Paulo: Agra FNP Pesquisas Ltda., 2007. p. 332 - 334.

VIEIRA, F. T. P. A. et al. Uma abordagem multivariada em experimento silvipastoril com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit no Agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 17, n. 4, p. 333-342, 2007.

VITALE, V.; MIRANDA, G. M. Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na região Centro-Sul do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 469-476, 2010.

XAVIER, L. H.; DIAS, C. T. S. Acurácia do modelo univariado para análise de medidas repetidas por simulação multidimensional. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 2, p. 241-250, 2001.

ZHAO, D.; WILSON, M.; BORDES, B. Modeling response curves and testing treatment effects in repeated measures experiments: a multilevel nonlinear mixed-effects model approach. **Canadian Journal Forest**, Canadá, n.35, p. 122-132, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1. Resumo da (ANOVA) aos 12 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	122,5151	8,7510	3,3640**
Resíduo	45	117,0614	2,6013	
Total	59	239,5765		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 2. Resumo da (ANOVA) aos 18 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	463,7029	33,1216	1,8404 ^{ns}
Resíduo	45	809,8640	17,9969	
Total	59	1273,5669		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 3. Resumo da (ANOVA) aos 24 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	1156,9570	82,6398	1,4864 ^{ns}
Resíduo	45	2501,8530	55,5967	
Total	59	3658,8100		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 4. Resumo da (ANOVA) aos 30 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. de experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	2110,2270	150,7300	1,4296 ^{ns}
Resíduo	45	4744,5490	105,4340	
Total	59	6854,7760		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 5. Resumo da (ANOVA) aos 36 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	3404,1610	243,1540	1,3363 ^{ns}
Resíduo	45	8188,1300	181,9580	
Total	59	11592,2910		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 6. Resumo da (ANOVA) aos 42 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	5637,2820	402,6630	1,6381 ^{ns}
Resíduo	45	11061,4700	245,8100	
Total	59	16698,7520		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 7. Resumo da (ANOVA) aos 48 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	7840,0800	560,0050	1,7979 ^{ns}
Resíduo	45	14016,6400	311,4800	
Total	59	21856,7200		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 8. Resumo da (ANOVA) aos 54 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	10834,1370	773,8660	2,1195*
Resíduo	45	16429,9200	365,1094	
Total	59	27264,0570		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 9. Resumo da (ANOVA) aos 60 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	13441,9210	960,1370	2,2988*
Resíduo	45	18795,1040	417,6690	
Total	59	32237,0250		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 10. Resumo da (ANOVA) aos 66 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	16093,7670	1149,5540	2,4514*
Resíduo	45	21102,2700	468,9390	
Total	59	37196,0370		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 11. Resumo da (ANOVA) aos 72 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	20657,3980	1475,5280	2,7237**
Resíduo	45	24378,3640	541,7410	
Total	59	45035,7620		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 12. Resumo da (ANOVA) aos 78 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	28143,1500	2010,2250	3,0521**
Resíduo	45	29638,8500	658,6410	
Total	59	57782,0000		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 13. Resumo da (ANOVA) aos 84 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	41727,5100	2980,5360	3,1236**
Resíduo	45	42939,4100	954,2090	
Total	59	84666,9200		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

Tabela 14. Resumo da (ANOVA) aos 90 meses para a variável volume entre os clones de *Eucalyptus* spp. do experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	58956,0310	4211,1450	3,5423**
Resíduo	45	53496,0090	1188,8000	
Total	59	112452,0400		

Em que:

ns = não significativo

* = significativo a 5% de probabilidade

**= significativo a 1% de probabilidade

APÊNDICE B

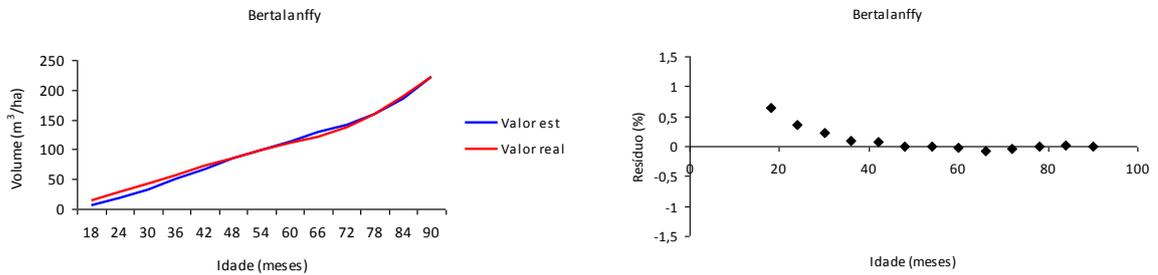


Figura 1. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Bertalanffy para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.

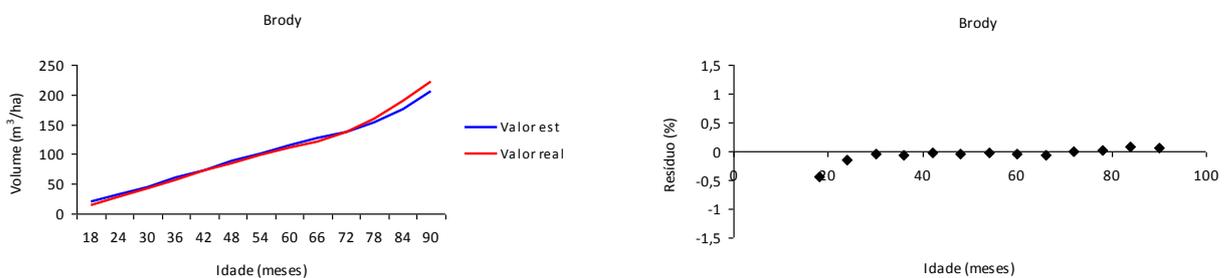


Figura 2. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Brody para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.

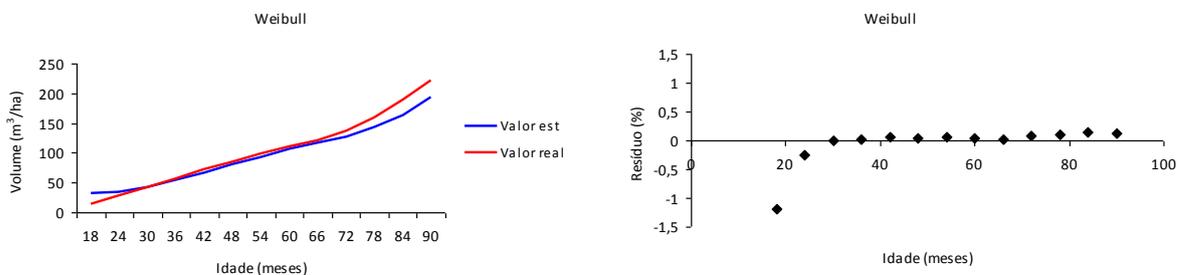


Figura 3. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Weibull para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.

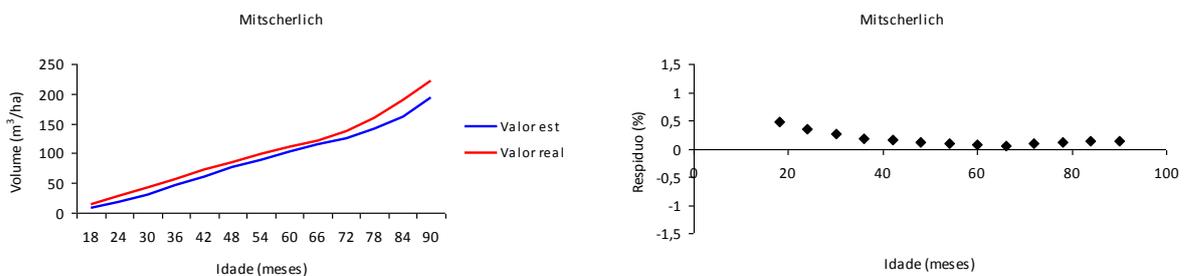


Figura 4. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Mitscherlich para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.

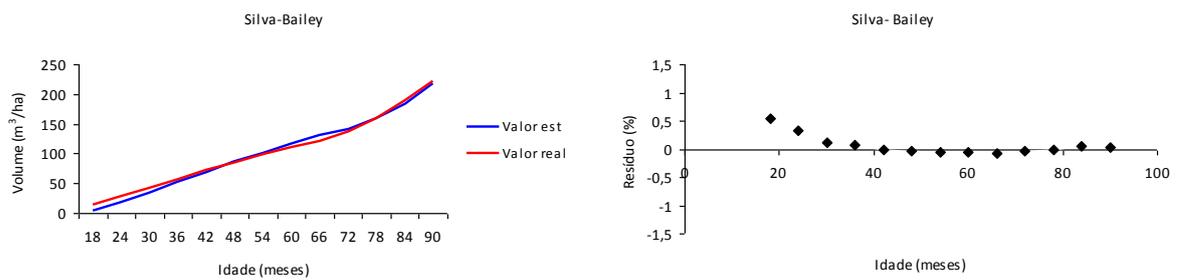


Figura 5. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Silva-Bailey para o grupo A, clone 39 no Polo Gesseiro do Araripe.

APÊNDICE C

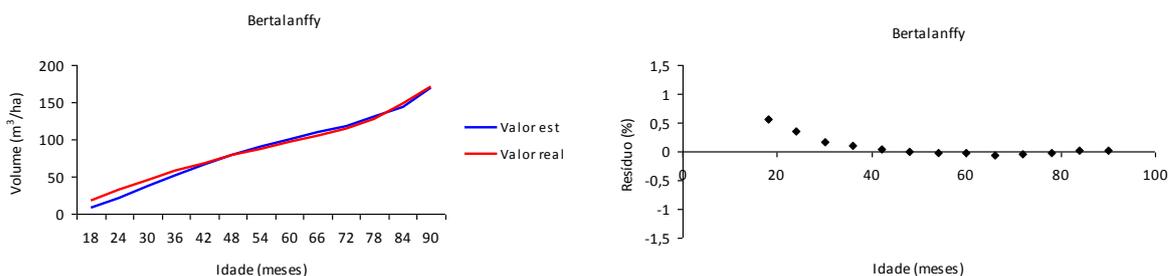


Figura 6. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Bertalanffy para o grupo B, clone 41 no Polo Gesseiro do Araripe.

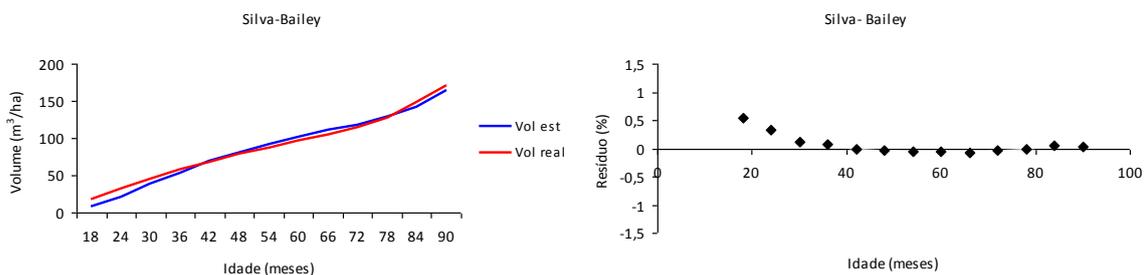


Figura 7. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Silva-Bailey para o grupo B, clone 41 no Polo Gesseiro do Araripe.

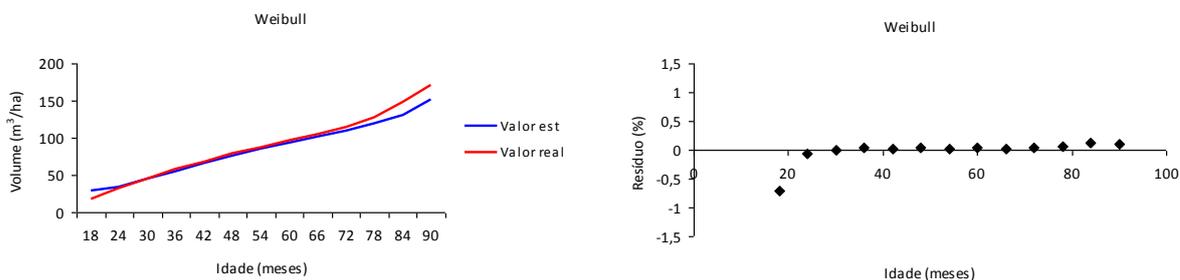


Figura 8. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Weibull para o grupo B, clone 41 no Polo Gesseiro do Araripe.

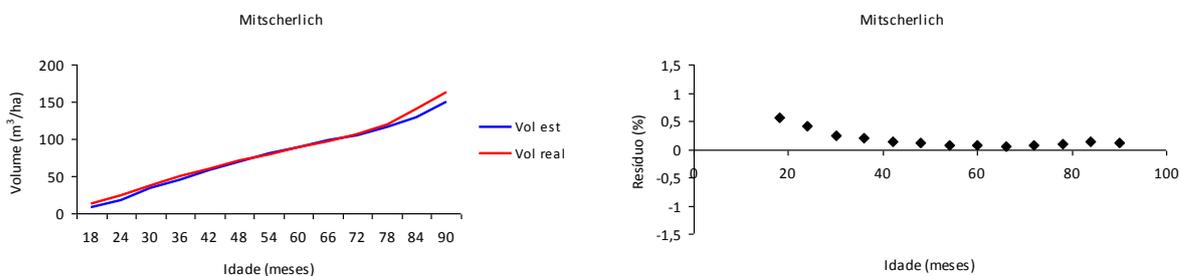


Figura 9. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Mitscherlich para o grupo B, clone 41 no Polo Gesseiro do Araripe.

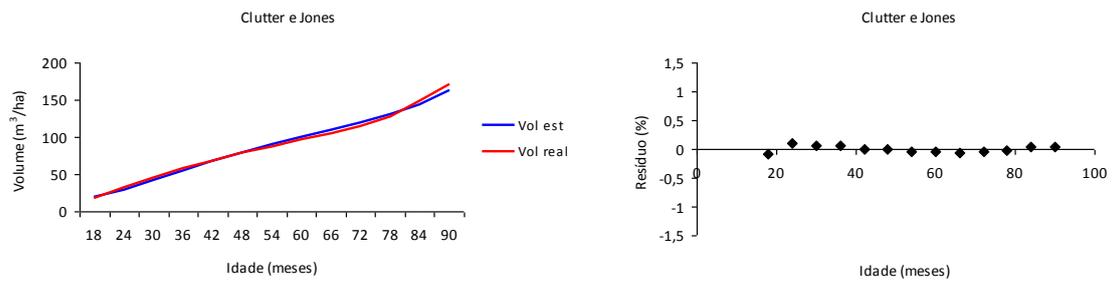


Figura 10. Curva de crescimento real e estimada e distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Clutter e Jones para o grupo B, clone 41 no Polo Gesseiro do Araripe.

APÊNDICE D

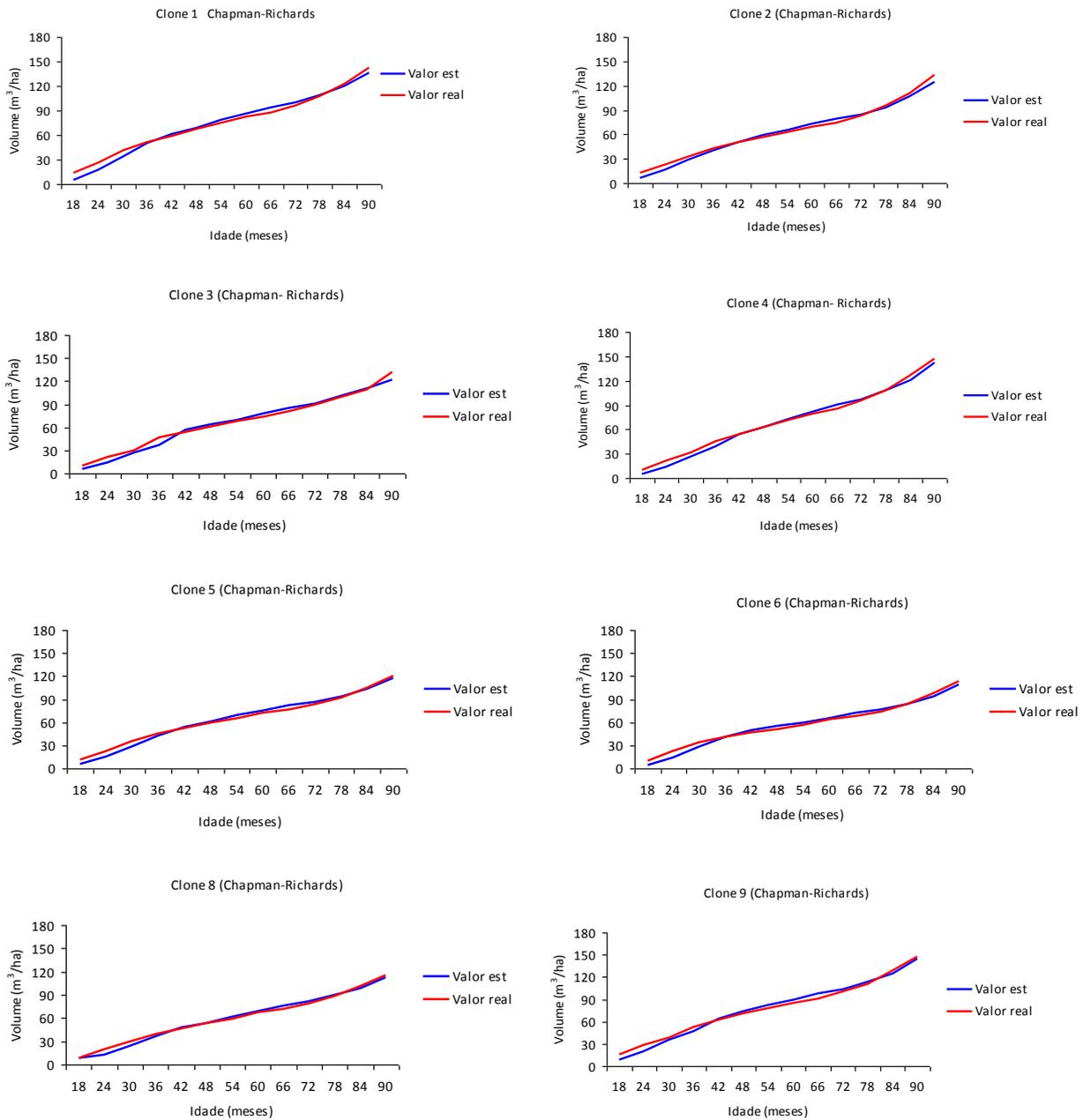


Figura 11. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Chapman-Richards para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

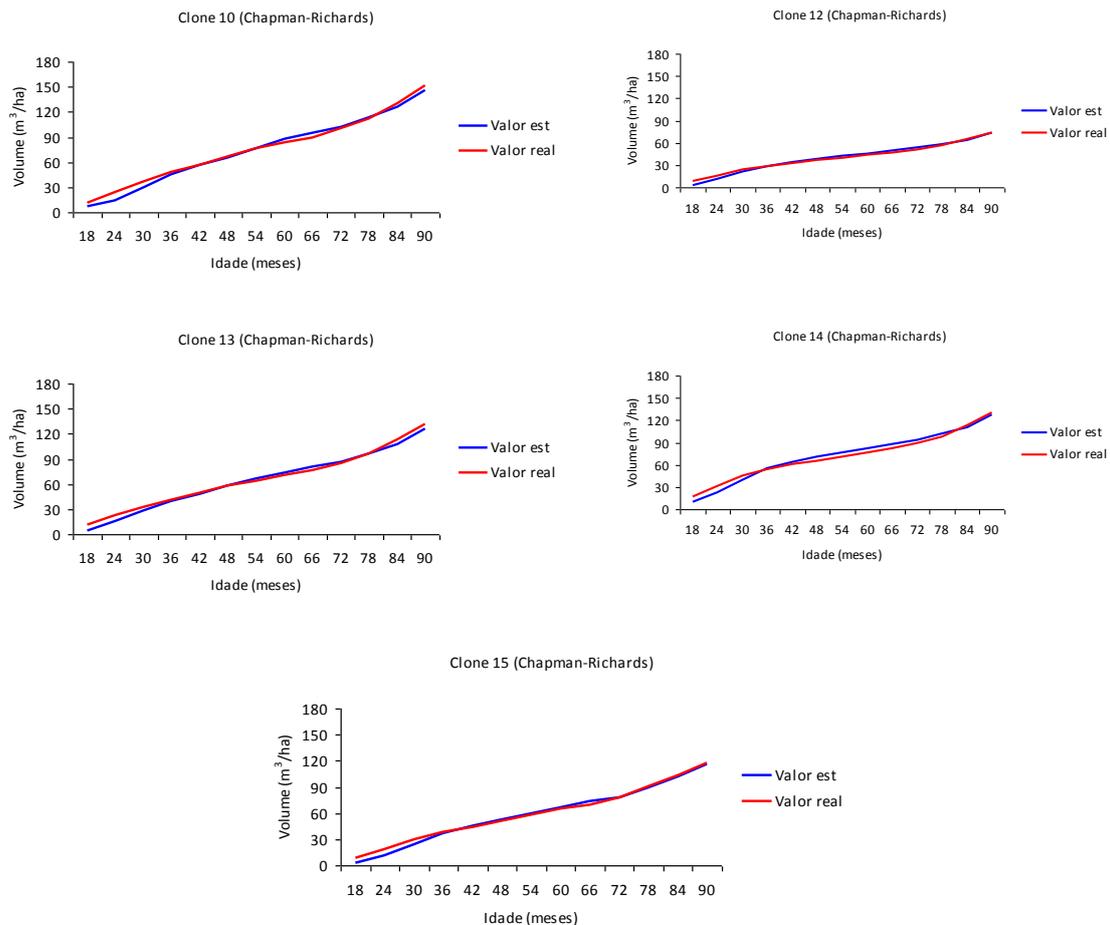


Figura 12. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Chapman-Richards para os clones 10, 12, 13, 14 e 15 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

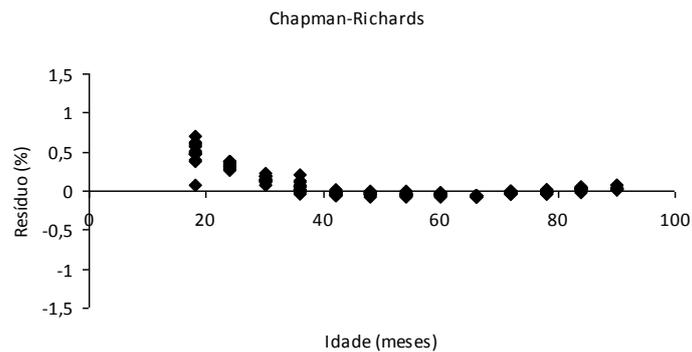


Figura 13. Distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Chapman-Richards para o grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

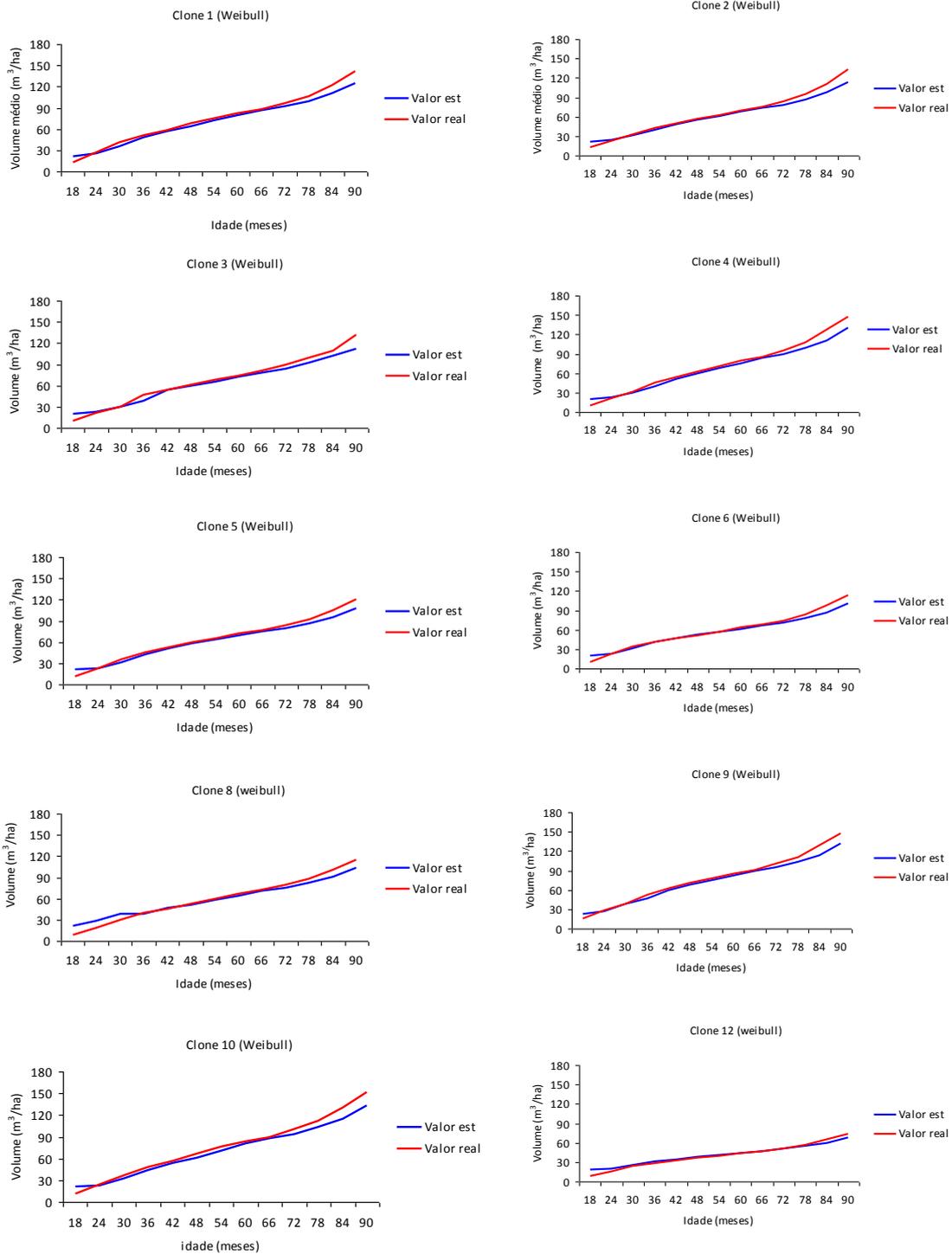


Figura 14. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Weibull para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 12 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Ararape.

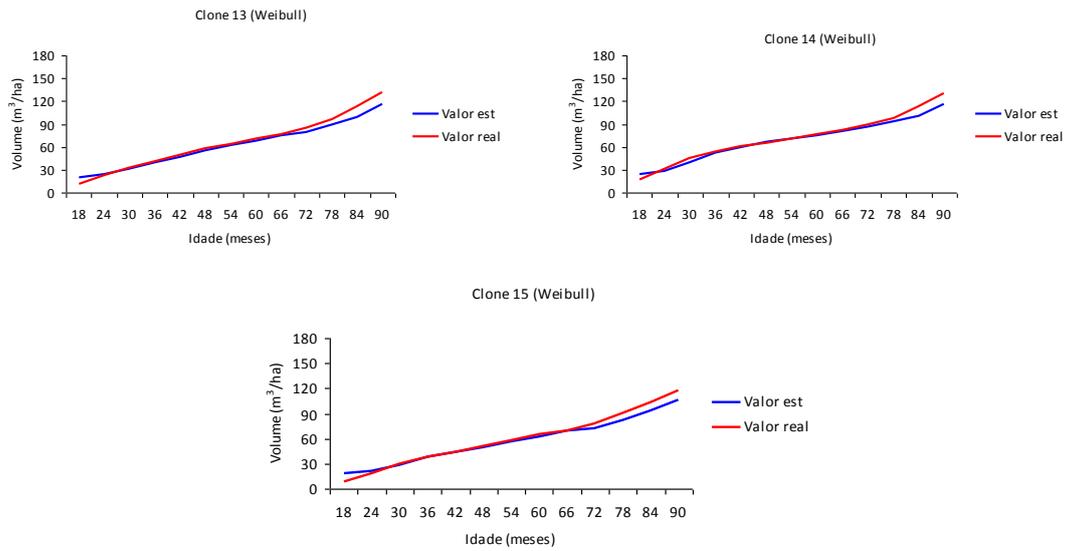


Figura 15. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Weibull para os clones 13, 14, e 15 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

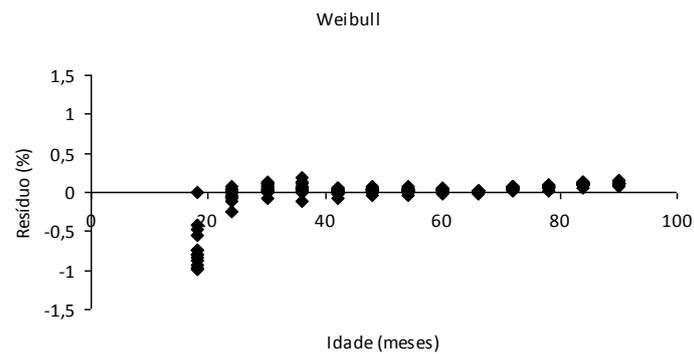


Figura 16. Distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Weibull para o grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

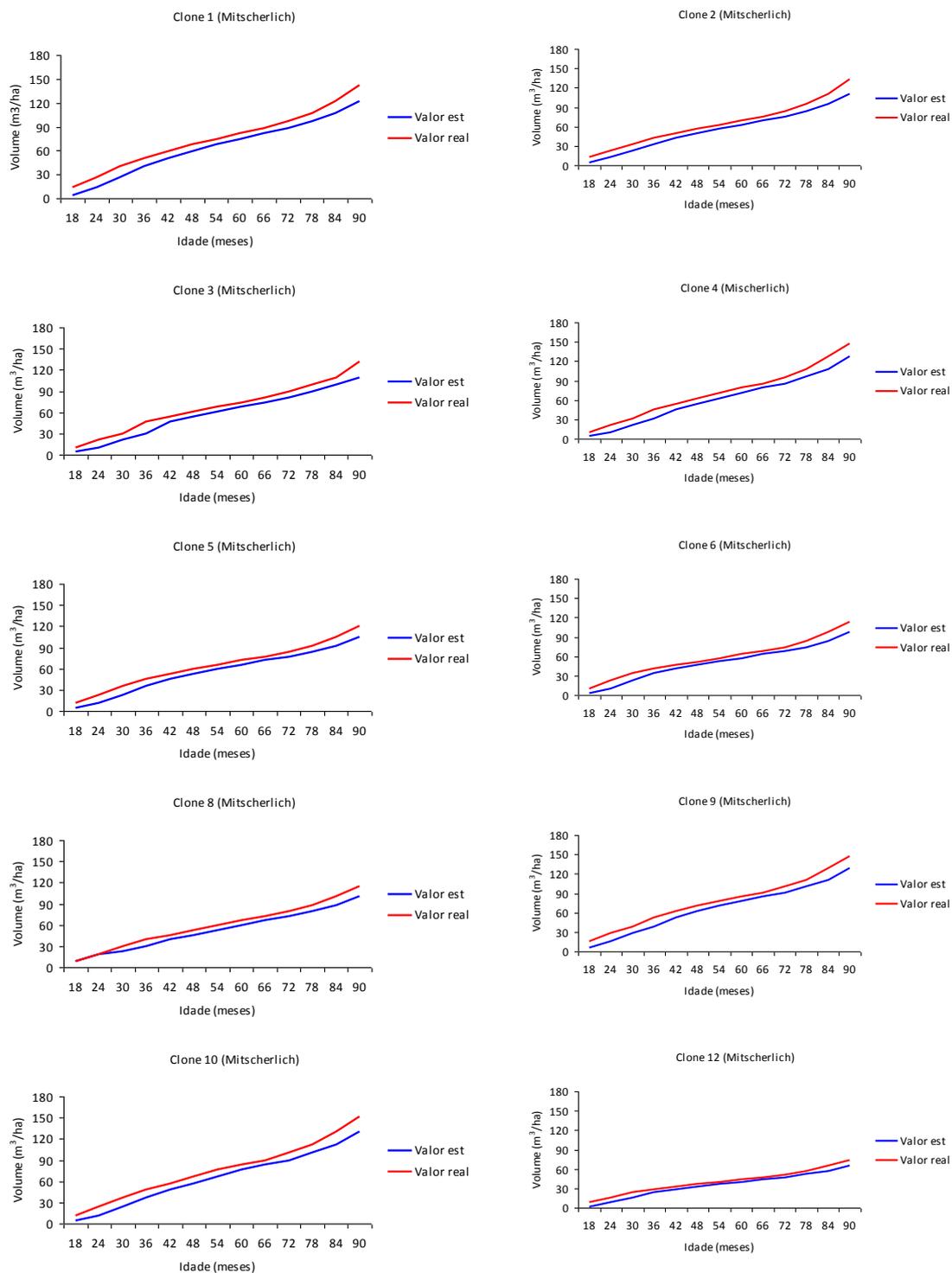


Figura 17. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Mitscherlich para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 12 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

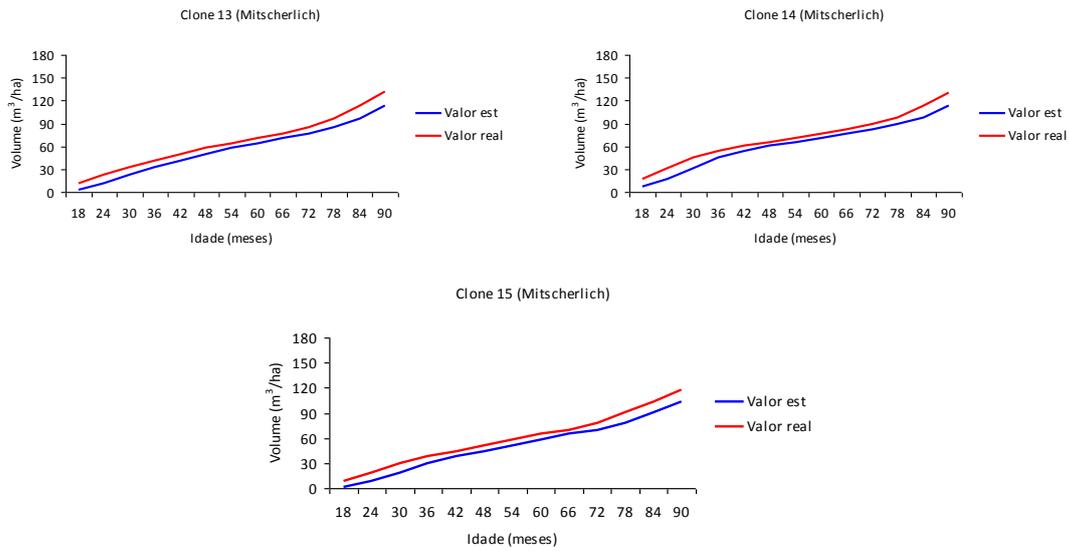


Figura 18. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Mitscherlich para os clones 13, 14, e 15 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

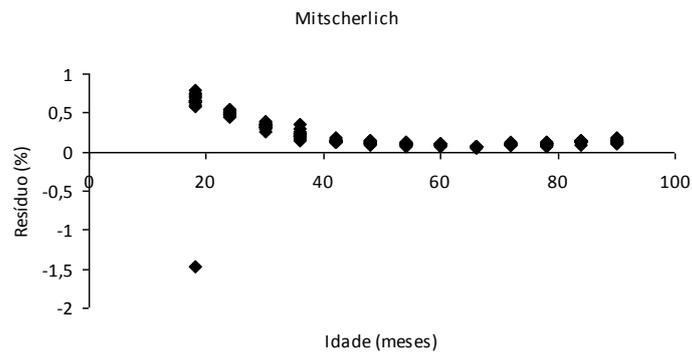


Figura 19. Distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Mitscherlich para o grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

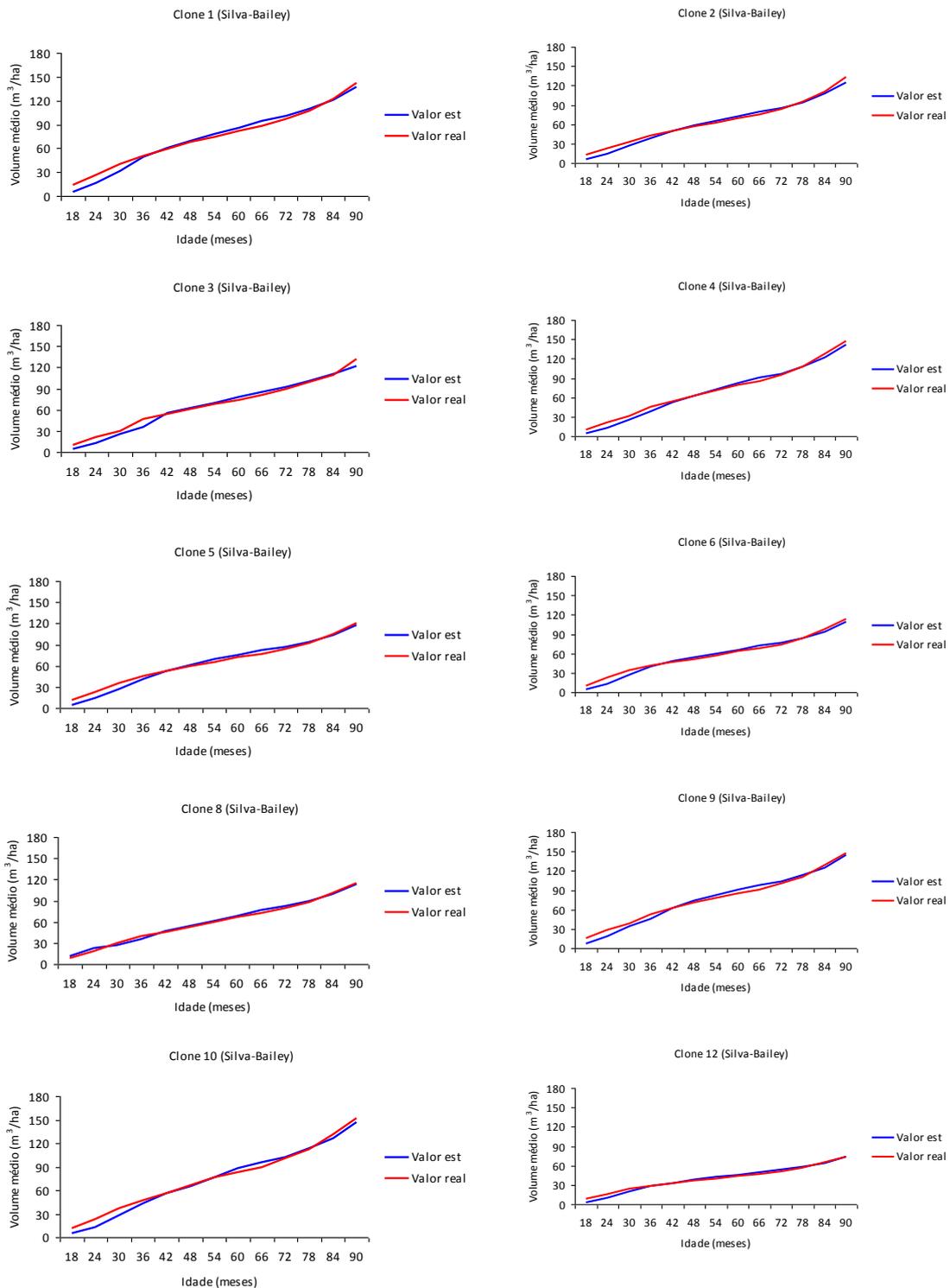


Figura 20. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Silva-Bailey para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 12 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

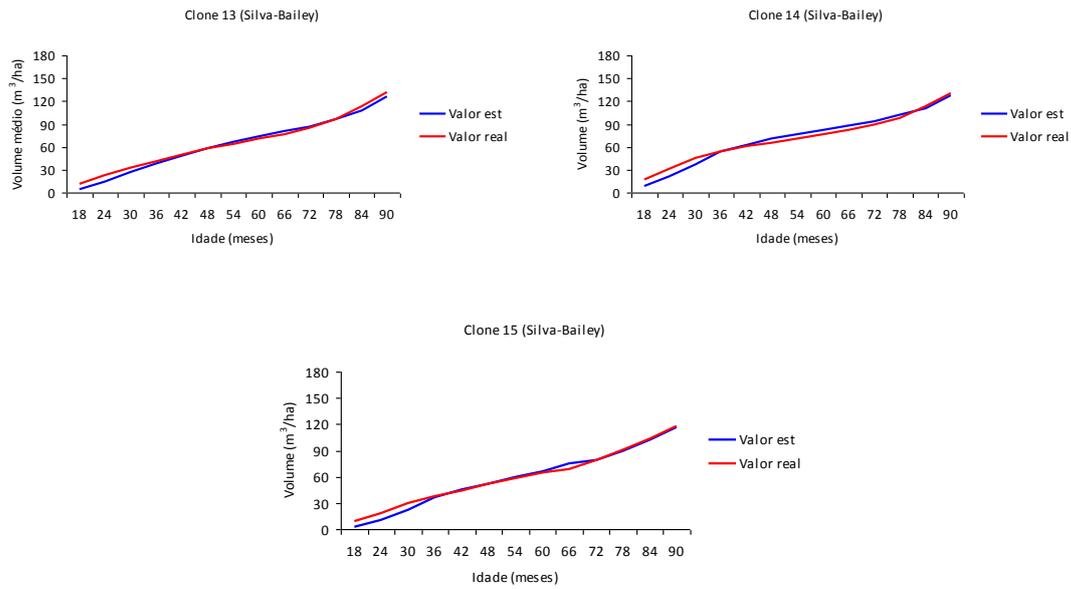


Figura 21. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Silva-Bailey para os clones 13, 14, e 15 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

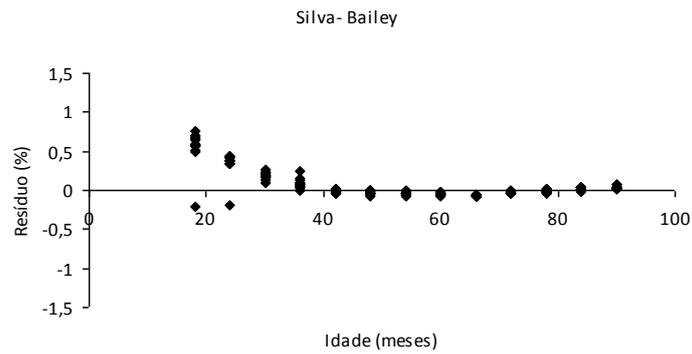


Figura 22 Distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Silva-Bailey para o grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

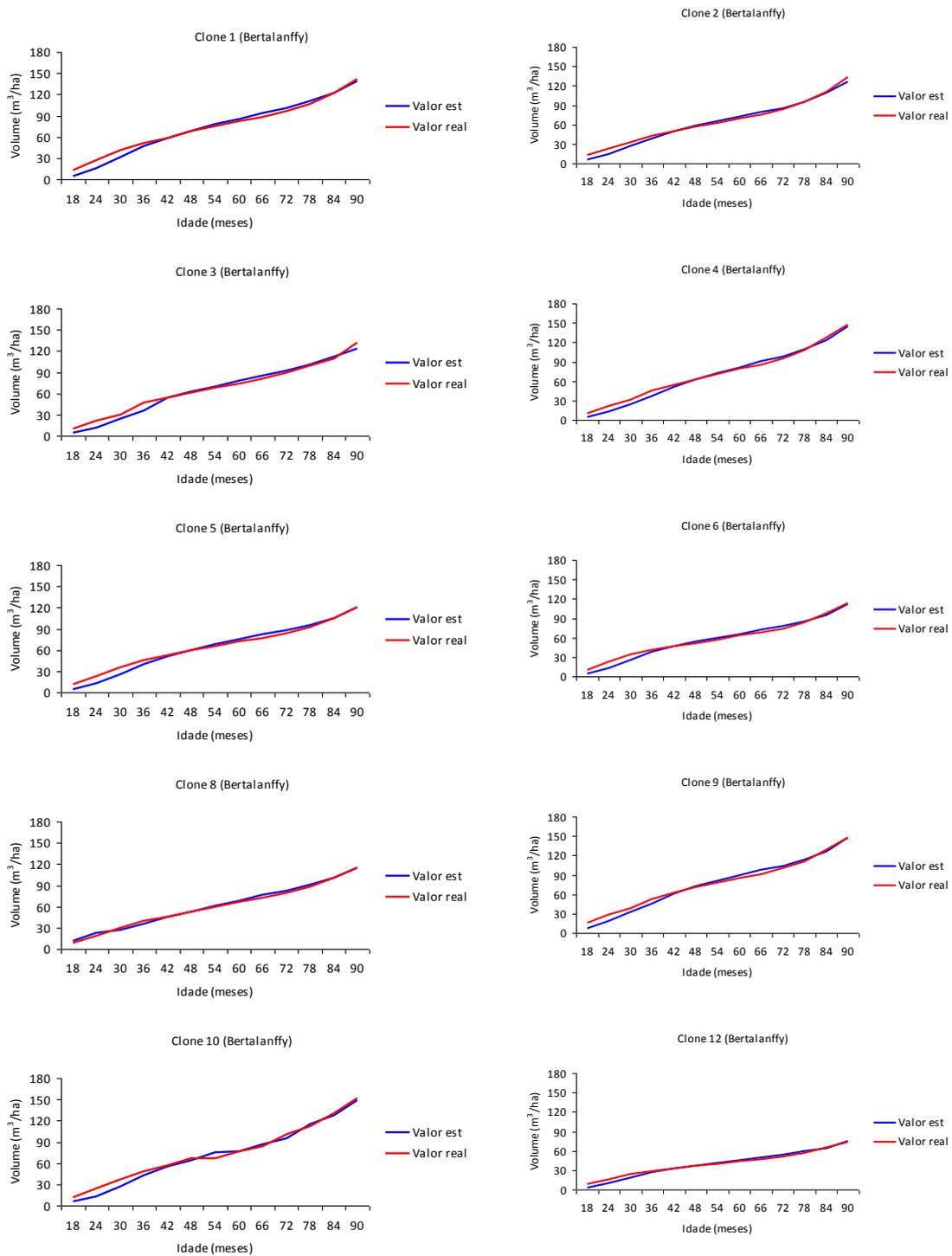


Figura 23. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Bertalanffy para os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 12 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

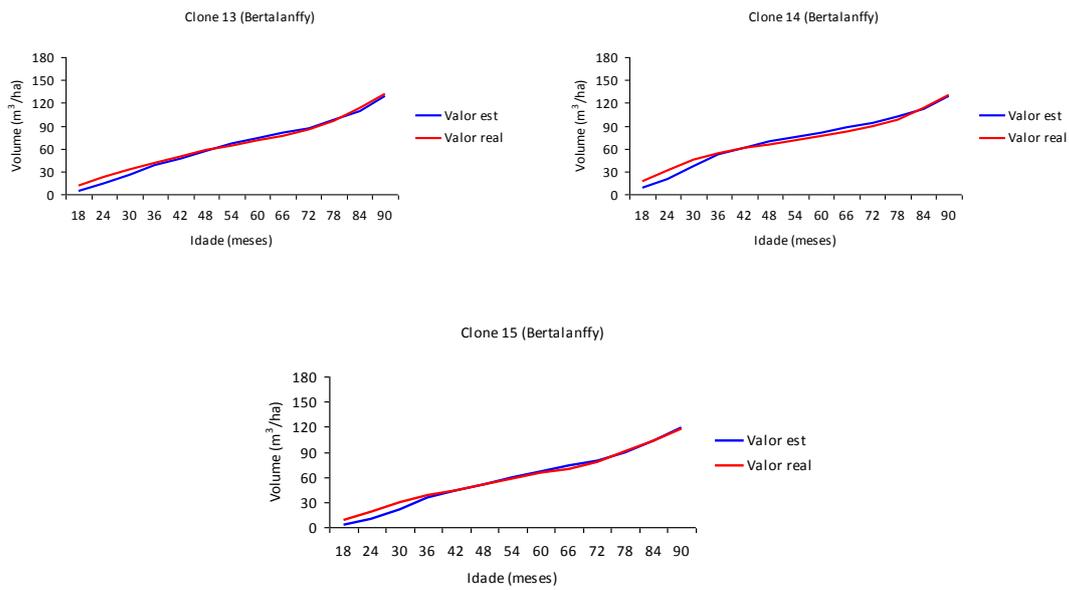


Figura 24. Curva de crescimento real e estimada pelo modelo de Bertalanffy para os clones 13, 14, e 15 do grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.

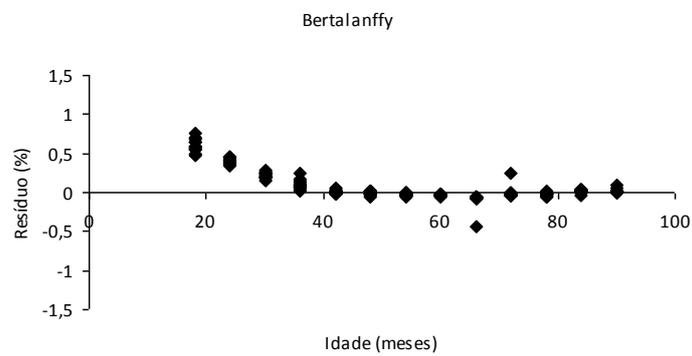


Figura 25 Distribuição gráfica dos resíduos do modelo de Bertalanffy para o grupo C de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe.