

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA/I
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – DEF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS

Modelagem do crescimento e da produção em plantios de
Pinus taeda L. na região Centro- Sul do Paraná

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Deborah de Souza Romaniuk

IRATI - PR
2015

DEBORAH DE SOUZA ROMANIUK

Modelagem do crescimento e da produção em plantios de
Pinus taeda L. na região Centro- Sul do Paraná

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Estadual do Centro-Oeste, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Florestais, área de
concentração em Manejo Florestal, para
obtenção do título de Mestre.

Prof^ª. Dr^a. Andrea Nogueira Dias
Orientadora

Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda
Coorientador

IRATI - PR
2015

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

R758m	<p>ROMANIUK, Deborah de Souza.</p> <p>Modelagem do crescimento e da produção em plantios de <i>Pinus taeda</i> L. na região Centro Sul do Paraná / Deborah de Souza Romaniuk. – Irati, PR : [s.n], 2015. 70f.</p> <p>Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Nogueira Dias</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda</p> <p>Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de Concentração : Manejo Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR.</p> <p>1. Engenharia Florestal – Dissertação. 2. Cubagem. 3. Modelo Clutter. 4. Tabelas de produção. 5. Modelos matemáticos. 6. Fundamentos biológicos. 7. Desbastes. I. Dias, Andrea Nogueira. II. Miranda, Gabriel de Magalhães. III. UNICENTRO. IV. Título.</p> <p>CDD 20 ed. 585.2</p>
-------	---



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997


PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

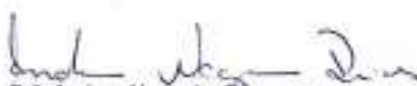
Defesa Nº 88

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir a mestrande **Deborah de Souza Romaniuk** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado **"MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO EM PLANTIOS DE PINUS TAEDA L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ"**, é de parecer favorável à APROVAÇÃO da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 30 de outubro de 2015.


Dr. Mauricio Romero Gorenstein
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Primeiro Examinador


Dr. Thiago Floriani Stepka
Universidade do Estado de Santa Catarina
Segundo Examinador


Dr. Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus o Autor da vida.

À UNICENTRO pela oportunidade.

À professora Andrea Nogueira Dias, pela orientação, paciência e incentivo ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Gabriel de Magalhães Miranda, pela coorientação.

Aos meus pais Paulo Silvério Romaniuk e Liana Marcia de Souza Romaniuk e minha irmã Marina de Souza Romaniuk, pelo apoio, incentivo e por acreditarem em mim.

Ao meu esposo Rafael Rossetto Rodrigues, por estar junto em todos os momentos.

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciências Florestais da UNICENTRO, pelos ensinamentos passados durante o curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À minha amiga Karina Henkel Proceke de Deus, por estar presente, ajudando desde a graduação.

À Milayne Ricly, ao Tiago Digner e a prof^a. Dr^a. Fabiane A. S. Retslaff que ajudaram grandemente na elaboração deste trabalho.

Ao Sr. Edvaldo Rabito e Sr^a. Rita proprietários da Empresa Centenário que abriram as portas para a realização do estudo.

Ao Elcio Kaspechak funcionário da empresa Centenário que gentilmente ajudou na coleta de dados.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE SIGLAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. O Pinus para o setor florestal brasileiro	19
3.2. Determinação da Capacidade Produtiva.....	21
3.3. Dados para Modelagem do Crescimento e da Produção.....	22
3.4. Análise de Tronco	23
3.5. Modelagem do crescimento e da produção	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1. Área de estudo.....	29
4.2. Fontes de dados	30
4.3. Classificação da capacidade produtiva.....	31
4.4. Ajuste dos modelos hipsométricos	32
4.5. Ajuste dos modelos volumétricos	33
4.6. Ajuste dos modelos de crescimento e produção	34
4.7. Construção das tabelas de produção	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. Modelos Hipsométricos.....	37
5.2. Modelos Volumétricos	39
5.3. CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE SÍTIO	41
5.4. Ajuste dos modelos de crescimento e produção	46
5.5. Construção das tabelas de produção	50
5.6. Simulações de desbaste	57
6. CONCLUSÕES	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos hipsométricos para testar a altura total	33
Tabela 2. Modelos volumétricos ajustados.....	33
Tabela 3. Modelos de crescimento e produção ajustados.....	34
Tabela 4. Resultados dos ajustes para os modelos hipsométricos testados para estimar a altura total para <i>Pinus taeda</i> L.....	37
Tabela 5. Resultados dos ajustes para os modelos de volume para <i>Pinus taeda</i> L.....	39
Tabela 6. Resultado do ajuste para o modelo de Schumacher.....	41
Tabela 7. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para <i>Pinus taeda</i> L. na região centro-sul do Paraná.	44
Tabela 8. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para <i>Pinus taeda</i> L. na região de Guamiranga.....	44
Tabela 9. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para <i>Pinus taeda</i> L. na região de Imbituva.	45
Tabela 10. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para <i>Pinus taeda</i> L. na região de Irati.....	45
Tabela 11. Resultados dos ajustes para os modelos de Crescimento e Produção.....	47
Tabela 12. Resultados dos ajustes para o modelo de área basal inicial.....	50
Tabela 13. Tabela de produção para índice de sítio (26 m), para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná.	51
Tabela 14. Tabela de produção para índice de sítio (22 m), para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná.	52
Tabela 15. Tabela de produção para índice de sítio (18 m), para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná.	53
Tabela 16. Tabela de produção para índice de sítio 26 m, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste aos 9 e aos 12 anos.....	58
Tabela 17. Tabela de produção para índice de sítio 22 m, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste aos 9 e aos 12 anos.....	59
Tabela 18. Tabela de produção para índice de sítio 18 m, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste aos 9 e aos 12 anos.....	60

Linhas em negrito correspondem às idades em que foram realizados os desbastes.....	60
Tabela 19. Tabela de produção para índice de sítio 18 m, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste na ITC aos 19 anos.....	62
Tabela 20. Tabela de produção para índice de sítio 22 m, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste na ITC aos 20 anos.....	63
Tabela 21. Tabela de produção para índice de sítio 18 m, para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste na ITC aos 21 anos.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Percentual da área de plantios florestais com Pinus por região (2012). Fonte: ABRAF.....	18
Figura 2. Localização da área de estudo.....	29
Figura 3. Distribuição gráfica de resíduos para os modelos hipsométricos testados	38
Figura 4. Distribuição gráfica de resíduos para os cinco modelos de volume individuais testados	40
Figura 5. Distribuição de resíduos para o modelo de Schumacher para estimar sítio.....	41
Figura 6. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para o conjunto dos dados.....	42
Figura 7. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para a região de Guamiranga	42
Figura 8. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para a região de Imbituva.....	43
Figura 9. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para a região de Irati	43
Figura 10. Distribuição de áreas dos projetos do cadastro florestal classificados conforme as tabelas de limites de classes de sítio.....	46
Figura 11. Distribuição gráfica de resíduos para o modelo 1 de Crescimento e Produção	48
Figura 12. Distribuição gráfica de resíduos para o modelo 2 de Crescimento e Produção de Schumacher	48
Figura 13. Distribuição gráfica de resíduos para a área basal do modelo de Crescimento e Produção de Clutter	49
Figura 14. Distribuição gráfica de resíduos para o Volume do modelo de Crescimento e Produção de Clutter.	49
Figura 15. Curvas de produção em volume (m^3/ha) para os três sítios considerados.	54
Figura 16. Curvas de produção em área basal (m^2/ha) para os três sítios considerados. ...	54
Figura 17. Gráficos elaborados para verificação do modelo de Clutter com base na condicionantes biológicas I (a), II (b) e III (c).	56
Figura 18. Validação dos resultados – Produção estimada x Produção observada	57
Figura 19. Curvas de produção em volume (V) com simulação de desbastes aos 9 e 12 anos para os três sítios considerados.	61

Figura 20. Curvas de produção em área basal (G) com simulação de desbastes aos 9 e 12 anos para os três sítios considerados.	61
Figura 21. Curvas de produção em volume (V) com simulação de desbastes na ITC para os três sítios considerados.	65
Figura 22. Curvas de produção em área basal (G) com simulação de desbastes na ITC para os três sítios considerados.	65

LISTA DE SIGLAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

Cfb - Subtropical úmido mesotérmico

DAP – Diâmetro à altura do peito

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

ICA - Incremento corrente anual

IFC - Inventário florestal contínuo

IMA - Incremento médio anual

IP- Incremento periódico

IPA - Incremento periódico anual

ITC – Idade técnica de corte

R^2_{ajust} - Coeficiente de determinação ajustado

S_{yx} - Erro padrão da estimativa

$S_{yx}\%$ - Erro padrão da estimativa relativo

RESUMO

Deborah de Souza Romaniuk. Modelagem do crescimento e da produção em uma floresta de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do Paraná.

O presente trabalho teve por objetivo realizar o ajuste de modelos matemáticos por meio de dados obtidos pela cubagem de árvores e inventários periódicos para gerar as equações que melhor representem o crescimento e a produção futura dos plantios de uma empresa localizada na região centro-sul do Paraná. A base de dados é composta por plantios de *Pinus taeda* com espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 metros, implantados no ano de 1996. Inicialmente utilizou-se como parâmetros iniciais os dados provenientes de inventário florestal realizado pela empresa nos 214,30 hectares plantados. Agrupados em classes de sítio pelo modelo de Schumacher e o método da curva guia em cada região foi realizada uma estratificação em classes de diâmetro pelo método de Sturges para a seleção das árvores amostradas para a cubagem. Foram medidos os diâmetros na base e a 1,30 m do solo, e em seções relativas de 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% de sua altura total. Foram ajustados modelos para a obtenção das alturas e volumes, e estes dados foram utilizados para a realização da modelagem do crescimento e produção, por meio do ajuste de modelos matemáticos disponíveis na literatura para a modelagem em nível de povoamento. O ajuste dos modelos foi realizado avaliando-se o Coeficiente de Determinação Ajustado e o Erro Padrão de Estimativa, além dos gráficos de distribuição de resíduos. O modelo de produção de Clutter mostrou-se o mais adequado para a obtenção das estimativas de volume e área basal, fornecendo valores coerentes do ponto de vista estatístico e biológico; As tabelas de produção com simulação de desbastes demonstraram o potencial do modelo de crescimento e produção de Clutter para povoamentos desbastados.

Palavras chave: Cubagem, modelo de Clutter, tabelas de produção, modelos matemáticos, fundamentos biológicos, desbastes.

ABSTRACT

Deborah de Souza Romaniuk. Modeling of growth and production in a forest of *Pine taeda* L. Imbituva, PR

This study aimed to make the adjustment of mathematical models using data obtained by scaling trees and periodic inventories to generate the equations that best represent the growth and future production of the plantations of a company located in the south central region of Parana . The database is made up of pine plantations taeda with initial spacing of 3.0 x 2.0 meters deployed in the year 1996. Initially it was used as initial parameters data from forest inventory carried out by the company in 214.30 hectares. Grouped into site classes by the model of Schumacher and the method of curved guide in each region stratification was held in diameter classes by Sturges method for selecting the trees sampled for scaling. Diameters were measured at the base and 1.30 m above the ground, and in sections on 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% and 95% of its total height . Models were adjusted for obtaining heights and volumes, and these data were used to carry out the modeling of the growth and yield by adjusting the mathematical models available in the literature for modeling settlement level. The adjustment of the models was performed evaluating the adjusted coefficient of determination and standard error of estimate, plus waste distribution graphs. The Clutter production model was the most suitable for obtaining estimates of the volume and basal area, providing consistent values of statistical and biological point of view; Production tables with thinning simulation showed the model of growth potential and production Clutter for thinned.

Keywords: Cubing, Clutter model, production tables, mathematical models, biological foundations.

1. INTRODUÇÃO

O plantio de florestas no Brasil é uma atividade econômica importante e com grande impacto no campo social. Conforme a ABRAF 2015 o estado do Paraná possui a maior área de florestas plantadas de Pinus, totalizando 619.731 ha, ou seja, 39,7% da área plantada total do Brasil. É indiscutível a importância desse gênero nesse Estado, que representa 75,8% de toda a madeira empregada na indústria. Este gênero reúne uma série de características desejáveis em seu plantio, manejo e utilização futura da madeira, dentre as quais pode-se destacar a rusticidade, rápido crescimento, resistência a geadas e múltiplos usos de sua madeira (SCHIMIZU, 2010).

Diante disso, tem-se um dos objetivos do gestor florestal que é suprir a demanda da indústria com fluxo contínuo de produtos e serviços florestais, não necessariamente, relacionados apenas com a implantação e manutenção das florestas, mas também, de acordo com as características edáficas, biológicas e paisagísticas da floresta e para atender esta demanda, é do interesse de qualquer administrador conseguir quantificar e prognosticar, com confiabilidade, o estoque de suas florestas. A quantificação do crescimento e da produção consiste em uma condição essencial para definir a utilização dos bens advindos da floresta, além de fornecer informações que subsidiam a tomada de decisões para a maioria das atividades ligadas ao setor.

Com o aumento de empresas deste setor, estas optam cada vez mais por plantios com espécies de rápido crescimento como uma alternativa de investimento. Várias espécies são cultivadas para diferentes propósitos, visando atender à demanda por diversos produtos florestais.

A utilização de uma ferramenta simplificada que permita a obtenção de valores precisos do volume de madeira de uma espécie é essencial para a gestão dos maciços florestais e para seu ordenamento sustentável. Em áreas de reflorestamentos, qualquer sistema de manejo necessitará da estimação precisa dos estoques de madeira correntes e futuros, seja para produção de celulose, carvão ou lenha. Para isto, utiliza-se nas estimativas e prognoses de produção madeireira o uso de equações volumétricas e de capacidade produtiva, constituindo um procedimento eficiente para a quantificação da produção em volume e da qualidade de sítio em um povoamento florestal.

O emprego da modelagem do crescimento e da produção, auxilia na tomada rápida de decisões, ou seja, no planejamento florestal. Ao utilizar os sistemas de prognose do

crescimento e produção, o profissional terá condições de definir, antecipadamente, o momento do desbaste, se este for um dos objetivos do empreendimento, a rotação econômica ótima, o planejamento das atividades de colheita e prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, que visem à qualidade do produto final.

Os modelos utilizados na área florestal podem ser classificados em três categorias, segundo Clutter *et al.* (1983): (1) sistema de produção explícita, em que, as soluções das equações (ou equação) fornecem estimativas do volume por unidade de área; (2) sistemas de produção implícita, ou modelos de distribuição diamétrica, que fornecem informações mais detalhadas do povoamento; e (3) modelos de árvores individuais, de uso mais recente e metodologia ainda em desenvolvimento. Os modelos em nível de povoamento são, atualmente, os mais utilizados pelas empresas florestais que cultivam espécies exóticas de rápido crescimento, destacando-se o modelo de Clutter.

Diante do exposto, torna-se evidente a importância do tema no estudo da modelagem do crescimento e da produção para plantios de *Pinus taeda* L.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Modelar o crescimento e a produção em nível de povoamento para *Pinus taeda* L. localizados na região Centro Sul do estado do Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- Ajustar modelos hipsométricos;
- Ajustar modelos volumétricos;
- Construir curvas de índices de sítio e tabelas de limites de altura dominante separadamente por regiões e contemplando todos os dados;
- Ajustar modelos Globais de Crescimento e Produção;
- Construir tabelas de produção para os dados sem considerar desbastes e com simulação de desbastes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A história do Brasil sempre esteve ligada à floresta. No entanto, a relação do homem com a floresta e seus recursos foi, desde o princípio, predatória. Fruto da adoção de um modelo equivocado de desenvolvimento rural, o desenvolvimento do setor florestal brasileiro tem sido comprometido por práticas irracionais de manejo não sustentáveis, que prejudicam o meio ambiente, provocam o desmatamento e ameaça comprometer o desenvolvimento econômico e social do país a médio e longo prazos, pela redução das vantagens comparativas que o tornam competitivo no mercado interno e externo (BRDE, 2003).

A introdução de espécies exóticas como o pinus e o eucalipto, no Brasil torna-se como alternativa para a economia, uma vez que estas espécies são de rápido crescimento, e hoje são espécies que tem a sua silvicultura consolidada, ou seja, as técnicas de manejo estão bem desenvolvidas, necessitando de algumas alternativas para melhorar ainda mais a produção.

Segundo ABRAF (2013), a área plantada com Pinus no Brasil (1.562. 782 ha) está concentrada principalmente na região Sul do país (84,7%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira, conforme mostrado na Figura 1. E o estado do Paraná é o maior produtor do gênero, com 39,7% da área total, e em seguida vem Santa Catarina, com 34,5% da área total.

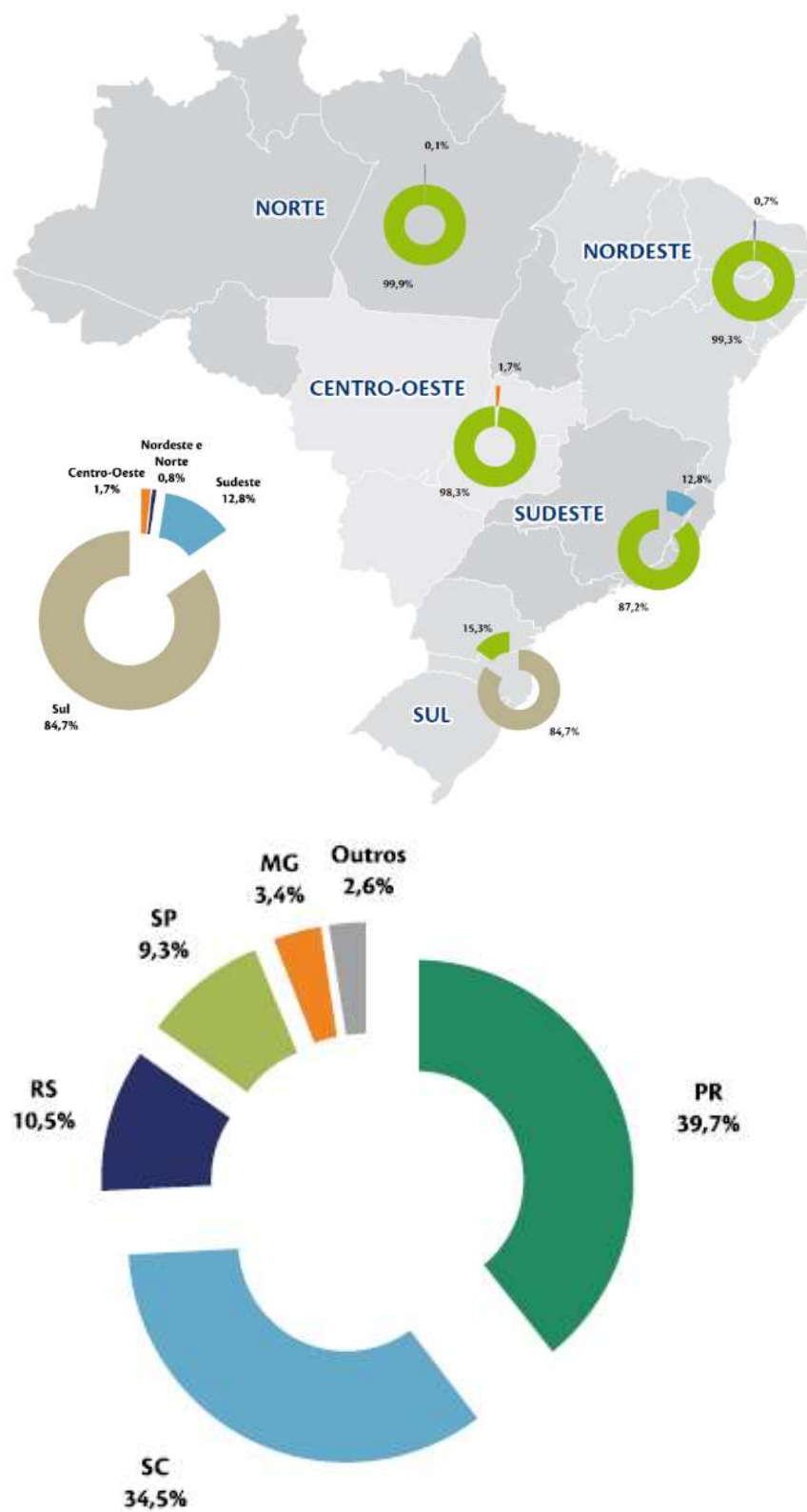


Figura 1. Percentual da área de plantios florestais com Pinus por região (2013). Fonte: ABRAF.

3.1.O Pinus para o setor florestal brasileiro

O *Pinus taeda* é oriundo das planícies adjacentes ao Golfo do México e da Costa Atlântica ao Sudeste dos Estados Unidos e, em geral, cresce em locais com altitude de até 800 m, sendo a espécie madeireira mais importante, abundante, amplamente adaptada e distribuída do sul dos Estados Unidos (DORMAN, 1976).

No Sul do Brasil é cultivado nas terras mais altas da Serra Gaúcha e do Planalto Catarinense (KRONKA et al., 2005). A sua madeira é indicada principalmente para construções, móveis e caixotaria. Os traqueídeos são longos e adequados à fabricação de papel. Além disso, essa espécie pode também ser explorada para a produção de resina (MARCHIORI, 1996).

Segundo SCHIMIZU, 2010 esta espécie é conhecida por reunir uma série de características desejáveis em seu plantio, manejo e utilização futura da madeira, dentre as quais, pode-se destacar:

- Rusticidade, o que garante um baixo investimento inicial, por não exigir um solo muito fértil e nem nenhuma adubação inicial, e mesmo assim apresentando baixos índices de mortalidade inicial, baixa concorrência com espécies daninhas diversas, e baixa suscetibilidade a pragas e doenças;
- Rápido crescimento, comparando a sua produtividade com sua região de origem, ou outras espécies coníferas similares nativas, como o Pinheiro-do- Paraná (*Araucaria angustifolia*), apresenta quase o dobro da sua produção anual;
- Resistência a geadas, muito frequentes e severas na região sul do Brasil, que acabam dizimando povoamentos inteiros adultos de espécies mais suscetíveis;
- Múltiplos usos de sua madeira, pode ser utilizada na geração de energia, fabricação de celulose, produção de madeira serrada, chapas de fibras e partículas como MDF, OSB, e aglomerados, chapas de madeira laminada (compensados) e faqueados, entre outros.

As florestas plantadas com o gênero *Pinus* no sul do Brasil foram estruturadas a partir dos incentivos fiscais oferecidos pelo governo, nos anos de 1960 e 1970 até 1987. Siqueira (2003) relatou que a criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, em 1967, surgiu da necessidade crescente de regulamentação do Setor Florestal,

sendo uma das principais responsabilidades do novo órgão o gerenciamento do programa de incentivos fiscais para o reflorestamento, instituído pela Lei 5.106, de 1966. Seu principal objetivo era a formação de uma base de matéria prima florestal com um produto de rápido crescimento e que pudesse reduzir a pressão sobre as espécies florestais nativas, cada vez mais cobiçadas e exploradas indiscriminadamente.

Estes incentivos acabaram por alavancar a oferta de toras desta madeira e o consequente consumo nas mais variadas utilizações, tais como papel e celulose, madeira serrada, laminada, entre outras, representando uma alternativa importante para a produção de matéria-prima da indústria florestal brasileira. Alves *et al.* (2006) afirmam que as áreas reflorestadas com o gênero *Pinus* no Brasil ocupavam na época uma área de 1,8 milhões de hectares, representando cerca 38,6% das plantações existentes no país. Dados mais recentes, porém, apontam para uma área total plantada de 1.562.782 hectares em 2012, com um percentual de 39,7% do total das florestas plantadas. (ABRAF, 2013).

Gonçalves (2004) afirma que as condições climáticas da região Sul do Brasil são favoráveis ao cultivo de *Pinus taeda* L., contribuindo para que o desenvolvimento da formação da floresta seja mais rápido do que no Canadá e Estados Unidos. Isto significa que, com cerca de 25 anos, consegue-se realizar um ciclo completo desta cultura com obtenção de madeira para fins mais nobres como, por exemplo, a laminação.

O sistema de manejo mais empregado atualmente visa à produção de madeira para múltiplos usos, geralmente priorizando a produção de toras de grandes dimensões para emprego em processamento mecânico (serraria e laminação). Espaçamentos mais amplos geralmente são adotados, como 2,5 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m até 4,0 m x 4,0 m. Dada a necessidade de madeira de qualidade, podas são feitas para a obtenção da madeira livre de nós, normalmente uma nas idades de 3 a 4 anos em todas as árvores, e outra aos 7 ou 8 anos simultaneamente com o primeiro desbaste (somente nas árvores remanescentes). (SANQUETTA, 2002).

Porém, a rotação tem diminuído nos últimos anos, devido à valorização atual da madeira de pequenos diâmetros, visando seu uso nos setores de energia, papel e celulose e processamento da madeira, devido ao crescimento do setor de siderurgia, grande consumidor de carvão vegetal, indústrias papeleiras e indústrias moveleiras (ABRAF, 2013).

3.2.Determinação da Capacidade Produtiva

Segundo Clutter *et al.* (1983), no contexto do manejo florestal, a qualidade de sítio pode ser definida como o potencial de produção de madeira de um local para uma determinada espécie. Estes autores afirmam que os procedimentos baseados na altura das árvores são os mais utilizados para avaliação da capacidade produtiva.

Segundo Rodrigues (1997), o conhecimento da capacidade produtiva torna-se relevante ao gerenciamento florestal, principalmente na determinação de unidades homogêneas para manejo, na determinação de regimes ótimos de corte e na modelagem do crescimento e da produção, por serem estas variáveis muito importantes nos processos de decisões.

Para a construção de curvas de índice de local, normalmente, utiliza-se dados de altura dominante e idade. Estes podem ser obtidos a partir de três fontes: parcelas temporárias, parcelas permanentes e análise de tronco. Segundo Campos e Leite (2006), quando possível, as parcelas temporárias devem ser evitadas, já que resulta em classificação eficiente somente com a aceitação da hipótese de que todos os índices de local estejam representados em todas as classes de idade da população. Se essa hipótese ou pressuposição não for verdadeira, a classificação pode ser tendenciosa.

Scolforo (1993) cita que o sítio é considerado a segunda variável independente nos estudos de crescimento e produção, sendo a idade, mais importante e sua determinação uma prática comum no manejo florestal para classificar os povoamentos equiâneos segundo sua capacidade produtiva.

Em geral, a classificação da capacidade produtiva no Brasil é baseada na relação da altura dominante e idade, representada pela média aritmética das alturas das 100 árvores com maior diâmetro por hectare (ASSMAN, 1961).

As curvas de índice de sítio constituem-se atualmente no método mais prático e difundido para classificar a produtividade florestal, uma vez que utilizam a variável altura dominante que é a resposta aos fatores ambientais inter-relacionados, sendo altamente correlacionada com a produção volumétrica, e não sofrendo a influência dos tratamentos silviculturais e da competição (TONINI, 2002).

Schneider e Schneider (2008) citam que a densidade do povoamento é outro fator importante para a determinação da produtividade de um local, sendo, no entanto, um fator que o silvicultor pode manejar durante o seu desenvolvimento.

Ferraz Filho (2009) cita que o modelo de sítio é considerado a chave para todo sistema de prognose, tendo em vista que é por meio dele que se poderão separar as áreas em diferentes classes de produtividade e, assim identificar diferentes tendências de crescimento.

As curvas de índice de sítio, porém, normalmente são utilizadas com propósito ilustrativo (CAMPOS e LEITE, 2009). Estes autores ainda citaram que uma forma mais precisa e eficiente de classificação consiste no emprego de uma tabela contendo os limites de alturas dominantes para cada sítio ou classe de capacidade produtiva.

3.3.Dados para Modelagem do Crescimento e da Produção

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), a maioria dos trabalhos de inventário florestal é feita por amostragem. Com a tomada de um conjunto de amostras, porção da população que é efetivamente mensurada, obtêm-se os estimadores da população. Vários processos de amostragem tratam da forma de abordagem da população sobre o conjunto de unidades amostrais, divididos em aleatórios, sistemáticos ou mistos.

Na amostragem aleatória ou casual, todas as unidades amostrais são sorteadas segundo critérios probabilísticos (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997), e todas as n unidades da população têm as mesmas chances de serem selecionadas. Na amostragem sistemática, a seleção das amostras segue um esquema rígido de seleção, cobrindo toda a extensão da população (SOARES *et al.*, 2006), e somente a primeira é selecionada aleatoriamente, a partir da qual todas as demais são automaticamente selecionadas e distribuídas na população em estudo. Outro processo é o misto, com mais de um ponto aleatório e sequência sistemática de seleção (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Porém, enquanto em inventários florestais o primeiro objetivo é estimar a média, em estudos de crescimento e produção o objetivo é estimar coeficientes de regressão (CAMPOS e LEITE, 2009).

De acordo com Campos e Leite (2009), as parcelas permanentes constituem a fonte de dados mais eficiente para a construção de modelos de crescimento e produção. No entanto, se as parcelas não forem representativas da população em foco, a estimativa do crescimento pode ser tendenciosa. Ainda conforme estes autores, quando as parcelas permanentes são oriundas de um inventário florestal contínuo, o crescimento é monitorado pela remedição de uma rede de parcelas estabelecidas em diferentes tipos de povoamentos florestais. A remedição constante das mesmas árvores permite, após certo período de tempo, obter informações detalhadas do desenvolvimento do povoamento.

Já as parcelas temporárias e os delineamentos experimentais são pouco eficientes para fins de estudos de modelagem, por não detectarem exatamente as diferenças de crescimento (CAMPOS e LEITE, 2009).

3.4. Análise de Tronco

Uma alternativa é a utilização da análise de tronco, visando estudar o crescimento e a produção do povoamento. Esta técnica também possui algumas limitações, como não garantir a medição da mortalidade, não contabilizar o efeito de tratamentos artificiais, como o desbaste, e só se aplicar a espécies onde existe a formação anual dos anéis de crescimento. Porém, se contornadas estas dificuldades, a ANATRO como também é conhecida, pode se constituir numa importante ferramenta para o estudo da produção futura de um plantio, pois com a seleção de apenas algumas árvores representativas do povoamento, consegue-se obter uma extensa base de dados referente a toda a vida da árvore, reconstituindo todo o seu crescimento ao longo dos anos, de uma maneira rápida e com um custo significativamente menor do que quando comparado a um inventário florestal contínuo.

3.5. Modelagem do crescimento e da produção

3.5.1. Crescimento e Produção

Segundo Scolforo (1998), o crescimento de uma árvore ou de um povoamento é o mais importante fenômeno na floresta, e consiste no alongamento e engrossamento das raízes, troncos e galhos, influenciando seu peso, volume e forma.

Os termos crescimento, incremento e produção florestal definem diferentes aspectos da dinâmica de desenvolvimento de uma árvore ou de uma floresta. O crescimento refere-se à mudança dimensional da variável de interesse (altura, diâmetro) de uma árvore. A diferença numérica entre estas medições expressa o crescimento (KOEHLER, 2009).

O incremento refere-se ao que cresce em uma árvore em um determinado período sucessivo de tempo. Portanto, medidas sucessivas são necessárias para obter-se tal valor, considerando a mudança de tamanho no início e no fim do período analisado. Por sua vez, a produção de uma floresta é o resultado do crescimento da árvore em tamanho, peso e volume (KOEHLER, 2009).

A produção total é representada pela produção acumulada dos desbastes, quando houver, mais a produção que existe no povoamento numa determinada idade. Ela pode ser ajustada como sendo uma função da idade, altura dominante e/ou altura da árvore de área basal média, como utilizaram inúmeros autores (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Desta forma, resultam os termos mais usuais em relação ao crescimento florestal: incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA), incremento periódico (IP) e incremento periódico anual (IPA) (CAMPOS e LEITE, 2009). Estes autores também citaram que a função de crescimento é obtida ao se derivar a função de produção, e a integral da função de crescimento gera a função de produção. A curva de crescimento e produção tem quatro elementos básicos: origem igual a zero, um ponto de inflexão, um ponto de máxima tangência e uma assíntota, descrevendo uma forma sigmoide com esses quatro elementos (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

O crescimento é comumente expresso em termos de unidades de volume, que são mais fáceis de medir e certamente as mais demandadas. No entanto, o manejo objetivando simplesmente a produção em volume, muitas vezes, não é suficiente, pois as condições de crescimento podem afetar profundamente as propriedades físicas e químicas da madeira e,

consequentemente, a sua utilização para vários usos. A mensuração do crescimento em termos de unidade de volume é o primeiro e imediato problema, sendo a transformação em unidade de valor o passo final necessário (DAVIS, 1966). O mesmo autor ainda comentou que a qualidade do sítio determina a quantidade de madeira que uma área pode produzir, e o estoque florestal mede a extensão em que a capacidade produtiva de um sítio florestal está sendo utilizada no crescimento das árvores em um determinado momento.

Para se avaliar a produtividade futura de um povoamento, é necessário conhecer o seu crescimento. Segundo Caraglio e Barthelemy (2003), o crescimento de uma árvore pode ser considerado de diversas maneiras, em função do tipo de órgão ou do nível de organização considerado. Em estudos florestais geralmente considera-se crescimento do tronco, avaliando-se, muitas vezes em conjunto, o crescimento primário (altura) e o crescimento secundário (diâmetro).

Existem inúmeros modelos de crescimento e produção encontrados usualmente na literatura, variando desde simples equações que expressam a produção por unidade de área em função da idade, sítio e densidade do povoamento, até complexos sistemas de equações que simulam o crescimento individual das árvores de um povoamento, em função de suas próprias características e de árvores vizinhas, inclusive considerando a distância entre estas (CLUTTER *et al.*, 1983).

Schneider e Schneider (2008) afirmam que, excluindo os valores extremos de densidade no longo prazo, o incremento total em volume não varia muito em diferentes níveis de densidade, confirmando a prerrogativa de que o espaçamento inicial de um plantio não influencia na produção total de madeira.

A quantificação do crescimento e da produção consiste em uma condição essencial para definir a utilização dos bens advindos da floresta, além de fornecer informações que subsidiam a tomada de decisões para a maioria das atividades ligadas ao setor (ABREU, 2000).

Mainardi *et al.* (1996) afirmam que as empresas que possuem plantações florestais estão a todo momento atentas às diferentes mudanças de tendência do mercado consumidor, e consequentemente efetuando cálculos variados e prognoses relacionadas à quantidade e qualidade de madeira que possuem ou virão a possuir em suas florestas.

De posse de todos estes conhecimentos, os empresários do setor florestal brasileiro devem estar sempre buscando novas técnicas capazes de permitir a obtenção de vários dos diferentes produtos oriundos da madeira, em quantidade suficiente, mas, sobretudo com a qualidade necessária para atender às necessidades do mercado a médio e longo prazo.

Nesse contexto, é de grande importância a utilização de um planejamento florestal adequado e ordenado para que os povoamentos florestais possam ser utilizados dentro de sua máxima capacidade produtiva (TEMPS, 2005).

Acerbi *et al.* (2002) consideram que, para as empresas do setor florestal brasileiro vislumbrarem as promissoras perspectivas de médio e longo prazos para o mercado mundial de produtos florestais, é imprescindível que exista um planejamento criterioso da produção, ou seja, é necessária a adoção de regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, e que visem prioritariamente a qualidade do produto final.

3.4.2 Modelos de prognose do crescimento e produção

A compreensão e a predição do crescimento das árvores em um povoamento florestal vêm sendo tema de grande interesse por profissionais que atuam na pesquisa e na gestão dos recursos florestais. Para esses, a modelagem vem se constituindo em uma ferramenta de grande valia, pois pode sintetizar conhecimentos, identificar gargalos e fronteiras a serem rompidas, e projetar o crescimento florestal através de funções probabilísticas, matrizes de transição e processos de difusão (MAESTRI *et al.*, 2003).

Segundo Oliveira (2007), uma metodologia para construir um modelo de crescimento e produção envolve a definição do problema, a obtenção de dados, a construção do modelo matemático, a aplicação de testes de validação do modelo e sua aplicação. Este autor ainda citou que a maioria dos modelos de crescimento e produção ajustados a partir da década de 1980 até 2007, foram modelos compatíveis, do tipo povoamento total e de densidade variável. Os modelos compatíveis baseiam-se na premissa de que existe uma relação de derivação-integração entre as funções de crescimento e funções de produção para área basal e para volume do povoamento (SULIVAN e CLUTTER, 1972).

Clutter *et al.* (1983) classificam os modelos de prognose da produção em três tipos: sistema de produção explícita ou modelos em nível de povoamento, em que, as soluções das equações (ou equação) fornecem estimativas do volume por unidade de área; sistemas de produção implícita, ou modelos de distribuição diamétrica, que fornecem informações mais detalhadas do povoamento e modelos de árvores individuais. Para os primeiros, as

variáveis mais comuns são a idade, o sítio e uma medida qualquer de densidade. Para os modelos por classe diamétrica, devem-se agregar variáveis como, por exemplo, o diâmetro mínimo, diâmetro máximo e o diâmetro médio quadrático. Já para os modelos para árvores individuais, além das variáveis listadas, tornam-se fundamentais os índices que expressam a competição entre as árvores.

Nesta pesquisa foi utilizado um modelo pertencente ao sistema de produção explícita, ou seja, um modelo que estima a produção por unidade de área. Desta forma, apenas os conceitos e aplicações relativos a este tipo de modelo, foram abordados.

Modelos pertencentes ao sistema de produção explícita são também denominados de modelos do tipo povoamento total. Segundo Vanclay (1994), estes são modelos de crescimento e produção, nos quais a unidade básica de modelagem são parâmetros do povoamento, como a área basal, alguma medida do grau de utilização da área por árvores, ou seja, a densidade volume e parâmetros caracterizando a distribuição diamétrica.

O modelo de crescimento e produção do tipo povoamento total mais difundido no Brasil é o modelo de Clutter. Os mesmos autores, destacam as cinco características do modelo: (1) é do tipo povoamento total porque a variável estimada é o volume por unidade de área; (2) é do tipo densidade variável, permitindo estimar a produção para diferentes níveis de área basal inicial; (3) tem característica compatível, pois a equação de crescimento quando integrada fornece a equação de produção e a derivada desta resulta na equação de crescimento; (4) trata-se de um modelo explícito, porque a produção em volume é calculada diretamente; e (5) é consistente, porque as estimativas podem ser obtidas projetando-se a área basal ano a ano, ou diretamente de um para qualquer outro ano, com intervalos irregular e se, ainda, porque ao estimar a produção para uma mesma idade, resulta em valores idênticos àqueles observados (CAMPOS e LEITE, 2009).

Muitos pesquisadores empregaram modelos do tipo global, dentre os quais pode-se citar WOLFF II (2012), que empregou o modelo de Clutter para modelar o crescimento e a produção em nível de povoamento para *Pinus taeda* L. empregando dados provenientes da análise de tronco completa (ANATRO) localizados na região Centro Sul do estado do Paraná. MIRANDA (2012) utilizou o modelo de Clutter para modelar o crescimento e a produção em povoamentos de *Eucalyptus* sp. considerando áreas estratificadas por classes de precipitação pluviométrica. NASCIMENTO (2010) empregou o modelo de Clutter para modelar o crescimento e a produção de florestas plantadas com o gênero *Pinus* para subsidiar o planejamento florestal. Castro (2007) que empregou a função logística para estimar os coeficientes de produção em um modelo de regulação florestal com restrições de

adjacência. Dias *et al.* (2005) empregaram o modelo de Clutter para avaliar economicamente diferentes modalidades de cenários considerando as variações de idade e intensidades de desbaste, índice de local, taxas de juros, preços de madeira e idades de corte final. Rodrigues (1997) empregou o modelo para obter as estimativas dos coeficientes de um modelo de planejamento florestal.

Modificações também foram propostas ao modelo de Clutter. Soares *et al.* (2006) sugeriram incluir no modelo a variável altura média das árvores. Esta modificação apresentou maior precisão que o modelo de Clutter original. Oliveira (2007) testou o modelo de Clutter e algumas modificações para a prognose de povoamentos de eucalipto, sendo que uma delas mostrou-se mais eficiente que o modelo original. Soares *et al.* (2006) propuseram uma modificação ao modelo que inclui uma variável representando a precipitação anual, sendo que esta foi significativa ao nível de 5% de probabilidade.

O modelo de Clutter também foi aplicado em povoamentos de eucalipto com desbaste. Dias *et al.* (2005a) utilizaram o modelo para determinar a idade técnica de corte para diferentes intensidades de desbaste. Dias (2000) avaliou a eficiência do modelo, além de realizar análise econômica de diferentes intensidades de desbaste. Dias *et al.* (2005b) realizou uma avaliação econômica considerando as variações de idade e intensidades de desbaste, índice de local, taxas de juros, preços de madeira e idades de corte final.

Apesar de aplicado a povoamentos desbastados, o modelo de Clutter não diferencia tendências de crescimento pós-desbaste. Desta forma, estudos foram conduzidos visando avaliar esta característica do modelo. Dias (2005) avaliou a eficiência do modelo de Clutter e modificações do mesmo para descrever tendências de crescimento e produção pós-desbaste em povoamentos de eucalipto. Apesar do modelo original ter apresentado limitações para projetar o crescimento pós-desbaste, uma das modificações proposta foi apontada para descrever eficientemente as tendências de crescimento antes e após o desbaste. Gorgens *et al.* (2007) em estudo com povoamentos desbastados de eucalipto, concluíram que o modelo de Clutter em sua forma original pode ser usado sem prejuízo para a simulação de desbastes, mesmo não diferenciando tendências de crescimento.

É uma empresa do ramo florestal voltada para a produção e utilização da madeira dentro da própria empresa, com um pequeno percentual de venda de madeira em toras. Seu regime de manejo atual possui o objetivo final de produzir toras de grandes dimensões e múltiplos uso.

A empresa possui o mapeamento georreferenciado atualizado de seus imóveis e reflorestamentos em meio digital, ferramenta de grande valia no seu planejamento estratégico.

4.2. Fontes de dados

4.2.1. Parcelas permanentes

Os dados utilizados são provenientes de povoamentos florestais pertencentes à empresa, localizados nos municípios de Irati, Imbituva e Guamiranga, localizados na região Centro Sul do estado do Paraná, compostos pela espécie *Pinus taeda* L, implantados entre os anos de 1991 e 2012, com espaçamento inicial com 3,0 x 2,0 metros.

A partir do ano de 1996, a empresa realizou a instalação de parcelas permanentes retangulares de 20 x 30m com área amostral de 600,00m² em todos os talhões, sendo 25 talhões, em cada talhão foram implantadas 5 parcelas dispostas aleatoriamente. As parcelas foram medidas anualmente a partir de 1997. Na ocasião, a primeira medição ocorria por volta de 5 anos.

Destas parcelas, foram selecionadas para compor a base de dados deste estudo somente as parcelas inventariadas dos talhões da espécie *Pinus taeda* L. e com idades entre 5 e 18 anos, pois esta é a espécie de maior utilização dentro da empresa.

Em cada medição, foram registrados a altura total de 20% das árvores e o DAP de todas as árvores das parcelas.

4.2.2. Cubagem

Para o ajuste dos modelos volumétricos, procedeu-se à cubagem rigorosa de um total de 45 árvores com idades variando de 5 a 18 anos, com uma amplitude diamétrica variando de 13,6 a 33,1 cm. Foram medidos o DAP com casca, altura total e os diâmetros nas seguintes alturas correspondentes a 0,5; 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 95%. O volume real de cada árvore, com casca, foi obtido por meio de aplicações sucessivas da fórmula de Smalian.

$$v = \sum \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \cdot l_i \quad (1)$$

Em que:

v = volume total;

g_i = área basal na i -ésima posição;

l_i = comprimento da secção na i -ésima posição;

Para o ajuste dos modelos hipsométricos foram utilizados dados de altura total e DAP das árvores cubadas.

4.3. Classificação da capacidade produtiva

O modelo utilizado para representar o sítio médio do local foi o de Schumacher, ainda que sejam citados diversos modelos matemáticos na literatura. A escolha desse modelo foi em função de ser um dos modelos mais empregados no processo de classificação de locais, conforme citado em Campos e Leite (2009).

$$H_{dom} = e^{\beta_0 + \beta_1 / idade} \quad (2)$$

Em que: H_{dom} = altura dominante média da parcela (m); I = idade (anos); e β_0 e β_1 = coeficientes do modelo.

Esse modelo foi ajustado na forma linearizada aos 320 pares de valores de dados de altura dominante média e idade das parcelas consideradas no estudo.

Como passo seguinte, foram construídas as curvas de sítio pelo método da curva guia, com a escolha prévia da idade índice de 15 anos, uma idade próxima da idade técnica de corte e que existiam dados a serem considerados. A quantidade de classes de sítio foi previamente estabelecida em três, sendo convencionado o Sítio I como o mais produtivo, o Sítio II, com produtividade intermediária e o Sítio III como o de menor produtividade. As curvas foram construídas com a seguinte expressão, deduzida conforme Clutter *et al.* (1983).

$$\ln(Hd) = \ln S + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{I} + \frac{1}{I_i} \right) \quad (3)$$

Em que: Hd = Altura Dominante, S = índice de sítio (m); I_i = idade -índice, β₁= coeficiente do modelo.

Na avaliação do modelo foram analisados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), o erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) e a análise gráfica de resíduos. As estatísticas foram recalculadas para a variável de interesse. Foi também construída uma tabela de limites de alturas dominantes em função da idade, para possibilitar a alocação de cada parcela mensurada em seu respectivo índice de sítio.

4.4. Ajuste dos modelos hipsométricos

A altura é uma variável fundamental para o cálculo e avaliação de índices da floresta, como volume, índice de sítio, e também necessária para avaliar o crescimento da floresta. É uma prática muito comum a medição de todos os diâmetros e de apenas algumas alturas. Com os dados constroem-se curvas de relação hipsométrica, ou seja, uma equação é ajustada para estimar as alturas das árvores que não tiveram somente os diâmetros medidos (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Na Tabela 1 são apresentados os modelos utilizados para estimar a altura total.

Tabela 1. Modelos hipsométricos para estimar a altura total

Modelo	Autor ou procedimento
$Ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP)$	Stoffels
$Ln(h) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{DAP}$	Curtis
$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2$	Parábola
$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP$	Modelo da linha reta
$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \beta_3 \cdot DAP^3$	-
$h = \beta_0 + \frac{\beta_1}{DAP^2}$	-

Em que: h= altura total da árvore, em m (metros); DAP= diâmetro à altura do peito em cm (centímetros); Ln= logaritmo neperiano; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros;

4.5. Ajuste dos modelos volumétricos

Os ajustes dos modelos foram realizados com dados de cubagens de 45 árvores, com idades variando de 5 a 18 anos, com uma amplitude diamétrica variando de 13,6 a 33,1 cm.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos testados para o ajuste do volume.

Tabela 2. Modelos volumétricos ajustados

Modelo	Autor
$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot (DAP^2) + \beta_3 \cdot (h \cdot DAP) + \beta_4 \cdot (h \cdot DAP^2) + \beta_5 \cdot h$	Mayer
$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot (DAP^2 \cdot h)$	Spurr
$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP)$	Berkhout
$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot (DAP^2) + \beta_3 \cdot h$	Stoate
$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot \ln(DAP^2) + \beta_3 \cdot \ln(h) + \beta_4 \cdot \ln(h^2)$	Prodan
$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot \ln(h)$	Schumacher-Hall

Em que: v = volume total com casca de uma árvore, em m h= altura total da árvore, em m (metros); DAP= diâmetro à altura do peito em cm (centímetros); Ln= logaritmo neperiano; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parâmetros;

4.6. Ajuste dos modelos de crescimento e produção

Campos e Leite (2009) apontam que o sistema de equações de Clutter é o modelo do tipo povoamento total mais difundido nas empresas florestais brasileiras, motivo pelo qual este modelo foi um dos escolhidos para este ajuste.

Para critério de avaliação e comparação, foram ajustados também mais dois outros modelos, um em função somente da idade e outro em função da idade e do sítio. Os modelos de crescimento e produção utilizados na presente pesquisa estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos de crescimento e produção ajustados

Modelo	Autor
$\ln(V) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I}$	Schumacher -Modelo (1)
$\ln(V) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I \cdot S}$	Modelo (2)
$\ln(V_2) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot \ln(G_2)$	
$\ln(G_2) = \ln(G_1) \cdot \left(\frac{I_1}{I_2}\right) + \alpha_0 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \alpha_0$ $\cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \cdot S$	Clutter

Em que: V_2 = Volume (m^3/ha) na idade 2; G_1 = Área Basal (m^2/ha) na idade 1; G_2 = Área Basal (m^2/ha) na idade 2; S = Índice de sítio (m); I = Idade (anos); I_1 = Idade 1 (anos); I_2 = Idade 2 (anos); α, β = parâmetros do modelo;

Os modelos de Schumacher e Modelo (1) foram ajustados pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários, e o modelo de Clutter foi ajustado de forma simultânea pelo método Mínimos Quadrados em Dois Estágios no *software* estatístico EVIEWS.

Todos os modelos foram avaliados em relação ao Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{ajust.}$) e o Erro Padrão de Estimativa, tanto o absoluto (S_{yx}) quanto o relativo ($S_{yx}\%$), os quais tiveram seus valores recalculados para a variável de interesse, ou seja, o volume em m^3/ha e a área basal em m^2/ha , por se tratarem de modelos logaritimizadas. Também foi feita uma análise gráfica dos resíduos para verificar se houve tendência.

O modelo de Clutter, além das estatísticas, foi avaliado também com relação aos fundamentos biológicos do modelo, por meio da análise da consistência das estimativas em relação aos efeitos do índice de sítio e da área basal inicial na idade de corte.

Para o ajuste do modelo de Clutter foram utilizados os volumes reconstituídos conforme NOGUEIRA (2002), respeitando as porcentagens de desbaste, para o primeiro desbaste de 40% de volume retirado, segundo desbaste 30% do volume retirado e para o terceiro desbaste 20% do volume retirado, uma vez que a empresa realiza inventários pós - desbaste, dessa forma não havia a informação anterior ao desbaste.

4.7. Construção das tabelas de produção

4.7.1. Área basal inicial (G_i)

Antes de gerar as estimativas a partir do modelo de Clutter, foi necessário estimar a área basal inicial da primeira idade de medição em cada sítio considerado. Desta forma, foi empregado um modelo para prever a área basal inicial incluindo o índice de sítio como variável independente, buscando obter coerência entre as estimativas geradas e os valores reais de área basal inicial do povoamento, conforme a capacidade produtiva de cada sítio. Como a base de dados fornecidas tinha valores para os inventários a partir dos 6 anos, optou-se por empregar a equação ajustada por WOLFF II (2012).

$$G_i = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 S^2 \quad (4)$$

Onde: G_i = área basal inicial (m^2/ha); S = índice de sítio (m).

A partir das estimativas de área basal nas idades iniciais em conjunto com as equações ajustadas do Modelo de Clutter, foram construídas as tabelas de produção com e sem desbaste, bem como as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), calculadas da seguinte maneira:

$$IMA = \frac{V_i}{I_i} \quad (5)$$

$$ICA = V_i - V_{i-1} \quad (6)$$

Em que: V_i = volume (m^3/ha) na idade de interesse; V_{i-1} = volume (m^3/ha) na idade de interesse menos 1 ano; I_i = idade de interesse (anos);

Assim, foi possível determinar a idade técnica de corte (ITC) igualando-se as expressões de IMA e ICA, onde a curva do IMA tem seu ponto de máximo. A partir das tabelas e gráficos, foi observada a tendência das estimativas geradas e o comportamento da ITC em relação ao sítio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Modelos Hipsométricos

Na Tabela 4 são apresentados os resultados para os ajustes dos modelos para estimar a altura total de *Pinus taeda* L. na região de Imbituva, PR. A variável altura não apresenta uma relação forte com a variável diâmetro, isto pode ser observado nos menores valores de R^2 , quando comparados com os modelos que estimam o volume, por exemplo.

Dentre os cinco modelos ajustados, o modelo da Parábola apresentou as melhores estatísticas assim como, uma melhor distribuição gráfica dos resíduos (Figura 3), sendo, portanto, o modelo escolhido para estimar a altura total dos dados.

Tabela 4. Resultados dos ajustes para os modelos hipsométricos testados para estimar a altura total para *Pinus taeda* L.

Autor	Modelo	Estatísticas	
		R^2_{adj}	$S_{yx}\%$
Stofels	$Ln(h) = 0,331046 + 0,854102 \cdot \ln(DAP)$	0,57	12,81
Curtis	$Ln(h) = 3,845745 + \frac{-18,8047}{DAP}$	0,65	11,61
Parábola	$h = 24,124 + 3,342446 \cdot DAP + 0,05889 \cdot DAP^2$	0,74	9,90
Linha	$h = 5,747732 + 0,632185 \cdot DAP$	0,58	12,65
-	$h = 27,31832 + \frac{-3242,30394}{DAP^2}$	0,73	10,11

Em negrito o modelo selecionado.

Mendonça et al. (2015) avaliaram modelos tradicionais e genéricos na estimativa da relação hipsométrica de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, na região de Nova Ponte, MG.

Os autores testaram dez modelos para estimativa da altura total das árvores. Para o modelo parabólico, eles obtiveram um R_{adj}^2 de 0,60 e um Syx de 18,18%, valores inferiores aos encontrados no presente trabalho. Os modelos que utilizaram, além do DAP, outras variáveis, como a idade, a altura dominante, por exemplo, obtiveram melhor desempenho para estimar a altura total, segundo os autores. É o caso do modelo de Lenhart (1968), que tem como variáveis independentes, além do diâmetro (DAP), a idade (I), a altura dominante (Hd) e o número de árvores (N). Para este modelo os autores encontraram um R_{adj}^2 de 0,7978 e um Syx% de 13,04 e uma distribuição gráfica de resíduos mais homogênea.

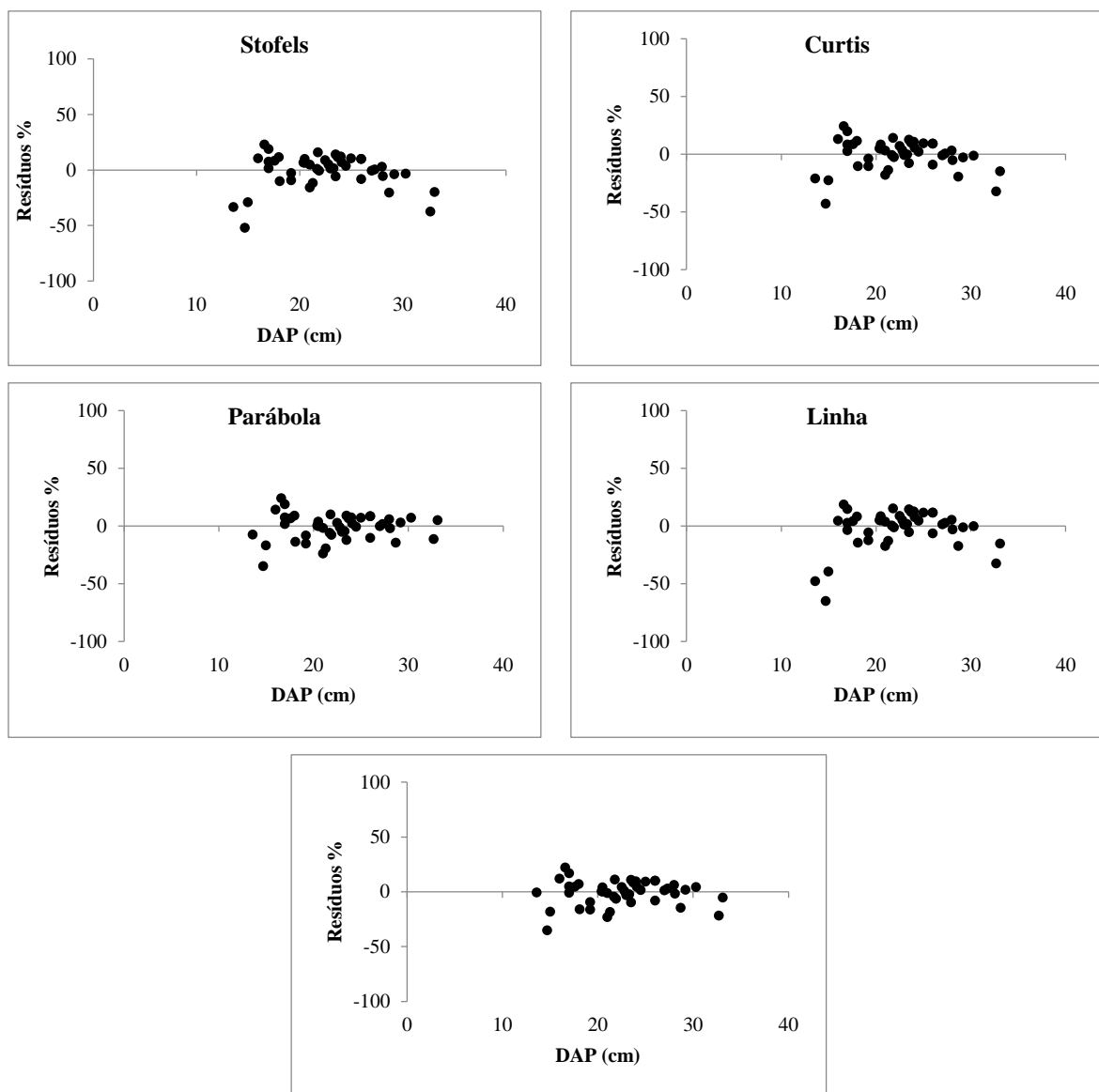


Figura 3. Distribuição gráfica de resíduos para os modelos hipsométricos testados

5.2. Modelos Volumétricos

Na Tabela 5 são apresentados os resultados para os ajustes dos cinco modelos testados para estimar o volume individual para *Pinus taeda* L.. Pode-se observar que os modelos ajustados apresentaram resultados satisfatórios, com Coeficientes de Determinação (R^2_{adj}) altos e Erros baixos ($S_{yx}\%$), com exceção do modelo de Berkhout, que apresentou um erro superior a 24%.

Tabela 5. Resultados dos ajustes para os modelos de volume individual para *Pinus taeda* L.

Autor	Modelo	Estatísticas	
		R^2_{adj}	$S_{yx}\%$
Schumacher-Hall	$\ln(v) = -10,5663 + 2,090606 \cdot \ln(DAP) + 1,051742 \cdot \ln(h)$	0,96	11,33
Stoate	$v = 0,164639 - 0,00088 \cdot DAP + 0,0000782 \cdot (DAP^2 h) + -0,00585 \cdot h$	0,97	9,07
Spur	$v = -0,021273 + 0,0000425 \cdot DAP^2 \cdot h$	0,96	11,12
Berkhout	$\ln(v) = -10,2181 + 2,988901 \cdot \ln(DAP)$	0,81	24,80
Meyer (modificado)	$v = -0,45491 + 0,076334 \cdot DAP - 0,00284 \cdot (DAP^2) - 0,00172 \cdot (h \cdot DAP) + 0,000133 \cdot (h \cdot DAP^2)$	0,98	8,55

Em negrito o modelo selecionado

O modelo de Meyer foi modificado porque o coeficiente β_5 , ligado à variável altura (h) não foi significativo (p-valor > 0,05), sendo esta variável excluída do modelo e este ajustado novamente. Com base nas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 5 e Figura 4), o

modelo de Meyer (modificado) foi escolhido para estimar os volumes individuais para *Pinus taeda* L. na região de Imbituva, Paraná.

Machado et al. (2002) ajustaram vários modelos matemáticos para estimar o volume individual para *Pinus oocarpa* na região sudeste de São Paulo, município de Agudos, para diferentes idades e regimes de desbaste. Os autores concluíram que, em média, o modelo de Meyer apresentou o melhor desempenho para estimar o volume com e sem casca.

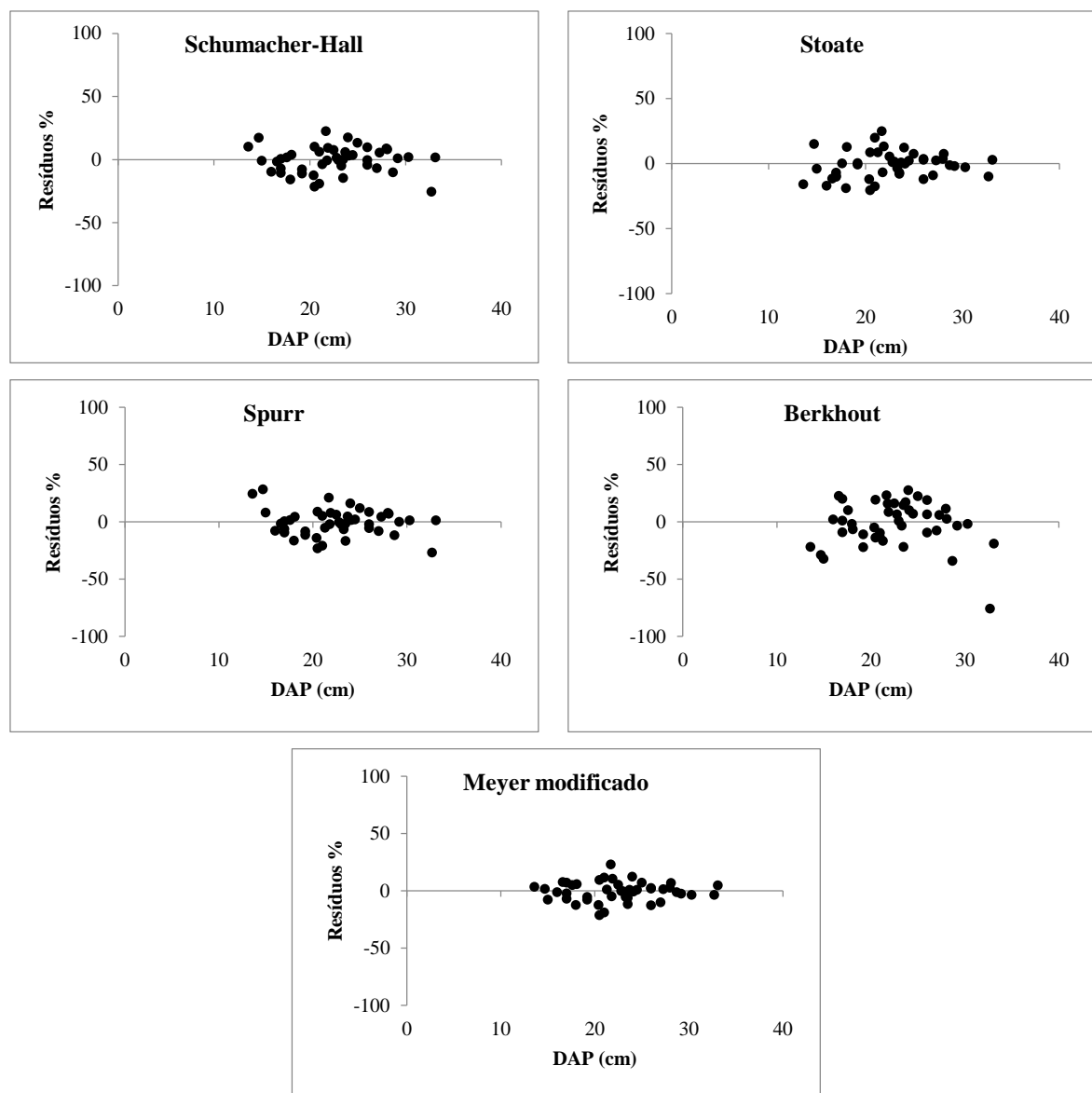


Figura 4. Distribuição gráfica de resíduos para os cinco modelos de volume individuais testados

5.3.CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE SÍTIO

Para a construção das curvas de sítio foi ajustado o modelo de Schumacher. Para tal foram utilizados 320 pares de alturas dominantes (Hd) versus Idade (I). Os resultados do ajuste podem ser observados na Tabela 6 e na Figura 5. Notam-se alguns pontos mais dispersos nas menores idades, e uma tendência em superestimar as alturas dominantes aos 17 anos.

Tabela 6. Resultado do ajuste para o modelo de Schumacher

Dados	Modelo original	Estatísticas		
		R ²	S _{yx} (m)	S _{yx} %
Conjunto dos dados	$LnHd = 3,468577 - \frac{6,61033}{I}$	0,80	1,43	8,40
Região Guamiranga	$LnHd = 3,359653 - \frac{5,50360}{I}$	0,68	1,33	7,23
Região Imbituva	$LnHd = 3,560214 - \frac{7,36733}{I}$	0,81	1,33	8,14
Região Irati	$LnHd = 3,601072 - \frac{7,56569}{I}$	0,86	1,39	9,49

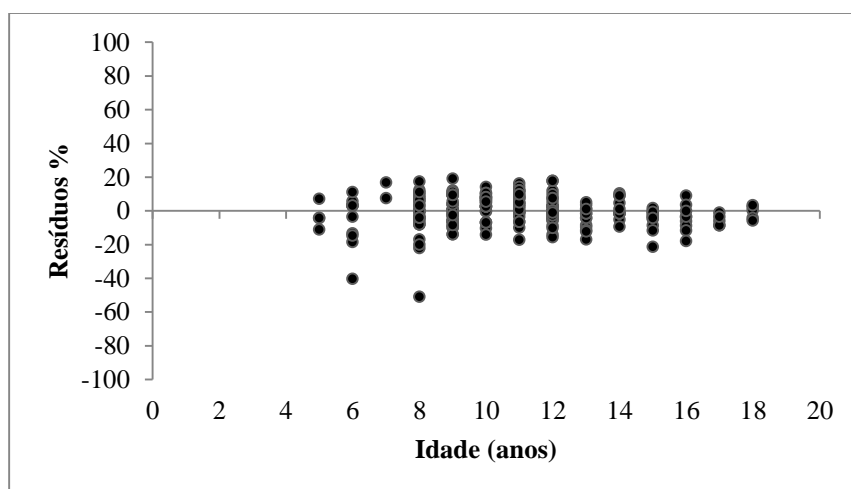


Figura 5. Distribuição de resíduos para o modelo de Schumacher para estimar sítio.

Foram construídas três curvas de sítio, com amplitude de 4 m. A idade índice escolhida foi a de 15 anos. Na Figura 6 podem ser observadas as três curvas de sítio construídas para o conjunto dos dados. Utilizando-se o modelo de Schumacher, foram também construídas três curvas de sítio para cada uma das três regiões da área de coleta de dados, sendo Guamiranga, Imbituva e Irati (Figura 7, 8 e 9).

Silva et al. (2013) também escolheram o modelo de Schumacher para Classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. Os autores comentaram que este modelo ajustou de maneira satisfatória o padrão de crescimento dos povoamentos dando segurança para a classificação de sítio para essa espécie na região do estudo. Retslaff (2014) utilizou o modelo de Chapman-Richards para a construção das curvas de Sítio para *Pinus taeda* L. no Estado do Paraná.

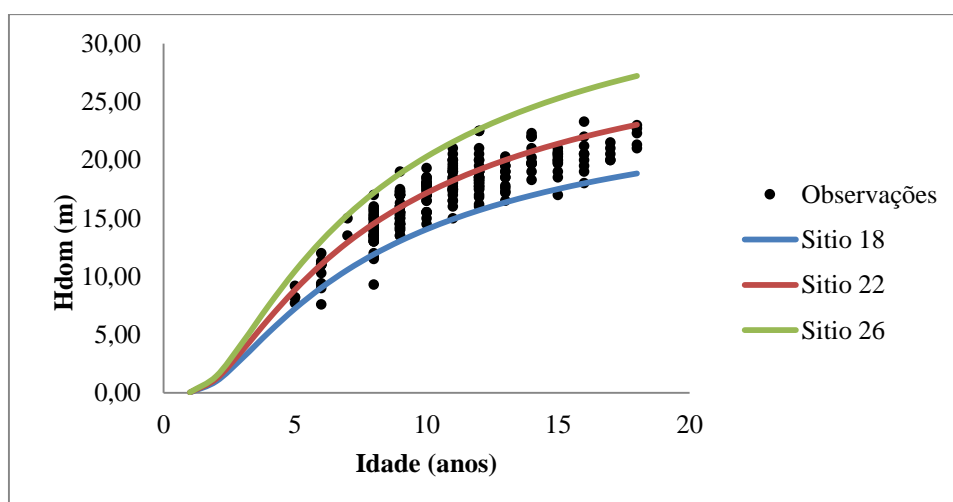


Figura 6. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para o conjunto dos dados.

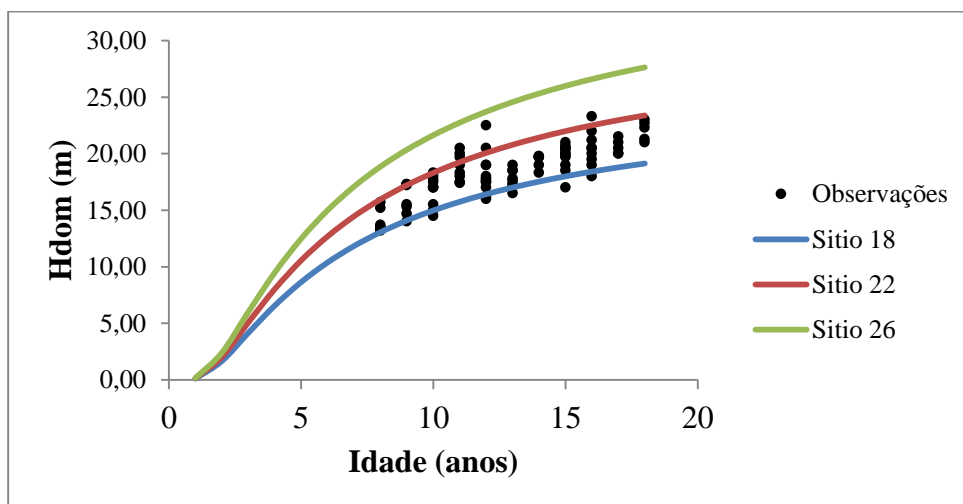


Figura 7. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para a região de Guamiranga.

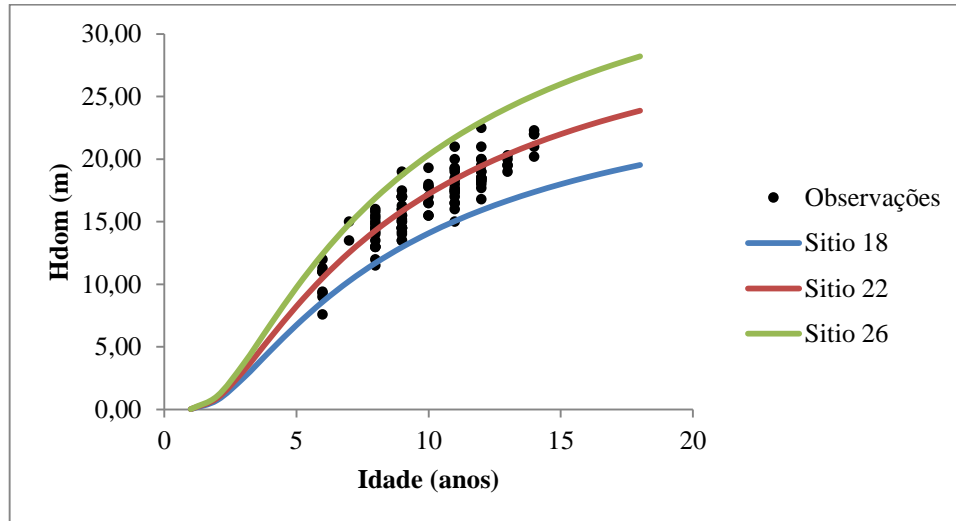


Figura 8. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para a região de Imbituva.

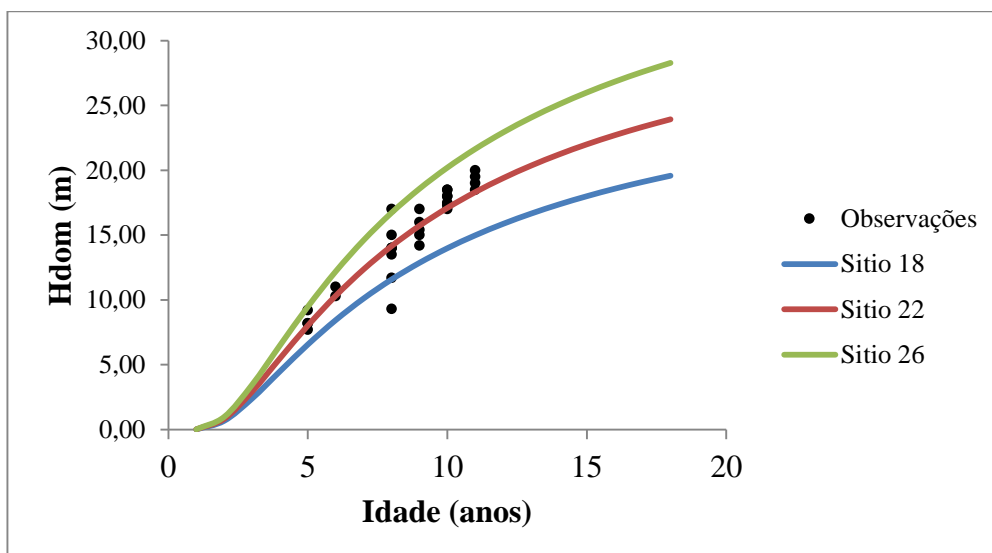


Figura 9. Curvas de Sítio construídas com o modelo de Schumacher para a região de Irati.

Como pode-se observar nas Figuras (7, 8 e 9), o modelo e as classes escolhidas se ajustaram aos dados observados em cada região, entretanto nas regiões Imbituva e Irati as árvores ainda não atingiram a idade índice de 15 anos.

Para verificar a coerência nos dados de altura dominante e sítio, nas diferentes idades, construiu-se tabelas com os limites numéricos dos intervalos de cada classe de sítio conforme sua idade e sua altura, tanto para a conjunto dos dados, como para cada região (Tabelas 7, 8, 9 e 10).

Tabela 7. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para *Pinus taeda* L. na região centro-sul do Paraná para o conjunto dos dados.

Tabela de limites	Sítio I (26m)			Sítio II (22m)			Sítio III (18m)		
	Limite Inf.		Limite Sup.	Limite Inf.		Limite Sup.	Limite Inf.		Limite Sup.
Idade (anos)	24,1	26	28	20,1	22	24	16	18	20
5	10		11,6	8,4		9,9	6,6		8,3
6	12,5		14,5	10,4		12,4	8,3		10,3
7	14,6		16,9	12,2		14,5	9,7		12,1
8	16,4		19	13,7		16,3	10,9		13,6
9	18		20,9	15		17,9	11,9		14,9
10	19,4		22,5	16,1		19,3	12,8		16
11	20,5		23,9	17,1		20,4	13,6		17
12	21,6		25,1	18		21,5	14,3		17,9
13	22,5		26,2	18,8		22,4	15		18,7
14	23,4		27,1	19,5		23,3	15,5		19,4
15	24,1		28	20,1		24	16		20
16	24,8		28,8	20,7		24,7	16,4		20,6
17	25,4		29,5	21,2		25,3	16,9		21,1
18	25,9		30,1	21,6		25,8	17,2		21,5

Tabela 8. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para *Pinus taeda* L. na região de Guamiranga.

Tabela de limites	Sítio I (26m)			Sítio II (22m)			Sítio III (18m)		
	Limite Inf.		Limite Sup.	Limite Inf.		Limite Sup.	Limite Inf.		Limite Sup.
Idade (anos)	24,1	26	28	20,1	22	24	16	18	20
8	17,48		20,31	14,58		17,41	11,61		14,51
9	18,87		21,92	15,74		18,79	12,53		15,66
10	20,06		23,31	16,73		19,98	13,32		16,65
11	21,09		24,5	17,59		21	14		17,5
12	21,99		25,55	18,34		21,9	14,6		18,25
13	22,78		26,46	19		22,68	15,12		18,9
14	23,48		27,28	19,58		23,38	15,59		19,48
15	24,1		28	20,1		24	16		20
16	24,66		28,65	20,57		24,56	16,37		20,46
17	25,16		29,24	20,99		25,06	16,71		20,88
18	25,62		29,77	21,37		25,51	17,01		21,26

Tabela 9. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para *Pinus taeda* L. na região de Imbituva.

Tabela de limites	Sítio I (26m)			Sítio II (22m)			Sítio III (18m)		
	Limite Inf.	Limite Sup.		Limite Inf.	Limite Sup.		Limite Inf.	Limite Sup.	
Idade (anos)	24,1	26	28	20,1	22	24	16	18	20
6	11,54		13,4	9,62		11,49	7,66		9,57
7	13,75		15,97	11,47		13,69	9,13		11,41
8	15,68		18,22	13,08		15,62	10,41		13,01
9	17,37		20,18	14,49		17,3	11,53		14,42
10	18,85		21,9	15,72		18,77	12,52		15,65
11	20,16		23,42	16,81		20,07	13,38		16,73
12	21,32		24,76	17,78		21,23	14,15		17,69
13	22,35		25,96	18,64		22,25	14,84		18,54
14	23,27		27,03	19,41		23,17	15,45		19,31

Tabela 10. Limites inferiores e superiores de altura dominante em diferentes idades para *Pinus taeda* L. na região de Irati.

Tabela de limites	Sítio I (26m)			Sítio II (22m)			Sítio III (18m)		
	Limite Inf.	Limite Sup.		Limite Inf.	Limite Sup.		Limite Inf.	Limite Sup.	
Idade (anos)	24,1	26	28	20,1	22	24	16	18	20
5	8,79		10,21	7,33		8,75	5,83		7,29
6	11,31		13,14	9,43		11,26	7,51		9,39
7	13,54		15,73	11,29		13,49	8,99		11,24
8	15,5		18,01	12,93		15,44	10,29		12,86
9	17,22		20	14,36		17,15	11,43		14,29
10	18,73		21,76	15,62		18,65	12,43		15,54
11	20,06		23,31	16,73		19,98	13,32		16,65

Na Figura 10 é mostrada a distribuição dos sítios em cada região, demonstrando que o sitio médio ($S=22$ m) concentra a maior quantidade de projetos, justificando a escolha deste sitio como o que representa o povoamento quando apresentaram-se as simulações de desbaste.

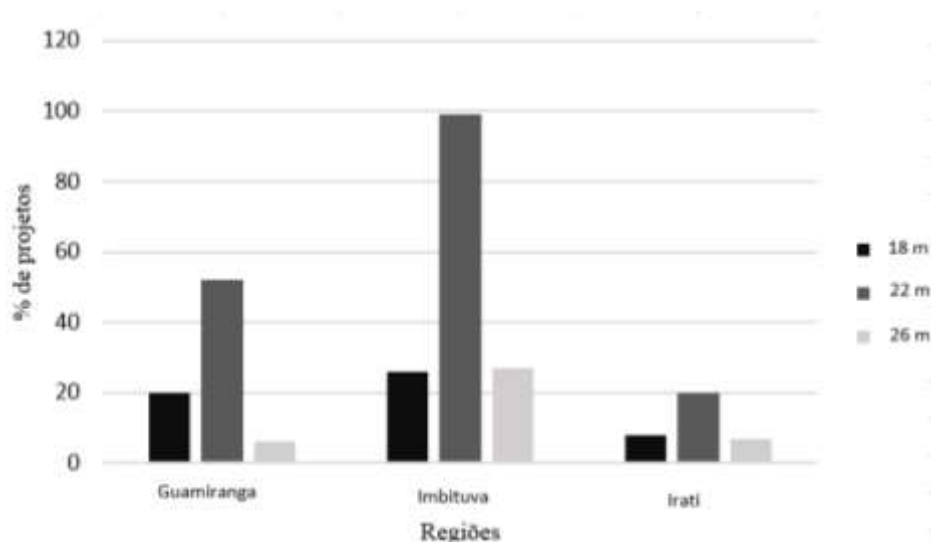


Figura 10. Distribuição de áreas dos projetos do cadastro florestal classificados conforme as tabelas de limites de classes de sítio.

5.4. Ajuste dos modelos de crescimento e produção

Os dois primeiros modelos de crescimento e produção ajustados não apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão, com coeficientes de determinação baixos e erros altos (Tabela 11). As estatísticas de ajuste dos modelos demonstram a superioridade do modelo de Clutter em relação aos demais, pois o mesmo apresentou o maior valor do coeficiente de determinação e os menores erros, devido à inclusão da terceira variável (área basal) no ajuste, além da idade e do sítio. Os valores dos coeficientes obtidos também foram todos significativos a 5% de probabilidade de erro. Nas Figuras 11 e 12 foram gerados os gráficos das distribuições dos resíduos do volume para os Modelos 1 e 2.

Tabela 11. Resultados dos ajustes para os modelos de Crescimento e Produção

Autor/Fonte	Modelo	Estatísticas		
		R ² ajust.	Syx (m ³ /ha)	Syx %
Modelo 1	$\ln(v) = 6,543 + \frac{-7,139}{I}$	0,25	89,7	24,79
Modelo 2	$\ln(v) = 6,482 + \frac{136,073}{I \cdot S}$	0,56	89,7	24,75
	$\ln(v) = 2,453 + \frac{-4,564}{I} + 0,002 \cdot S + 1,077$ $\cdot \ln(G_2)$	0,89	29,15	6,63
Clutter	$\ln(G_2) = \ln(G_1) \cdot \left(\frac{I_1}{I_2}\right) + 4,571 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$ $+ 0,021 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \cdot S$	0,65	3,68	9,05

A distribuição gráfica de resíduos para cada modelo é apresentada nas Figuras 11 a 14. Pode-se observar que houve tendência em superestimar os volumes aos 5 e 6 anos e, a partir dos 16 anos. A baixa qualidade dos ajustes para os dois primeiros modelos, pode ser justificada, em partes, pelo fato que houve desbastes em algumas idades, por volta dos 8, 12 e 15/16 anos. Os modelos não conseguiram explicar este tipo de manejo.

Nas Figuras 13 e 14 podem ser observadas as distribuições de resíduos respectivamente para área basal e volume para o modelo de Clutter. Não foi identificada nenhuma tendência tanto para a área basal quanto para o volume, uma vez que os resíduos ficaram praticamente em sua totalidade distribuídos dentro de um intervalo de 20% em relação à média observada.

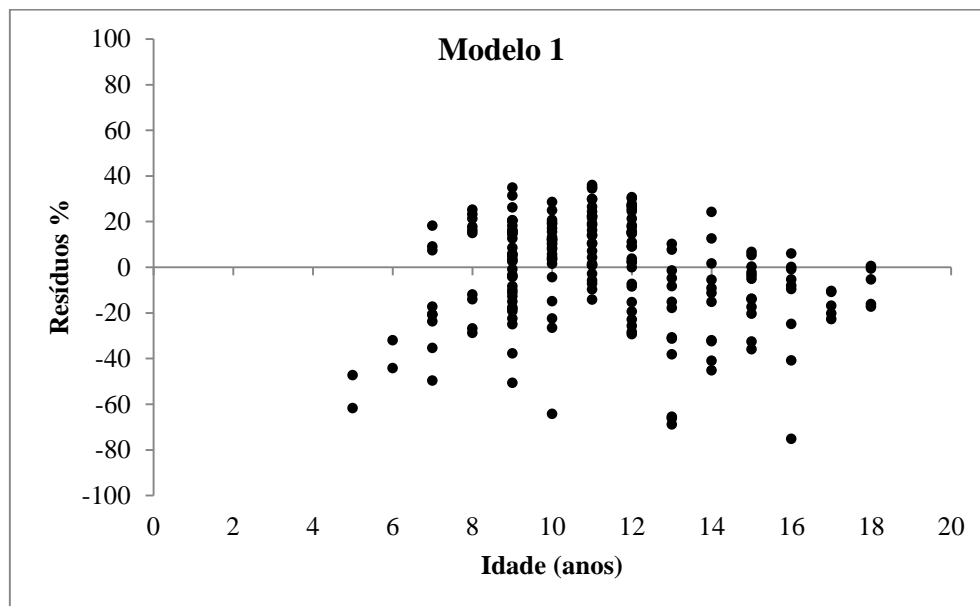


Figura 11. Distribuição gráfica de resíduos para o Modelo 1 de Crescimento e Produção

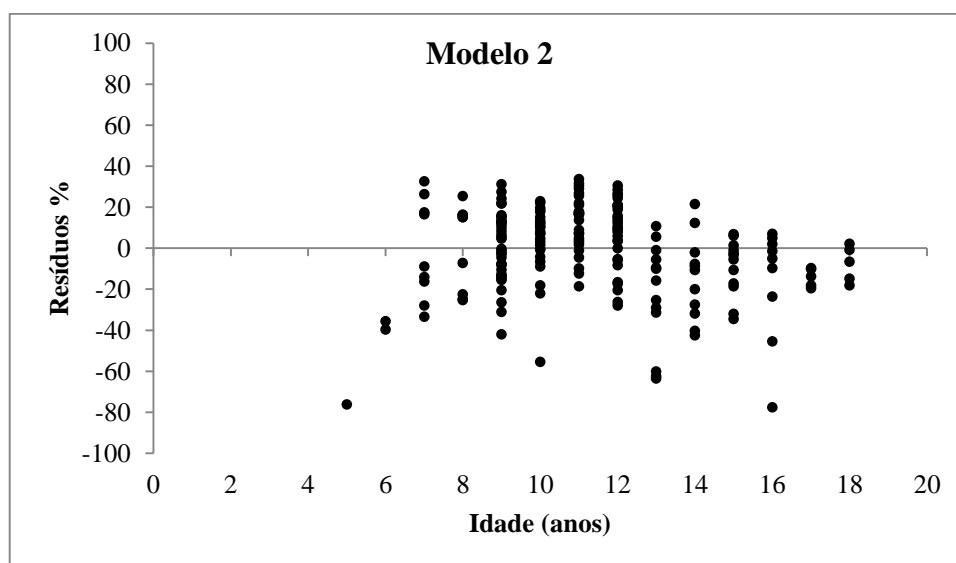


Figura 12. Distribuição gráfica de resíduos para o Modelo 2 de Crescimento e Produção de Schumacher

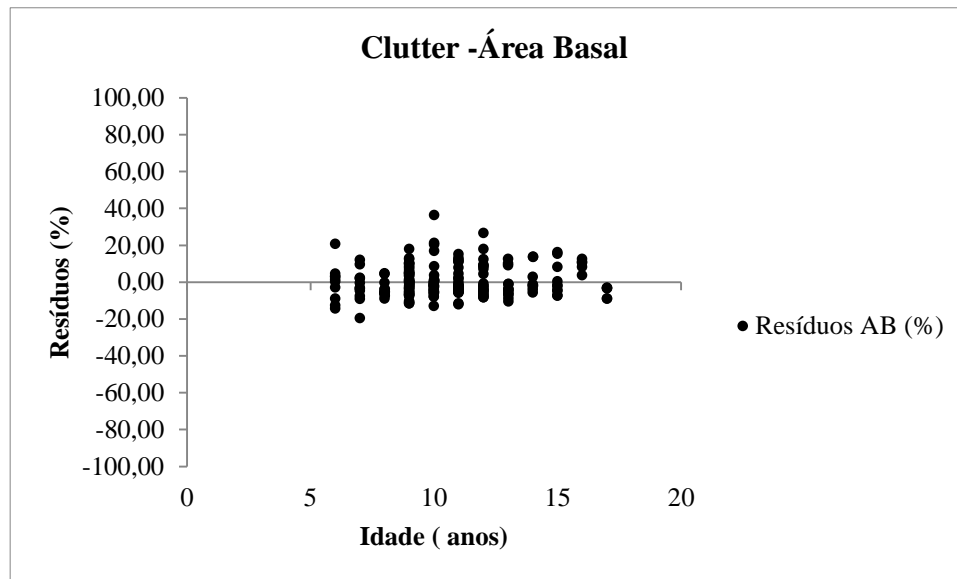


Figura 13. Distribuição gráfica de resíduos para a área basal do modelo de Crescimento e Produção de Clutter.

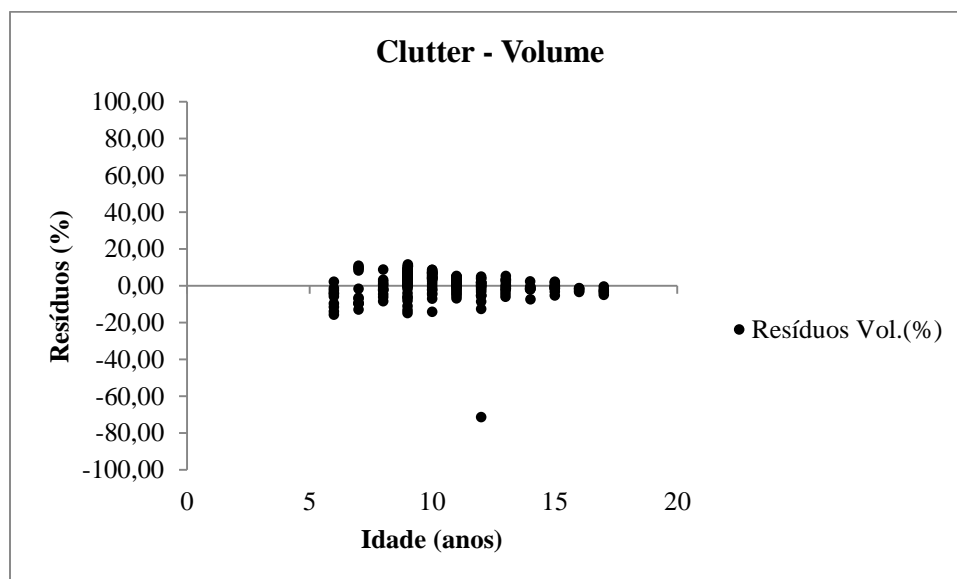


Figura 14. Distribuição gráfica de resíduos para o Volume do modelo de Crescimento e Produção de Clutter.

Nascimento et al. (2010) ajustaram modelos de Crescimento e Produção em nível de povoamento (modelos globais) para *Pinus taeda* L. na região Planalto Norte do Estado de Santa Catarina. Os autores testaram quatro modelos que estimam o volume por unidade de área em função de diferentes combinações das variáveis, idade, sítio e área basal. Para o modelo de Schumacher, os autores obtiveram um R^2 de 0,69 e um Syx de 31,62%. Já para o modelo (1), os autores obtiveram um R^2 de 0,71 e um erro de 30,93%. Os coeficientes de determinação encontrados pelos autores para os dois modelos foram superiores aos obtidos no presente trabalho, no entanto, os erros foram maiores. Para os autores o modelo de Clutter foi melhor, com R^2 de 0,96 e um erro de 5,60 % (para o volume). É importante salientar que este modelo é de natureza diferente dos demais, uma vez que, envolve a projeção da área basal em uma idade futura (NASCIMENTO *et al.*, 2010).

5.5.Construção das tabelas de produção

5.5.1. Área basal inicial (G_i)

Para a aplicação do modelo de Clutter foi necessário estimar a área basal inicial para cada classe de sítio. Os coeficientes e as estatísticas obtidas para o modelo de área basal em função do sítio ajustada por WOLFF II (2012) empregada nesse trabalho, encontra-se na Tabela 12:

Tabela 12. Resultados dos ajustes para o modelo de área basal inicial

Modelo	Estatísticas		
	R^2	Syx (m ² /ha)	Syx %
$G_i = 11,1404 - 0,91226 \cdot S + 0,0284575 \cdot S^2$	0,34	0,75	16,3

Uma vez avaliado, o modelo foi utilizado para elaborar as tabelas de produção de densidade variável em nível de povoamento (Tabelas 13, 14 e 15). Estas tabelas não levaram em consideração a idade de rotação técnica diferenciada por intensificação das retiradas em área basal, conforme citado por Dias (2000). Sua construção é de suma importância para o planejamento estratégico do manejador florestal, servindo como ferramenta de auxílio na tomada de decisões sobre o momento ideal de uma intervenção silvicultural na floresta.

Tabela13. Tabela de produção para índice de sítio (26 m), para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná.

Idade (anos)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	6,66	30,15	7,54	
5	12,69	75,86	15,17	45,71
6	19,50	140,34	23,39	64,48
7	26,51	217,77	31,11	77,43
8	33,38	302,77	37,85	85,00
9	39,92	391,23	43,47	88,46
10	46,07	480,27	48,03	89,04
11	51,80	567,99	51,64	87,73
12	57,12	653,22	54,44	85,23
13	62,04	735,25	56,56	82,03
14	66,59	813,71	58,12	78,46
15	70,81	888,46	59,23	74,74
16	74,72	959,47	59,97	71,01
17	78,35	1026,82	60,40	67,36
18	81,72	1090,66	60,59	63,83
19	84,86	1151,13	60,59	60,47
20	87,79	1208,41	60,42	57,28
21	90,52	1262,69	60,13	54,28
22	93,09	1314,15	59,73	51,46

Tabela 14. Tabela de produção para índice de sítio (22 m), para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná.

Idade (anos)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	4,84	21,23	5,31	
5	9,67	56,18	11,24	34,95
6	15,34	107,47	17,91	51,30
7	21,32	170,82	24,40	63,35
8	27,29	241,81	30,23	70,99
9	33,07	316,86	35,21	75,05
10	38,56	393,35	39,34	76,49
11	43,73	469,48	42,68	76,13
12	48,56	544,06	45,34	74,58
13	53,06	616,35	47,41	72,29
14	57,25	685,92	48,99	69,56
15	61,15	752,52	50,17	66,61
16	64,78	816,09	51,01	63,57
17	68,15	876,62	51,57	60,53
18	71,31	934,19	51,90	57,57
19	74,25	988,89	52,05	54,70
20	77,00	1040,86	52,04	51,97
21	79,58	1090,22	51,92	49,37
22	82,00	1137,13	51,69	46,91

De acordo com as tabelas de produção e valores de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA) demonstrados, pode-se observar que as idades onde as curvas se cruzam para a variável volume, ou onde os valores do ICA passam a ser menores que os do IMA na tabela de produção, de nominadas de idades técnicas de corte (ITC), são de 19, 20 e 21 anos, respectivamente para os sítios 26, 22 e 18, comprovando que quanto maior o índice de sítio, menor a idade desta intervenção, ou seja, existe compatibilidade biológica do modelo ajustado, conforme era esperado.

Tabela 15. Tabela de produção para índice de sítio (18 m), para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná.

Idade (anos)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	3,9	16,9	4,2	
5	8,1	45,8	9,2	28,9
6	13,0	89,2	14,9	43,4
7	18,3	143,5	20,5	54,4
8	23,6	205,1	25,6	61,6
9	28,8	270,7	30,1	65,6
10	33,8	338,0	33,8	67,3
11	38,4	405,4	36,9	67,4
12	42,9	471,7	39,3	66,3
13	47,0	536,2	41,2	64,5
14	50,8	598,4	42,7	62,2
15	54,4	658,2	43,9	59,8
16	57,7	715,3	44,7	57,2
17	60,9	769,9	45,3	54,5
18	63,8	821,8	45,7	52,0
19	66,5	871,3	45,9	49,5
20	69,1	918,4	45,9	47,1
21	71,5	963,1	45,9	44,8
22	73,7	1005,7	45,7	42,6

Resultados similares foram encontrados por Nascimento (2010), que ajustando modelos biométricos utilizando dados de *Pinus* sp de 5 a 34 anos na região Norte do estado de Santa Catarina, obteve as mesmas idades técnicas de corte por meio do ajuste do modelo de Clutter. Da costa (2008), estudando o crescimento de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, Argentina, observou uma produção média entre os sítios 16 e 18 de 275 e 342 m³/ha na idade de 12 anos, valores compatíveis com os projetados nesta pesquisa.

Foram gerados também os gráficos com as curvas de produção referentes à área basal e ao volume, que se encontram representadas nas Figuras 15 e 16. As maiores produções, tanto para o volume quanto para a área basal foram no Sítio I, e as menores no Sítio III, comprovando o realismo biológico dos ajustes.

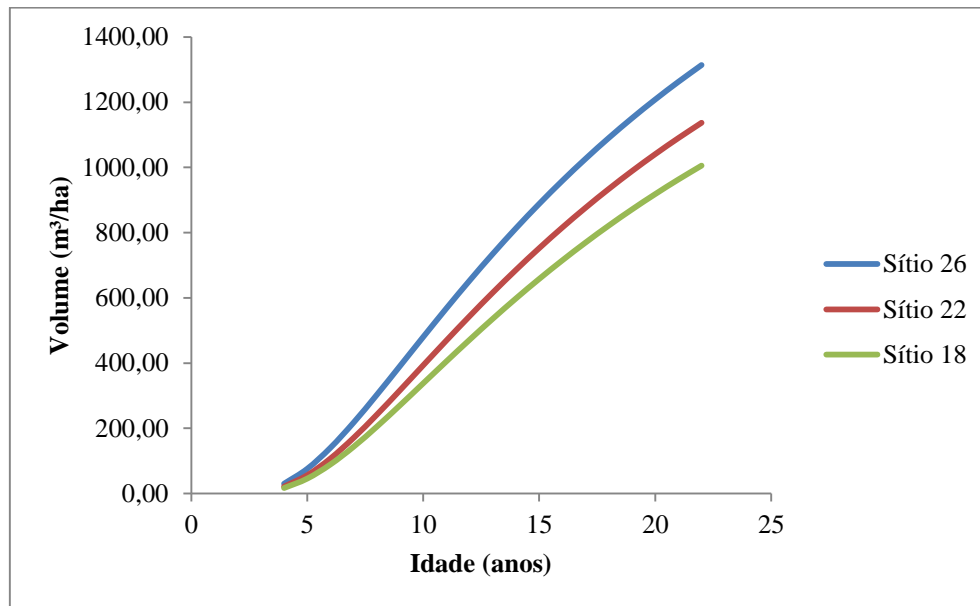


Figura 15. Curvas de produção em volume (m³/ha) para os três sítios considerados.

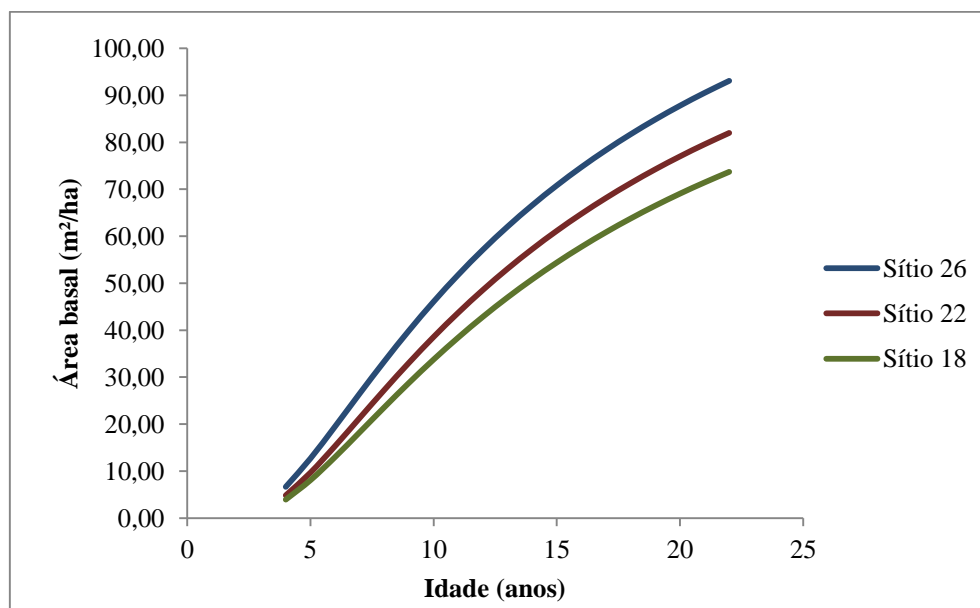


Figura 16. Curvas de produção em área basal (m²/ha) para os três sítios considerados.

O modelo de Clutter também foi avaliado para verificação dos fundamentos biológicos. Para este propósito, foram estabelecidas as seguintes condicionantes, de acordo com Dias (2000):

I – Locais com maior capacidade produtiva tendem a atingir a idade técnica de corte mais cedo, definida como a idade em que o IMA se iguala ao ICA.

II - Para a mesma capacidade produtiva ($S=22\text{ m}$), povoamentos com maior área basal inicial resultam, até certo ponto, em maior produção volumétrica em uma mesma idade futura.

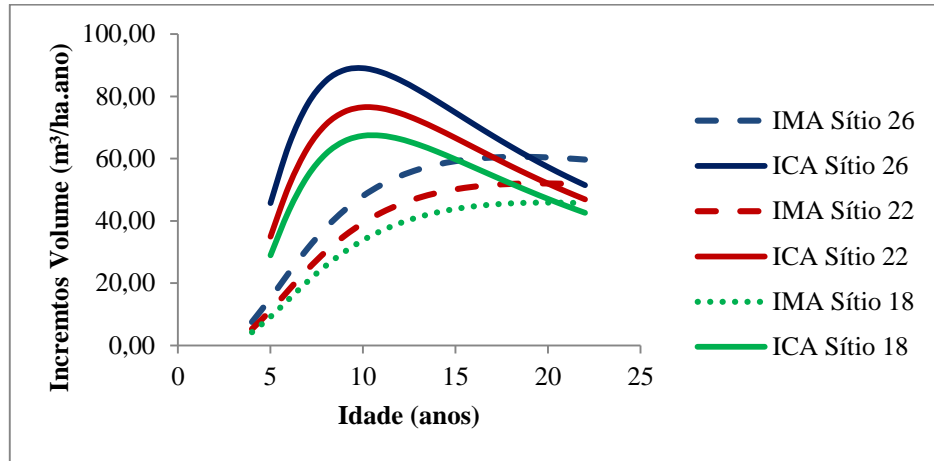
III - Para a mesma capacidade produtiva ($S=22\text{ m}$), quanto maior a área basal inicial menor a idade técnica de corte (ITC).

Para verificação dessas condicionantes biológicas, foram elaboradas a Figura 17.

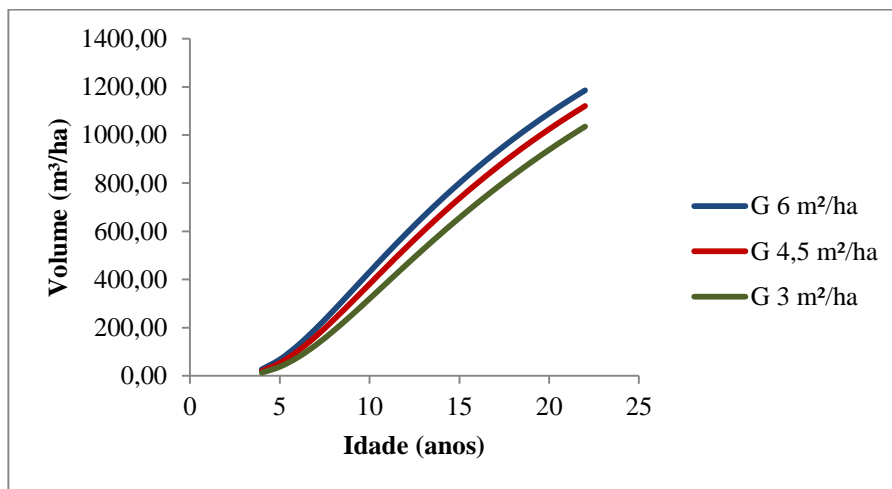
As projeções de volume futuro, para três níveis diferentes de áreas basais iniciais e diferentes capacidades produtivas, resultaram em idades técnicas de corte (ITC), menores para os locais com maior capacidade produtiva (Figura 17 – a).

As projeções de volume futuro, para três níveis diferentes de áreas basais iniciais mesma capacidade produtiva (Sítio 22 m), resultaram na maior produção volumétrica para projeções feitas a partir da maior área basal inicial = $6,0\text{ m}^2/\text{ha}$ (Figura 17-b).

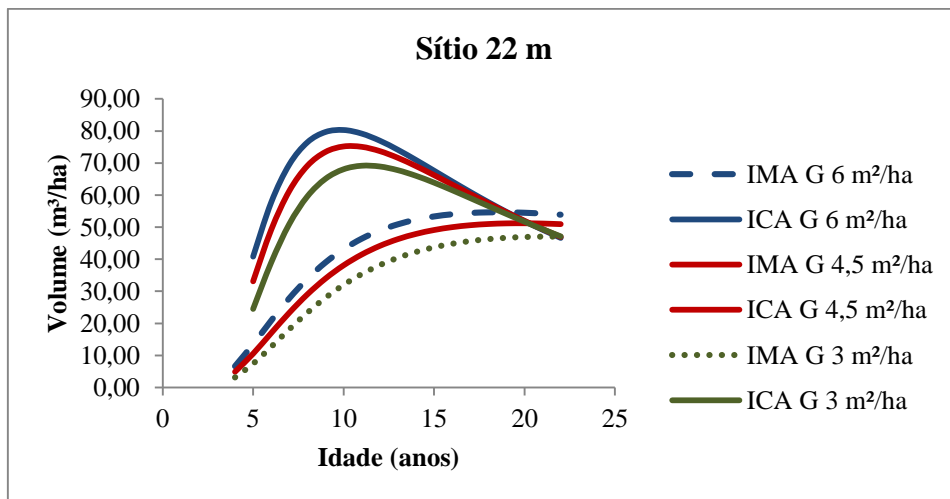
Para a mesma capacidade produtiva (Sítio 22 m), as projeções de incrementos em volume para três níveis de áreas basais iniciais ocasionaram menor idade técnica de corte, quando se utilizou a área basal inicial maior ($6,0\text{ m}^2/\text{ha}$) (Figura 17-c). Assim, as condicionantes I, II e III propostas foram atendidas.



(a)



(b)



(c)

Figura 17. Gráficos elaborados para verificação do modelo de Clutter com base nas condicionantes biológicas I (a), II (b) e III (c).

Conforme demonstrado na Figura 18, os dados observados de 74 amostras escolhidas aleatoriamente, situaram-se, em sua imensa maioria, dentro do limite compreendido para os três sítios considerados neste estudo. Isto comprova que as curvas obtidas podem ser utilizadas para projeções futuras, desde que sejam considerados os volumes suprimidos em eventuais desbastes realizados ao longo dos anos.

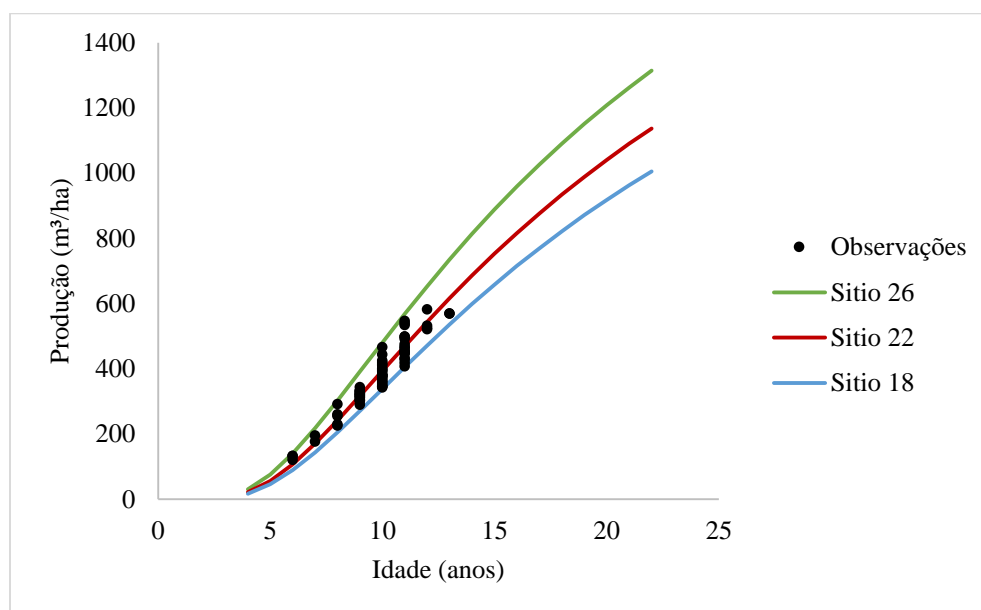


Figura 18. Validação dos resultados – Produção estimada x Produção observada

5.6. Simulações de desbaste

Foram realizadas duas simulações de desbastes para cada um dos três índices de sítio considerados. A **1ª simulação** foi de acordo com o manejo praticado pela empresa, em que o primeiro desbaste é realizado aos 9 anos, com redução de 40% da área basal e o segundo aos 12 anos, com redução de 30% da área basal, e o corte final aos 22 anos. A **2ª simulação** de desbaste foi realizada na ITC para cada índice de sítio considerado, com uma redução de 50% da área basal. Os resultados para a 1ª simulação estão apresentados nas Tabelas 16, 17 e 18 e nas Figuras 19 e 20, enquanto para a 2ª simulação são apresentados nas Tabelas 19, 20 e 21 e Figuras 21 e 22.

Tabela 16. Tabela de produção para índice de sítio 26 m, para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste aos 9 e aos 12 anos.

Idade (anos)	Sítio (m)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	26	6,659	30,15	7,537	
5	26	12,688	75,861	15,172	45,711
6	26	19,502	140,337	23,389	64,476
7	26	26,51	217,769	31,11	77,432
8	26	33,375	302,772	37,846	85,002
9	26	39,921	391,228	43,47	88,456
9	26	23,952	225,658	25,073	67,027
10	26	29,091	292,685	29,269	67,027
11	26	34,105	362,088	32,917	69,403
12	26	38,938	432,34	36,028	70,252
12	26	27,256	294,417	24,535	57,923
13	26	31,339	352,339	27,103	57,923
14	26	35,321	410,977	29,355	58,637
15	26	39,18	469,634	31,309	58,657
16	26	42,9	527,787	32,987	58,153
17	26	46,476	585,05	34,415	57,263
18	26	49,903	641,146	35,619	56,096
19	26	53,183	695,881	36,625	54,735
20	26	56,319	749,128	37,456	53,246
21	26	59,316	800,805	38,134	51,677
22	26	62,178	850,871	38,676	50,067

Linhas em negrito correspondem às idades em que foram realizados os desbastes.

Tabela 17. Tabela de produção para índice de sítio 22 m, para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste aos 9 e aos 12 anos.

Idade (anos)	Sítio (m)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	22	4,844	21,229	5,307	
5	22	9,672	56,176	11,235	34,947
6	22	15,337	107,472	17,912	51,295
7	22	21,318	170,82	24,403	63,348
8	22	27,291	241,808	30,226	70,989
9	22	33,07	316,857	35,206	75,049
9	22	19,842	182,762	20,307	56,954
10	22	24,351	239,716	23,972	56,954
11	22	28,791	299,288	27,208	59,572
12	22	33,105	360,093	30,008	60,806
12	22	23,173	245,218	20,435	50,145
13	22	26,804	295,363	22,72	50,145
14	22	30,366	346,431	24,745	51,068
15	22	33,834	397,78	26,519	51,349
16	22	37,192	448,917	28,057	51,136
17	22	40,43	499,47	29,381	50,553
18	22	43,544	549,166	30,509	49,696
19	22	46,534	597,807	31,464	48,642
20	22	49,399	645,258	32,263	47,451
21	22	52,143	691,427	32,925	46,169
22	22	54,77	736,259	33,466	44,832

Linhas em negrito correspondem às idades em que foram realizados os desbastes.

Tabela 18. Tabela de produção para índice de sítio 18 m, para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste aos 9 e aos 12 anos.

Idade (anos)	Sítio (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	ICA (m ³ /ha.ano)
4	18	3,94	16,858	4,214	
5	18	8,062	45,799	9,16	28,941
6	18	12,993	89,17	14,862	43,372
7	18	18,272	143,52	20,503	54,35
8	18	23,596	205,084	25,635	61,564
9	18	28,788	270,708	30,079	65,625
9	18	17,273	156,143	17,349	49,861
10	18	21,313	206,005	20,6	49,861
11	18	25,312	258,433	23,494	52,429
12	18	29,212	312,182	26,015	53,749
12	18	20,449	212,591	17,716	44,339
13	18	23,727	256,931	19,764	44,339
14	18	26,952	302,228	21,588	45,297
15	18	30,1	347,896	23,193	45,668
16	18	33,155	393,482	24,593	45,586
17	18	36,106	438,642	25,802	45,159
18	18	38,95	483,116	26,84	44,475
19	18	41,683	526,719	27,722	43,602
20	18	44,307	569,315	28,466	42,597
21	18	46,823	610,816	29,086	41,501
22	18	49,234	651,164	29,598	40,348

Linhas em negrito correspondem às idades em que foram realizados os desbastes.

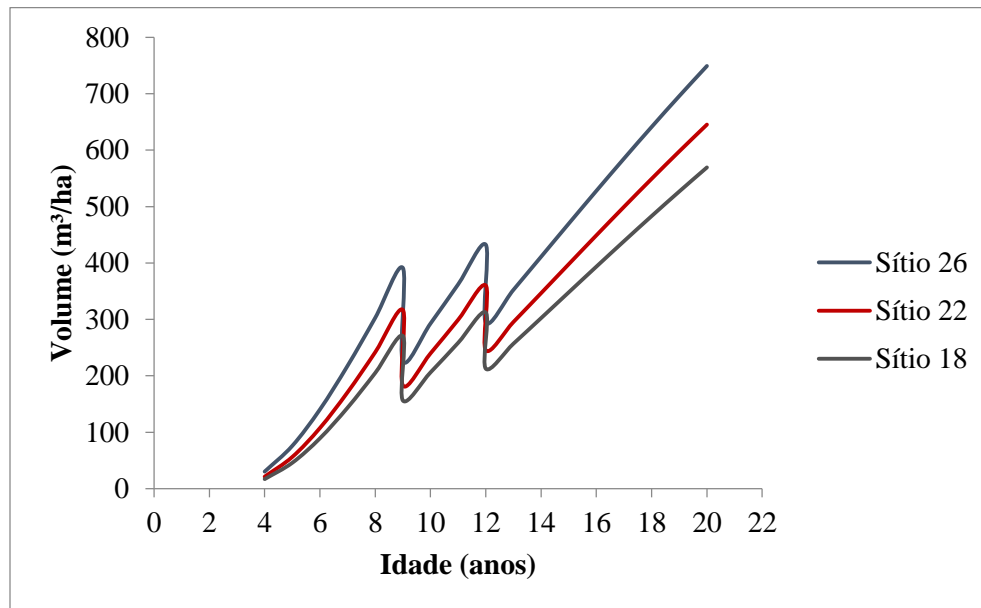


Figura 19. Curvas de produção em volume (V) com simulação de desbastes aos 9 e 12 anos para os três sítios considerados.

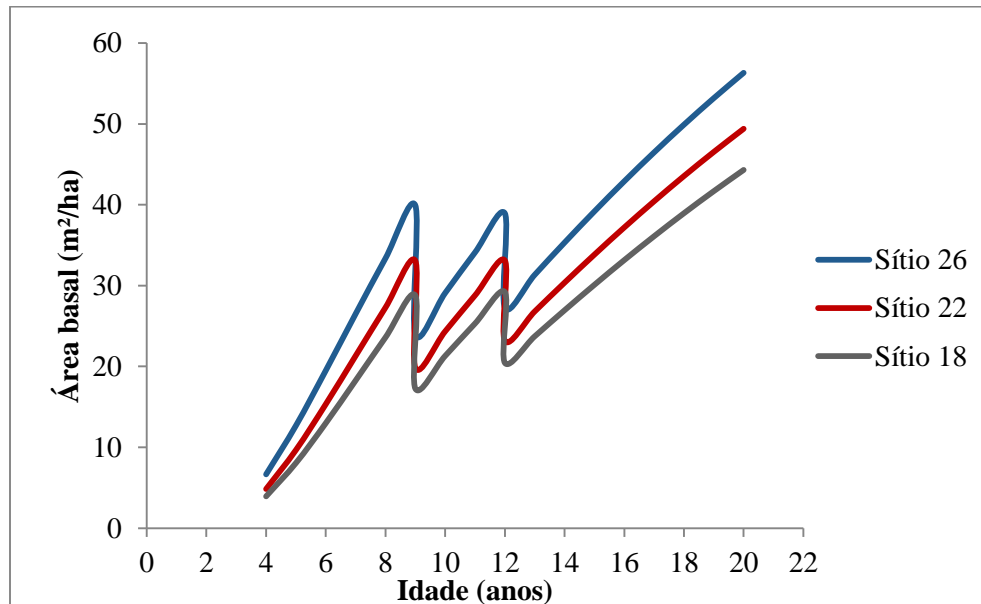


Figura 20. Curvas de produção em área basal (G) com simulação de desbastes aos 9 e 12 anos para os três sítios considerados.

Tabela 19. Tabela de produção para índice de sítio 18 m, para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste na ITC aos 19 anos.

Idade (anos)	Sítio (m)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	26	6,659	30,15	7,537	
5	26	12,688	75,861	15,172	45,711
6	26	19,502	140,337	23,389	64,476
7	26	26,510	217,769	31,11	77,432
8	26	33,375	302,772	37,846	85,002
9	26	39,921	391,228	43,47	88,456
10	26	46,070	480,265	48,027	89,038
11	26	51,800	567,991	51,636	87,726
12	26	57,116	653,219	54,435	85,228
13	26	62,038	735,249	56,558	82,03
14	26	66,593	813,713	58,122	78,463
15	26	70,810	888,456	59,23	74,744
16	26	74,718	959,468	59,967	71,012
17	26	78,346	1026,824	60,401	67,356
18	26	81,718	1090,656	60,592	63,832
19	26	84,858	1151,125	60,586	60,469
19	26	42,429	545,568	28,714	48,935
20	26	45,441	594,503	29,725	48,935
21	26	48,351	642,548	30,598	48,046
22	26	51,157	689,587	31,345	47,039
23	26	53,861	735,538	31,98	45,95
24	26	56,465	780,343	32,514	44,806
25	26	58,972	823,971	32,959	43,628

Linha em negrito corresponde à idade em que foi realizado o desbaste.

Tabela 20. Tabela de produção para índice de sítio 22 m, para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste na ITC aos 20 anos.

Idade (anos)	Sítio (m)	Área Basal (m²/ha)	Vol (m³/ha)	IMA (m³/ha.ano)	ICA (m³/ha.ano)
4	22	4,844	21,229	5,307	
5	22	9,672	56,176	11,235	34,947
6	22	15,337	107,472	17,912	51,295
7	22	21,318	170,82	24,403	63,348
8	22	27,291	241,808	30,226	70,989
9	22	33,07	316,857	35,206	75,049
10	22	38,563	393,349	39,335	76,491
11	22	43,730	469,48	42,68	76,131
12	22	48,560	544,063	45,339	74,583
13	22	53,062	616,354	47,412	72,291
14	22	57,251	685,916	48,994	69,562
15	22	61,148	752,524	50,168	66,607
16	22	64,776	816,09	51,006	63,566
17	22	68,154	876,622	51,566	60,532
18	22	71,305	934,188	51,899	57,566
19	22	74,248	988,891	52,047	54,703
20	22	77,000	1040,857	52,043	51,966
20	22	38,500	493,308	24,665	42,099
21	22	41,124	535,407	25,496	42,099
22	22	43,665	576,788	26,218	41,382
23	22	46,121	617,359	26,842	40,571
24	22	48,494	657,051	27,377	39,692
25	22	50,785	695,817	27,833	38,766

Linha em negrito corresponde à idade em que foi realizado o desbaste.

Tabela 21. Tabela de produção para índice de sítio 18 m, para povoamentos de *Pinus taeda* L. situados na região Centro Sul do Paraná com simulação de desbaste na ITC aos 21 anos.

Idade (anos)	Sítio (m)	Área Basal (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	ICA (m ³ /ha.ano)
4	18	3,94	16,858	4,214	
5	18	8,062	45,799	9,16	28,941
6	18	12,993	89,17	14,862	43,372
7	18	18,272	143,52	20,503	54,35
8	18	23,596	205,084	25,635	61,564
9	18	28,788	270,708	30,079	65,625
10	18	33,753	338,032	33,803	67,324
11	18	38,445	405,393	36,854	67,361
12	18	42,85	471,674	39,306	66,281
13	18	46,97	536,154	41,243	64,48
14	18	50,814	598,395	42,742	62,241
15	18	54,4	658,152	43,877	59,757
16	18	57,745	715,315	44,707	57,163
17	18	60,866	769,862	45,286	54,547
18	18	63,782	821,831	45,657	51,969
19	18	66,509	871,296	45,858	49,465
20	18	69,063	918,355	45,918	47,059
21	18	71,458	963,119	45,863	44,764
21	18	35,729	456,464	21,736	36,638
22	18	38,034	493,101	22,414	36,638
23	18	40,267	529,115	23,005	36,014
24	18	42,43	564,434	23,518	35,319
25	18	44,522	599,006	23,96	34,572

Linha em negrito corresponde à idade em que foi realizado o desbaste.

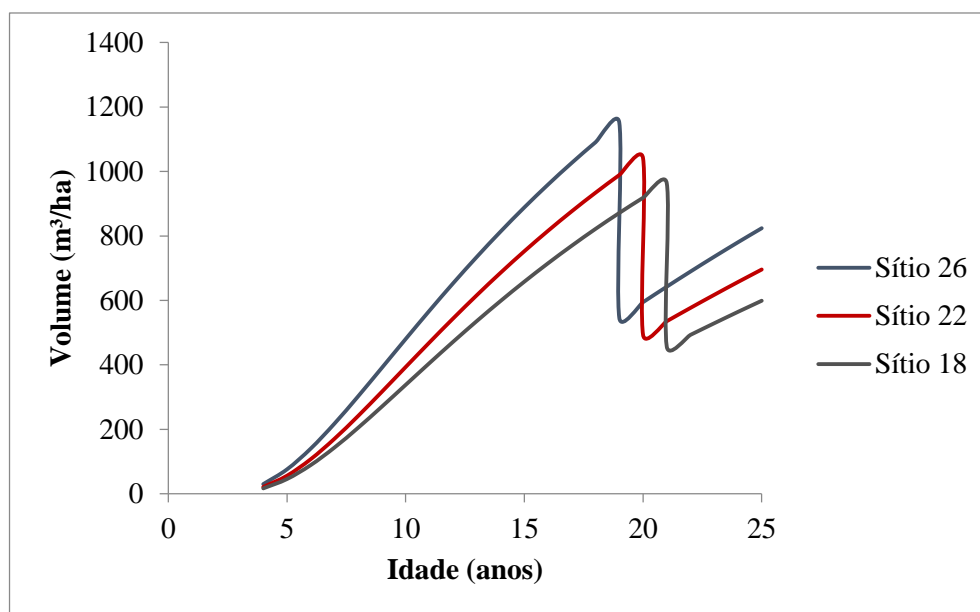


Figura 21. Curvas de produção em volume (V) com simulação de desbastes na ITC para os três sítios considerados.

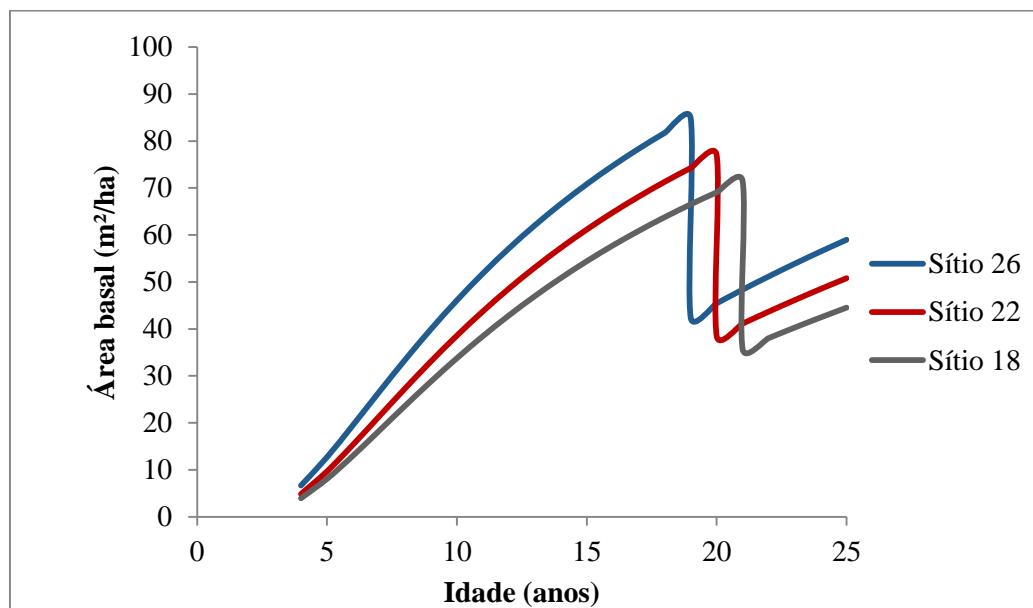


Figura 22. Curvas de produção em área basal (G) com simulação de desbastes na ITC para os três sítios considerados.

Analisando-se os resultados apresentados nas Tabelas 14, 17 e 20, sendo que na Tabela 14 que apresenta a produção sem desbaste com volume final aos 22 anos de 1137,131 m³/ha, na Tabela 17 que apresenta a produção gerada com a 1ª simulação desbaste, com volume final aos 22 anos de 736,259 m³/ha e na Tabela 20 considerando a produção gerada com a 2ª simulação com volume aos 22 anos de 535,407 m³/ha. Somando-se os volumes desbastados que é de 134,095 m³/ha para o 1º desbaste e 114,879 m³/ha para o 2º desbaste tem-se 985,229 m³/ha, de produção final aos 22 anos para a 1ª simulação. Para a 2ª simulação, o volume retirado no desbaste foi de 547,549m³/ha resultando uma produção bruta final aos 22 anos de 1124,337 m³/ha. Desta forma, observa-se uma diferença em relação à produção aos 22 anos sem considerar o desbaste, respectivamente, de 151,902 m³/ha 1ª simulação e de 12,794 m³/ha para a 2ª simulação, esta diferença representa para a empresa a decisão de fazer ou não os desbastes, gerando ou não custos com estas intervenções, mas melhorando a qualidade da madeira, pois não tem um significativo aumento no volume bruto final.

6. CONCLUSÕES

Com base nos dados utilizados e nas análises realizadas, pode-se concluir o seguinte:

- O modelo de Schumacher mostrou-se adequado para expressar o índice de sítio para a espécie *Pinus taeda* L. para o conjunto dos dados como também para cada região avaliada separadamente.
- Os modelos de crescimento e produção ajustados (modelo 1 e 2) não conseguiram exemplificar o efeito do desbaste, apresentando estatísticas inadequadas.
- O modelo de produção de Clutter mostrou-se o mais adequado para a obtenção das estimativas de volume e área basal, fornecendo valores coerentes do ponto de vista estatístico e biológico.
- As tabelas de produção construídas apresentaram valores coerentes do ponto de vista biológico, e também quando comparadas com a de outros autores.
- As tabelas de produção com simulação de desbastes demonstraram o potencial do modelo de crescimento e produção de Clutter para povoamentos desbastados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF; **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**, Brasília-ABRAF, 2013, 150 p.

ABREU, E. C. R.; **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. UFLA, Lavras, 2000. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, 2000.

ACERBI JR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; **Modelo para Prognose do Crescimento e da Produção e Análise Econômica de Regimes de Manejo para *Pinus taeda***. Viçosa: Revista Árvore, v.26, n.6, 2002, p.699-713.

ALVES, M. V. G.; OLIVEIRA, R. A.; KOEHLER, H. S.; MELLO FILHO, B. **Diagnóstico do Setor Florestal no Estado do Paraná. In: 2º Congresso Latino Americano** La Serena – Chile: IUFRO, Anais. Instituto Florestal do Chile, 2006.

ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 435p.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. atual. ampl. Viçosa: Editora UFV, 2009, 548p.

CARAGLIO, Y., BARTHELEMY, D.; **Revisão crítica dos termos relativos ao crescimento e à ramificação de vegetais vasculares**. Original francês, Tradução de: Miroslava Rakocevic, Moacir Jose Sales Medrado e Jorge Ribasky. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. 101p.

CASTRO, R. R.; **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. UFV, Viçosa, 2007. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, 2007.

CLUTTER, J. C.; FORTSON, J. C.; PLENAAR, L. V.; BRISTER, G. H. e BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. 3. ed. New York: John Willey, 1983, 333p.

DA COSTA, L. P. E.; **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes de República Argentina**. UFSM, Santa Maria, 2008. 128 p. Tese (Doutorado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

DAVIS, K. P. **Forest management, regulation and valuation**. New York: McGraw-Hill, 1966. 519 p.

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. UFV, Viçosa, 2005, 135 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2005.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. UFV, Viçosa, 2000. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2000.

DIAS, A. N.; LEITE H. G.; CAMPOS J. C. C.; COUTOL. e CARVALHOA. F. **Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.731-739, 2005.

DORMAN, K.W. The genetics and breeding of southern pines. U.S. Department of Agriculture, **Agricultural Handbook**, 1976, 407p.

ELESBÃO, L. E. G.; **Crescimento e produção de *Pinus taeda* L. na região dos campos de cima da serra, Rio Grande do Sul**. UFSM, Santa Maria, 2008.75p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

FERRAZ FILHO, A. C.; **Sistema de prognose do crescimento e produção para *Pinus taeda* L. sujeito a regimes de desbastes e podas**. UFLA, Lavras, 2009.146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, 2009.

GONÇALVES, M.; **Avaliação de investimento em reflorestamentos de *Pinus* sob condições de incerteza**. UFPR, Curitiba, 2004. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e Tecnológicas), Universidade Federal do Paraná, 2004.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S.; **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Editora UFPR, 1998, 162p.

KOEHLER, A. B.; **Modelagem Biométrica e Morfometria em Povoamentos Jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze, em Tijucas do Sul, Estado do Paraná**. UFPR, Curitiba, 2009. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2009.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura de *Pinus* no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005, 154p.

LENHART, J.D. Estimating the amount of wood per acre in Loblolly and Slash Pine plantations in east Texas. General Technical Report. SE. USDA. Forest Service, n.42, p. 485-488, 1968.

MAACK, R.; **Geografia física do Estado do Paraná**. Editora José Olympio, Curitiba, 1981, 350 p.

MARCHIORI, J. N. D.; **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1996. 158 p.

MAESTRI, R., SANQUETTA, C. R., ARCE, J. E.; **Modelagem do Crescimento de Povoamentos de *Eucalyptus grandis* Através de Processos de Difusão**. Curitiba: Revista Floresta 33, (2), Jan/Jul 2003, p169-182.

MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; **Produção de *Pinustaeda* Na região de Cambará do Sul, RS.**SantaMaria: Revista Ciência Florestal, v.6,n.1, 1996, p.39-52.

MIRANDA, R. O. V. **Modelagem em nível de povoamento para *Eucaliptussp* com estratificação em classes de precipitação pluviométrica.** UNICENTRO, Irati,2012. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati,2012.

NASCIMENTO, F. A. F. **Modelagem biométrica e planejamento florestal otimizado utilizando a meta heurística enxame de partículas.** UNICENTRO, Irati, 2010. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati,2010.

NOGUEIRA, G. S. et al. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v.29, n.4, p.579-589, 2002.

OLIVEIRA, M. L. R. **Mensuração e Modelagem do Crescimento e da Produção de Povoamentos Não-Desbastados de Clones de Eucaliptos.** UFV, Viçosa, 2007. 119p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa,2007.

PELLICO NETTO.S.; BRENA. D. A.; **Inventário Florestal.** Curitiba: Editado pelos autores. 1997. 316p.

RETSLAFF, F. A. S. **Simulador para prognose da produção de *Pinus taeda* com diagrama de manejo da densidade associado à modelagem em classes de diâmetro 166 f.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba,2014.

RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear.** UFV, Viçosa, 1997. 109 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Viçosa,1997.

SANQUETTA,C.R.;**Pinus–Uma alternativa de mercado.** REMADE-Revistada Madeira, http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=257&subject=Manejo&title=Manejo; Acesso em 28 de Julho de 2012.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo florestal.** Santa Maria: Ed. FACOS, 2008. 566p.

SIQUEIRA, J. P. D. **Os conflitos institucionais da gestão florestal no Brasil – um benchmarking entre os principais produtores florestais internacionais.** UFPR, Curitiba, 2003. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2003.

SCHIMIZU, J. Y., **Pinus na Silvicultura Brasileira**, Embrapa Florestas. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/pinus_na_silvicultura_brasileira.html. Acesso em 30 de Julho de 2013.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEP, 1998. 463p.

SCOLFORO, J. R. S. **Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Lavras: IPEF, n. 45, 1993, p.40-47.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006.276p.

SULIVAN, A. D.; e CLUTTER, J. L.; **A simultaneous growth and yield for loblolly pine**. Forest Science, v. 18, n. 1, 1972, p.76-86.

TEMPS, M.; **Adição da Precipitação Pluviométrica na Modelagem do Crescimento e da Produção Florestal em Povoamentos não Desbastados de *Pinus taeda* L.** UFPR, Curitiba, 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná,2005.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; FERREIRA, R. L. C.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P.; **Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no sul do Brasil**. Santa Maria: Revista Ciência Florestal, vol. 12, número 1, Universidade Federal de Santa Maria, 2002, p.143-152.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield – application to mixed tropical forests**. CABI Publishing, Oxon, UK, 1994, 312p.