

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

LETÍCIA HREÇAY

**CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA PLANTIOS FLORESTAIS
COMERCIAIS DE *Pinus taeda* L. LOCALIZADOS NA REGIÃO OESTE
CATARINENSE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS
2013

LETÍCIA HREÇAY

**CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA PLANTIOS FLORESTAIS
COMERCIAIS DE *Pinus taeda* L. LOCALIZADOS NA REGIÃO OESTE
CATARINENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof. Dr^a. Veridiana Padoin Weber

DOIS VIZINHOS
2013

H873c Hreçay, Leticia.
Curvas de índice de sítio para plantios florestais comerciais de *Pinus taeda* L.localizados na região Oeste Catarinense / Leticia Hreçay – Dois Vizinhos :[s.n], 2013.
47f.:il.

Orientadora: Veridiana Padoin Weber
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal. Dois Vizinhos, 2013.
Bibliografia p.40-43

1.Espécies florestais. 2. *Pinus taeda* L 3. Celulose Irani S.A. I.Weber, Veridiana Padoin, orient.
II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná– Dois Vizinhos.III.Título

CDD: 634.9

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



TERMO DE APROVAÇÃO

CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA PLANTIOS FLORESTAIS COMERCIAIS DE *Pinus taeda* L. LOCALIZADOS NA REGIÃO OESTE CATARINENSE

por

LETÍCIA HREÇAY

Este Trabalho de Conclusão de Curso II foi apresentado em 19 de Setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Veridiana Padoin Weber
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Elisabete Vuaden
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. Mauricio Romero Gorenstein
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter me dado à vida e por ter me guiado a chegar até aqui.

Aos meus pais, Daniel Clóvis Hreçay e Rosecler Dal Molin Hreçay, por todo o incentivo e ensinamentos ao longo de toda essa caminhada.

Aos meus avós Izauro Hreçay e Nádia Hreçay, pelo carinho que sempre tiveram comigo, pela compreensão e pelos incentivos.

A minha avó Terezinha Ferronato Dal Molin, pela paciência e incentivo ao longo de todo o período da faculdade.

As minhas irmãs, Larissa e Luiza Francisca, pelos momentos de desabafo e atenção.

A minha querida orientadora, Prof. Dr^a. Veridiana Padoin Weber, pela oportunidade, carinho e paciência, pela dedicação e pelo aprendizado ao longo desse trabalho.

A minha tia Lizabete Maria Hreçay, por tudo o que fez e faz por mim, sempre me tratando com muito carinho e atenção.

A Celulose Irani S.A., em especial aos Engenheiros Florestais Lorenzo Teixeira de Melo da Silva e João Liz, por terem fornecido os dados necessários para a realização desse trabalho.

Pelo grande exemplo de amizade que se iniciou no primeiro dia na Universidade e também pelos momentos de companheirismo e descontração, que ficarão marcados para sempre em minha vida: Leiliane Klima.

A todos os meus amigos e colegas, pelos momentos de alegria, por terem me ajudado de uma forma ou de outra a chegar até aqui.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, muito obrigada!

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre” (Paulo Freire).

RESUMO

HREÇAY, Letícia. **Curvas de Índice de Sítio para Plantios Florestais Comerciais de *Pinus taeda* L. localizados na Região Oeste Catarinense.** 2013. Número total de folhas (44f). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2013.

Este trabalho teve por objetivo construir curvas de índice de sítio para a espécie *Pinus taeda* L., em plantios pertencentes à empresa Celulose Irani S.A. De maneira mais específica, buscou-se determinar a relação hipsométrica pelo ajuste de equações de regressão, determinar a relação existente entre as variáveis altura dominante e idade, testar e selecionar equações de altura dominante em função da idade, construir as curvas de índice de sítio para todo o povoamento florestal. A base de dados foi composta por 632 parcelas temporárias de aproximadamente 400m² sem desbaste, em povoamentos dessa espécie com idades entre 7 a 14 anos, pertencentes à empresa Celulose Irani S.A. Mediu-se o DAP de todas as árvores e altura das 15 primeiras árvores das parcelas, juntamente com a altura das dominantes pelo princípio de Assmann. Para a estimativa da relação hipsométrica utilizou-se dados oriundos de inventário ajustada pelo modelo de Stofells. Com a análise de covariância da relação hipsométrica, resultou na estratificação dos dados por idade e espaçamento, onde a variável idade influenciou na relação hipsométrica e por isso foi realizado o ajuste do modelo de Stofells para estimar a altura em cada idade. Para a estimativa da altura dominante utilizou-se dados oriundos de inventário, ajustada pelo modelo de Chapman-Richards com 2 coeficientes. A partir do modelo selecionado construiu-se a curva guia e foi adotada a idade de referência de 13 anos, o qual permitiu a geração de um conjunto de 9 curvas monomórficas para os índices de sítio, sendo o menor 6 e o maior 22 m.

Palavras-chave: Altura dominante. Relação hipsométrica. Modelos matemáticos. Curva guia.

ABSTRACT

HREÇAY, Leticia. **Site index curves for forest commercial planting of Pinus taeda L. located in region west of Santa Catarina.** 2013. (eg: 44p). Final course work of (Graduating in Forest Engineer) Federal Technology University - Parana. Dois Vizinhos. 2013.

This study aimed to construct site index curves for the species *Pinus taeda* L. in plantations owned by Celulose Irani S.A., by using mathematical modeling. I sought to determine the hypsometric relation by adjusting regression equations to determine the relation between the variables dominant height and age, test and select equations dominant height according to age, build curves site index for the entire forest stand. The data base was composed of 632 temporary plots between the ages of 7 and 14 years, where were measured the DAP of all Individuals that comprised the plots and the height of 20% of the trees, with the height of the four thicker trees together. To estimate the relation hypsometric, I used data coming from the inventory, adjusted by Stofells model and to estimated the dominant height according to age, the best result was found by Chapman-Richards model with two coefficients. From the selected model the guide curve was built and the age of 13 was the one that allowed us to create a group of 9 monomorphic cues to the site index, the lowest site index value was 6 and the highest rate of site value 22.

Keywords: Dominant height. Relation hypsometric. Mathematical modeling. Guide curve.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	12
2.2 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA	14
2.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA	20
3.2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO	21
3.3 MODELAGEM MATEMÁTICA PARA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA	22
3.3.1 Análise de covariância (ANCOVA)	23
3.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DA ALTURA DOMINANTE EM FUNÇÃO DA IDADE	24
3.4.1 Classificação de Sítio Florestal	24
3.5 CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS	25
3.5.1 Erro Padrão da Estimativa Absoluto (S_{yx})	25
3.5.2 Erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx\%}$)	26
3.5.3 Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj})	26
3.5.4 Determinação do F Calculado	27
3.5.5 Análise Gráfica dos Resíduos	27
3.6 UTILIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS PARA SELEÇÃO DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO	28
3.7 CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1.1 Ajuste dos modelos testados para relação hipsométrica	29
4.1.2 Ajuste dos modelos testados para classificação de sítios	34
5 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICE A – Gráficos dos Resíduos do Ajuste da Equação da Altura Dominante para a Classificação de Sítios	44

1 INTRODUÇÃO

O considerável aumento da pressão sobre as florestas nativas no Brasil provoca a diminuição do número de espécies, que muitas vezes, resulta na extinção de algumas delas. Para tanto, torna-se indispensável à contínua implantação de florestas e estudos para o aumento da produção madeireira, para que seja possível atender a demanda de matéria prima nas indústrias, e ao mesmo tempo, conservar os remanescentes das florestas nativas.

Com o intuito de diminuir a pressão sobre as florestas nativas iniciaram-se, no Brasil, por volta da década de 50, os primeiros plantios de *Pinus taeda* L. Atualmente, esses plantios apresentam um grande crescimento da sua produção, fazendo com que se torne matéria prima de fundamental importância para movimentar o setor florestal, um dos setores mais produtivos pertencentes à economia brasileira (SHIMIZU, 2008, p.02).

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2012, p.25), a indústria de base florestal emprega em grande escala florestas plantadas, sobretudo dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. As espécies de *Eucalyptus* ocupam 73% dos plantios (4,75 milhões de ha), plantadas na Região Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais. O *Pinus* constitui 23% dos plantios (1,75 milhões de ha), nos estados da região Sul, principalmente nos estados do Paraná e Santa Catarina.

De acordo com Ferreira et al. (2001), o gênero *Pinus* é conhecido por ser pouco exigente nutricionalmente, por apresentar rápido crescimento e ausência dos sintomas de deficiência, principalmente nas primeiras rotações.

O *Pinus taeda* é a principal espécie plantada na região Sul, com fácil adaptabilidade às condições edafoclimáticas similares às de sua região de ocorrência natural no sudeste dos Estados Unidos da América. A espécie destaca-se como principal fonte de matéria prima para a produção de madeira serrada, chapas, processados, celulose e papel (ABRAF, 2012, p.25).

Segundo VASQUES et al. (2007, p.446), o *Pinus* é responsável por abastecer uma cadeia produtiva importante para a região Sul, bem como para todo o país, pois além de possuir várias finalidades de uso, serve como fonte de riqueza e desenvolvimento social, contribuindo para a conservação ambiental e preservação de matas nativas.

O conhecimento sobre o comportamento e desenvolvimento do *Pinus* é de fundamental importância, pois a partir disso é possível aperfeiçoar a sua utilização, gerando produtos de melhor qualidade, satisfazendo o consumidor e garantindo retorno do capital investido pelo produtor. Para tanto, se torna indispensável entender os processos que ocorrem na produção dos recursos florestais, pois permitem que se estabeleçam critérios de manejo mais adequados a sítios específicos, determinando o melhor sistema de manejo.

Para Miguel et al. (2011, p.02) a qualidade de sítio pode ser expressa pela capacidade produtiva florestal de uma dada área, sendo determinada pela interação de fatores ambientais e influenciadas pelas práticas de manejo florestal.

Para a formação de povoamentos florestais é necessário optar por procedimentos que melhor atendam o objetivo da atividade. Dentre os diversos métodos existentes, o que recebe maior destaque é a classificação de sítios florestais. A partir dessa prática é possível avaliar a capacidade produtiva de uma determinada área, correlacionando com a espécie que se deseja produzir. Dessa maneira, a maioria das decisões adotadas no manejo florestal é fundamentada na classificação de sítio (MIGUEL et al., 2011, p.02).

A classificação das propriedades florestais quanto aos possíveis níveis de produtividade é de fundamental importância, pois da maior ou menor produtividade do sítio dependem: a dimensão dos produtos vindos da floresta nas várias idades; a viabilidade ou não de projetos florestais; as diferentes respostas de certas culturas florestais; a identificação do potencial de produtividade da propriedade florestal, além de fornecer referência para o diagnóstico e prognose da produção florestal (MIGUEL et al., 2009, p. 61).

Portanto, para aumentar as perspectivas de rentabilidade no cultivo do *Pinus taeda* é indiscutível a necessidade do emprego de um manejo adequado ao desenvolvimento dessa espécie. Por isso, é de suma importância que sejam realizados estudos sobre capacidade produtiva local para o propósito do manejo florestal, levando em consideração as características do povoamento florestal a ser estudado e as variáveis dendrométricas escolhidas para o modelo desejado. Para isso, faz-se necessário um planejamento fundamentado em dados coletados e analisados dentro de um âmbito técnico para que se opte pela melhor escolha, resultando assim, em um bom retorno do investimento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo construir curvas de índice de sítio, para a espécie *Pinus taeda* L., em plantios pertencentes à empresa Irani Celulose S.A.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Determinar a relação hipsométrica pelo ajuste de equações de regressão;
- Verificar a influência da idade e espaçamento na relação hipsométrica;
- Testar e selecionar equações de altura dominante em função da idade;
- Construir as curvas de índice de sítio para todo o povoamento florestal;

1.2 JUSTIFICATIVA

As empresas florestais têm procurado ao máximo aperfeiçoar suas atividades com a finalidade de maximizar seus lucros e minimizar seus custos, mantendo a qualidade. Devido à preocupação com o gerenciamento florestal, as empresas necessitam do conhecimento do potencial produtivo de suas florestas. Assim, a classificação dos sítios florestais é uma prática cada vez mais comum e fundamental para o estudo do crescimento e estruturação da produção florestal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

Pertencente à família Pinaceae, o *Pinus taeda* L. é oriundo das regiões Sul e Sudeste dos Estados Unidos da América, a qual possui precipitação pluviométrica média anual que varia entre 900 e 2.200 mm, distribuída ao longo do ano, apresentando até 2 meses de seca e temperatura média anual de 13°C a 19°C, podendo ter mínimas de 4°C (SIXEL, 2012, p. 22).

A espécie ocorre naturalmente em 14 estados, desde o sul de Nova Jersey até a região centro-sul da Flórida e oeste do Texas. É uma espécie que apresenta grande resistência e versatilidade devido à facilidade de regeneração e rápido crescimento, e assim, se tornou a espécie florestal preferida no sudeste americano. Ao longo dos anos expandiu-se para algumas partes da Ásia, África e América do Sul (BIZON, 2005, p.13).

O clima das áreas de ocorrência natural é úmido, temperado quente com verões longos e o inverno é ameno. Um dos principais fatores que limitam a distribuição do *P. taeda* são as baixas temperaturas no inverno nas regiões norte e déficit hídrico nas regiões oeste do país (HIGA et al., 2008, p.10).

No sul dos Estados Unidos, o *Pinus taeda* é a espécie florestal economicamente mais importante, pois abrange cerca de 11,7 milhões de hectares (HIGA et al., 2008, p.10). As áreas plantadas com Pinus no Brasil totalizam 1.641.892 ha, e no sul se distribuem em 658.707 ha no Paraná, 538.254 ha em Santa Catarina e 164.806 ha no Rio Grande do Sul (ABRAF, 2011, p.32).

O gênero *Pinus* é classificado dentro de dois subgêneros distintos: *Haploxylon* e *Dyploxylon*. No subgênero *Haploxylon*, estão as espécies produtores de madeira com baixa densidade, conhecidas como madeiras moles, empregadas em acabamentos, marcenaria e artesanato. No subgênero *Diploxylon*, estão as espécies que produzem madeira dura, sendo esta, muito empregada para uso em estruturas, móveis, chapas, embalagens, celulose e papel, as quais engloba boa parte das espécies plantadas e que obtiveram sucesso no Brasil para fins de comercialização, como é o caso do *Pinus taeda* (SHIMIZU, 2008, p.02).

No Brasil, o *Pinus taeda* foi inserido em 1936, em decorrência dos trabalhos de importação de sementes do Instituto Florestal de São Paulo. O rápido crescimento e características ideais da madeira de *P. taeda* para as indústrias

possibilitou a substituição da madeira de *Araucaria angustifolia*, a qual era provinda de desmatamento de florestas nativas do sul do país. Na década de 60, a silvicultura do *Pinus taeda* foi apoiada com a Lei de Incentivos Fiscais, promovido pelo governo federal, que vigorou no período de 1967 a 1989 e que tinha por finalidade solucionar a escassez de matéria prima e regulamentar a exploração e o uso das florestas, que estava sendo conduzida de maneira desenfreada (SIXEL, 2012, p.21).

Segundo Ferreira (2005, p.04), a espécie *P. taeda* apresenta elevado incremento volumétrico, e também baixo teor de resina na madeira. Alcançam incrementos médios anuais (IMA) maiores que 40m³/ha/ano com 18 anos de idade, sendo um dos maiores níveis de produtividade do mundo. De acordo com Higa et al. (2008, p.10) é uma espécie que responde bem aos tratamentos silviculturais e às práticas de manejo.

De acordo com Schumacher et al. (2005, p.23), o *P. taeda* se desenvolve em uma larga variedade de solos, e apresenta bom crescimento em sítios que tem como características bastante umidade e pouca drenagem em seus solos, podendo ocorrer também em partes mais secas. A espécie possui ótimo crescimento em solos moderadamente ácidos de textura média.

Como é uma espécie que apresenta ampla capacidade de adaptação às condições climáticas, diversidade de uso e rápido crescimento, o *P. taeda* tem sido uma das espécies mais indicadas para plantios comerciais nos planaltos da Região Sul do Brasil. A espécie possui como principais características: a) madeira de cor clara; b) madeira com fibra longa, apropriada para produção de papel de alta resistência para embalagens; e c) rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para agricultura e, assim, agregando valor a terra com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo e reconstituição de ambientes propícios à regeneração natural em locais degradados (SHIMIZU, 2008, p.02).

A madeira de *P. taeda* apresenta alta qualidade e é empregada em diversas finalidades como indústria laminadora, serrados, fabricação de móveis, papel e celulose, painéis de chapas e fibras e também os resíduos podem ser aproveitados como biomassa para geração de energia (MARTO, 2009, p.01).

2.2 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

A altura é uma característica importante da árvore ou do povoamento, necessária para a determinação do volume. A altura de uma árvore pode ser entendida como o comprimento total em forma linear, desde sua base no solo, ao seu topo, percorrendo toda extensão de seu fuste. De um modo geral, a altura das árvores pode ser obtida por processos de medição direta, indireta e de estimativas (MIGUEL, 2009).

No inventário florestal esta relação é empregada para fornecer as alturas de árvores que tiveram apenas o diâmetro medido, e a partir de um ajuste de relação hipsométrica é gerada uma equação matemática que estime a altura das demais árvores dentro das parcelas que não foram medidas suas alturas em campo (FINGER, 1992).

Segundo Franco (1996), a relação hipsométrica é uma alternativa para diminuir custos no inventário florestal. No entanto, a relação altura/diâmetro varia de acordo com a espécie, idade, sítio, densidade, posição sociológica e tamanho de copa, fazendo com que os ajustes sejam feitos por parcela a fim de controlar as fontes de variação que afetam esta relação.

De acordo com Miguel (2009) quanto maior for a uniformidade de um povoamento florestal, maior será a correlação entre diâmetro e altura e maior será o sucesso de utilização da relação hipsométrica, mas vale ressaltar que por mais uniforme que seja o povoamento, esta correlação será inferior à relação diâmetro e volume.

A vantagem da utilização da relação hipsométrica é que não necessita conhecer a idade das árvores ou do povoamento, e tão pouco a qualidade de sítios. Sendo assim, se faz necessário que ajuste várias relações hipsométricas para uma determinada base de dados, a fim de conseguir encontrar um modelo que consiga captar o máximo da relação diâmetro altura e posteriormente estimar com certa precisão a altura das demais árvores do povoamento no qual foi medido apenas o diâmetro (MIGUEL, 2009).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO

O conhecimento sobre a produtividade atual e a estimativa de produção no futuro das florestas plantadas é uma condição essencial para a gestão dos recursos madeireiros dentro de um empreendimento florestal. Com o intuito de obter tais estimativas, comumente são utilizados modelos de crescimento e produção que buscam descrever o comportamento da floresta, com base em fatores mensuráveis, como a idade do povoamento, densidade populacional e também alguma variável que caracterize a qualidade do local em questão, que geralmente se emprega o índice de sítio (BIZON, 2005, p.09).

O crescimento em diâmetro e altura, em biomassa e diâmetro de copa, a estrutura do povoamento e o manejo a ser adotado na atividade florestal são fatores que influenciam diretamente na produtividade dos sítios, assim como, a definição dos tratamentos silviculturais como podas, desbastes, definição da rotação técnica e econômica, práticas de fertilização e correção do solo, estimativas, diagnósticos e prognoses (FIGUEIREDO, 2005, p. 129).

Segundo Campos & Leite (2009), a avaliação da capacidade produtiva pode ser definida em três categorias: avaliação da qualidade do local pela vegetação indicadora, avaliação por fatores climáticos, edáficos, fisiográficos e bióticos e avaliação por meio da relação altura dominante e idade, com a definição de índice de sítio.

O índice de sítio vem sendo empregado para a classificação produtiva do *Pinus taeda* em diversas regiões. Diversos trabalhos relevantes sobre classificação de sítio tem sido desenvolvidos em diferentes locais nos últimos anos, em que foram considerados diferentes métodos de ajustes dos modelos matemáticos, como os estudos realizados por Selle (1993); Selle et al.(1994); Tonini et al.(2002).

De acordo com Scolforo (2006), sítio florestal é definido como a capacidade de uma região em produzir madeira e, quando associado à ecologia, o sítio é definido como expressões integradas de todas as influências biológicas e ambientais no crescimento das árvores.

A qualidade do sítio é definida como a capacidade que uma área possui para o crescimento da árvore e que apresenta como resposta o desenvolvimento de uma determinada espécie em relação às condições ambientais (edáficas, climáticas e

bióticas) existentes em um determinado local (PRODAN et al., 1997 *apud* DRESCHER, 2004, p.24).

O conhecimento da capacidade produtiva de qualquer área é a principal condição para o planejamento das atividades florestais, como: escolha da espécie, formação do povoamento e aproveitamento dos recursos florestais. Também na definição de regimes de manejo, a qualidade do sítio deve ser considerada (DRESCHER, 2004, p.25).

Para obter a estimativa da qualidade do sítio florestal, pode se optar pelos métodos diretos ou indiretos. Para o emprego dos métodos diretos considera-se uma área que simplesmente suporta árvores em crescimento, sem considerar diretamente as características do sítio. Para os métodos indiretos considera-se a capacidade da área em sustentar o crescimento, levando em consideração as características do sítio como clima, solo e vegetação (TONINI et al., 2002, p.143).

A mensuração da altura das árvores, em determinada idade, é apresentada como indicador mais estável e de fácil aplicação. O crescimento em altura está fortemente correlacionado com o crescimento potencial do volume. Dentre todos parâmetros observados, a altura dominante é a variável dendrométrica que melhor representa o sítio florestal, pois apresenta facilidade de determinação a campo, possui boa correlação com a produção volumétrica, indica a qualidade do sítio para todas as idades do povoamento e é uma variável que não depende da densidade do povoamento (FIGUEIREDO, 2005, p.17).

Os métodos que se baseiam na altura para classificação da qualidade do sítio usam as curvas de índice de sítio. O índice de sítio expressa em termos médios o desenvolvimento em altura das árvores dominantes ou dominantes e co-dominantes em uma idade definida como idade de referência, a qual deve ser a mais próxima possível da idade de rotação (SCOLFORO, 1997).

De acordo com Campos e Leite (2009), para a construção das curvas de índice de sítio, utilizam-se os dados de idade e altura dominante obtidos através de parcelas temporárias, parcelas permanentes ou análise de tronco completa (ANATRO).

As parcelas permanentes permitem a obtenção de dados de maneira mais segura para a construção de curvas de índice de sítio, pois há o acompanhamento do desenvolvimento das variáveis obtidas das árvores contidas dentro de cada parcela, advindas do inventário contínuo. Todavia, esse processo exige certo tempo

de acompanhamento e dependendo do tempo, se torna custoso por necessitar de uma série de medições periódicas (CAMPOS E LEITE, 2009).

As parcelas temporárias são muito utilizadas em locais onde não existem dados de parcelas permanentes, ou em árvores cujos anéis de crescimento não são definidos. São utilizadas informações de pares de dados de altura e idade, que tem origem em inventários, que quando comparados a outros métodos apresentam baixo custo e curto espaço de tempo (CAMPOS E LEITE, 2009).

A construção de índices de sítio através de parcelas temporárias resulta em grande intensidade amostral, pelo fato de ser obtido por parcela apenas dados de altura e idade. As parcelas temporárias não apresentam erros correlatos, pois a cada amostragem são selecionadas novas parcelas de forma independente (SCOLFORO, 1997).

A análise de tronco é um procedimento muito eficiente para a classificação de sítios. De acordo com Scolforo (1997), o crescimento em diâmetro de uma árvore é dado pela sobreposição das camadas de madeira. Em regiões onde há grande variação climática a identificação do crescimento em um ano é facilitada, sendo que há duas fases de crescimento distintas no decorrer do ano.

Segundo Campos e Leite (2009), através da análise de tronco completa é possível reconstituir o desenvolvimento em diâmetro e da área seccional em diferentes alturas, altura da árvore em diferentes idades, volume e fator de forma. Todavia, esse procedimento só é possível ser aplicado quando apresenta nitidez nos anéis de crescimento, sendo amplamente empregado em espécies de coníferas.

De acordo com Scolforo (2006), existem várias definições sobre árvores dominantes, sendo que o mais utilizado foi descrito por Assmann, no qual é definido como a altura média das 100 árvores mais grossas por hectare.

A altura das árvores dominantes é a melhor variável para caracterização de um sítio florestal, pois é possível determinar a qualidade do sítio, sendo que há facilidade para determiná-la em campo. Essa variável possui boa correlação com a produção em volume, indica a qualidade do sítio em todas as idades e é independente da densidade populacional (MIGUEL, 2009, p.21).

A altura alcançada pelo povoamento em uma determinada idade é definida como idade de referência. A escolha da idade de referência é feita de forma arbitrária, que geralmente é próxima à idade técnica de colheita (SCHNEIDER, 2008).

De acordo com Girardin e Broquen (1995, p.58), povoamentos que fazem uso da altura dominante para indicar as condições de sítio, devem se encaixar em alguns requisitos como:

- Ao amostrar um povoamento, este não deve encontrar-se no estado juvenil, pois nessa fase o crescimento sofre variação e pode ser interferido por outros fatores.
- As densidades populacionais devem se encontrar entre 900 e 2500 árvores por hectare para que a altura dominante não seja afetada.
- Durante as práticas silviculturais as árvores dominantes não podem ter sido retiradas.
- É importante que as árvores dominantes apresentem bom estado sanitário.

Batista e Couto (1986, p.35), utilizaram a altura como expressão da qualidade do sítio e através de métodos amostrais obtiveram dados para então determinar dois tipos de curvas: as curvas harmônicas ou anamórficas e as naturais ou polimórficas.

Segundo Schneider (2008), para a construção de curvas anamórficas necessita-se determinar a curva mestra, com base nos dados medidos em campo de altura dominante por idade. Com a construção da curva mestra extrapolam-se curvas em proporção para cima e para baixo, sendo realizada pela diferença relativa da curva mestra.

As curvas anamórficas se caracterizam por apresentarem a mesma relação de distância entre as curvas da mesma família, ou seja, os coeficientes que representam a inclinação da curva (β_1 ou β_2) são constantes para todas as curvas de sítio e, sendo assim, o ponto de inflexão é o mesmo para todas as curvas. Ocorre variação de valores, somente em relação ao ponto de intersecção da constante β_0 (SCOLFORO, 1997; CAMPOS E LEITE, 2002).

Para Schneider (2008), as curvas polimórficas se caracterizam por possuir uma forma específica em cada índice de sítio, sendo que descrevem o crescimento real dos povoamentos. As variáveis altura dominante e idade são comparadas ao longo do crescimento da espécie. Essas curvas só podem ser obtidas tomando dados periódicos de parcelas permanentes ou análise de tronco completa. Uma exigência para utilizar as curvas polimórficas é que o local pertencente ao mesmo índice de sítio seja homogêneo.

Para a construção da curva mestre é necessário que seja selecionado um modelo de regressão da variável altura dominante em função da idade, o qual representará a curva média da regressão, que se origina dos dados de altura dominante por idade (SCHNEIDER, 2008).

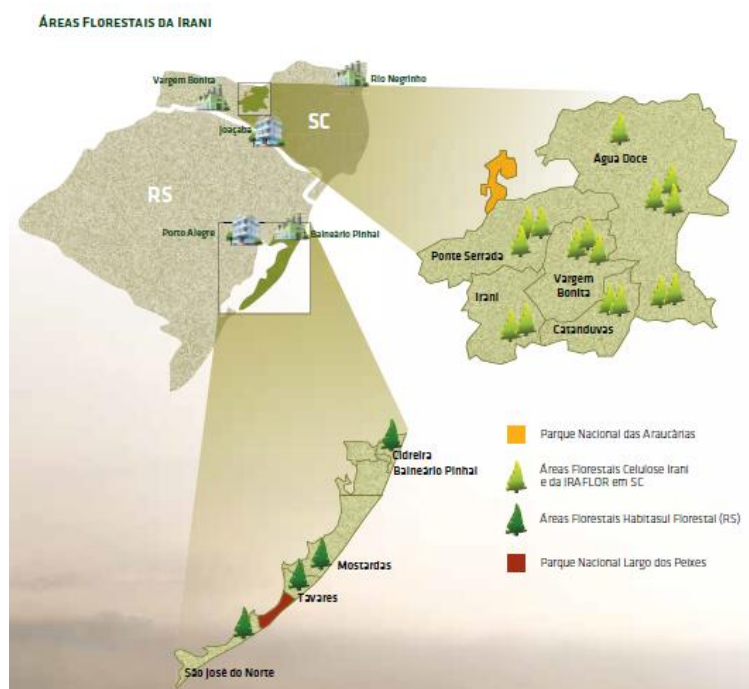
A fim de determinar as classes de sítios bem como seus respectivos índices, define-se a idade de referência ou idade base, que geralmente utiliza-se a idade mais próxima da idade de rotação do povoamento em questão, e em seguida, é calculado por meio de um modelo matemático ajustado o índice de sítio na idade de referência (FIGUEIREDO, 2005, p.28).

Estudos sobre classificação de sítios e modelos matemáticos que descrevam o crescimento e produção florestal ainda são poucos no Brasil. Somente algumas empresas possuem florestas classificadas e mapeadas, em termos de capacidade produtiva e poucas possuem um modelo de crescimento e produção para suas florestas (MIGUEL et al., 2011, p.03).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA

A Celulose Irani S/A possui uma área total de 29.781 hectares de terras no estado de Santa Catarina, distribuídas em 14 propriedades situadas em cinco municípios: Água Doce, Catanduvas, Irani, Ponte Serrada e Vargem Bonita. São 13.967 hectares de florestas plantadas, sendo 12.516 de *Pinus* spp. para produção de celulose e papel e 1.451 de *Eucalyptus* spp. para a produção de energia, conforme Figura 01 (RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE CELULOSE IRANI S.A., 2012).



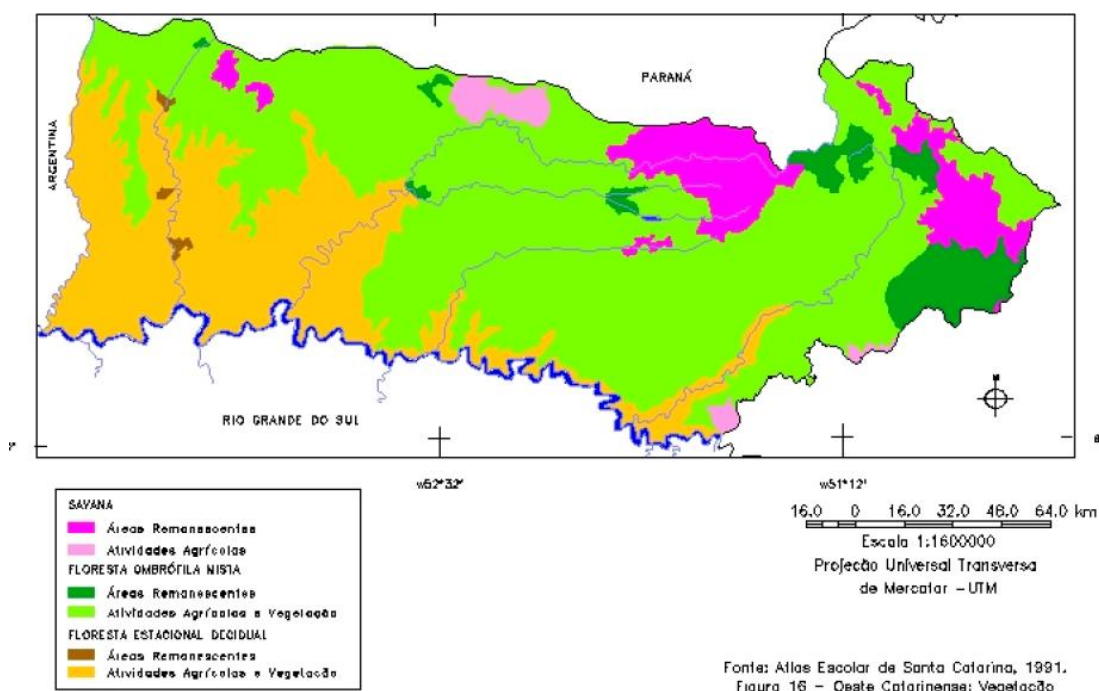
**Figura 01 – Áreas Florestadas da empresa Celulose Irani S.A.
Fonte: Relatório de Sustentabilidade Celulose Irani S.A. (2012).**

De acordo com o Plano de Manejo da empresa, as áreas destinadas à produção correspondem cerca de 47% do total e estão intercaladas, em forma de mosaicos, com Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, devidamente averbadas, cuja área excede o obrigatório pela legislação em 5%, além de outras áreas de floresta nativa, totalizando cerca de 43% das propriedades da Empresa (RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE CELULOSE IRANI S.A., 2012).

3.2 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

De acordo com a classificação de Köppen, o clima geral da região é caracterizado como Cfa, ou seja, mesotérmico subtropical, com verões quentes e sem estação seca (SECRETARIA DO ESTADO DE DESENVOLVIMENTO DE JOAÇABA-SC, 2003).

A vegetação no Oeste Catarinense atualmente se encontra bastante descaracterizada devido à ação antrópica. De forma original, nessa região, ocorriam as regiões fitoecológicas: Savana (campos), Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucárias) e Floresta Estacional Decidual (Floresta Latifoliada). (WELTER, 2006, p.52), conforme Figura 02.



**Figura 02- Mapa da Vegetação do Oeste Catarinense.
Fonte: Welter (2006).**

Segundo dados da Secretaria do Estado de Desenvolvimento Regional de Joaçaba, SC (2003), a precipitação média anual é de 1.500 a 1.700mm, e a temperatura média anual é de 17°C.

A classificação de solos existente para as áreas da empresa, comumente encontrados na região Oeste do Estado, são os solos do tipo Latossolo Bruno/Roxo Álico A húmico, com textura muito argilosa. O relevo da região se caracteriza em suave ondulado (EMBRAPA, 2004).

De acordo com Welter (2006, p.40), o relevo do estado de Santa Catarina é dividido em três unidades geomorfológicas: Planície Costeira, Serras Litorâneas e no Oeste do Estado encontra-se o Planalto Ocidental, o qual apresenta altitudes que decrescem no sentido Leste para Oeste, onde há muitas Serras. A região Oeste do Estado é subdividida em Região dos Planaltos que corresponde ao Planalto dos Campos Gerais e Planalto Dissecado do Rio Iguaçu-Rio Uruguai.

A unidade do Planalto Dissecado do Rio Iguaçu-Rio Uruguai, tem como característica um relevo bastante dissecado, com vales profundos e vertentes escalonadas em patamares. O Planalto dos Campos Gerais apresenta um relevo pouco dissecado, que é representado em blocos, conhecido regionalmente por Planalto de Palmas, Planalto de Capanema, Planalto de Campos Novos e Planalto de Chapecó, situando-se em cotas altimétricas entre 600 a 1200 metros. (WELTER, 2006, p.43).

3.3 COLETA DE DADOS

Para a realização do presente estudo os pares de dados de diâmetro, altura total, altura dominante e idade foram obtidos de parcelas temporárias pertencentes à empresa Celulose Irani S.A.

O inventário florestal foi realizado no ano de 2012, quando foram medidas 632 parcelas circulares com 11,28m de raio, onde foram medidas a circunferência à altura do peito (CAP) de todos os indivíduos pertencentes à parcela com o auxílio de uma fita métrica, e as alturas de 20% das árvores pertencentes à parcela. Além disso, foram medidas as alturas das quatro árvores mais grossas por parcela, correspondentes das 100 árvores mais grossas por hectare com o auxílio do hipsômetro Vertex.

3.4 MODELAGEM MATEMÁTICA PARA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Para o estudo da relação hipsométrica foram utilizados dados de altura e diâmetro, correspondentes a um total de 9752 árvores. Para o ajuste da variável altura total (h) em função do diâmetro (DAP) foram testados os modelos de relação hipsométrica apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Modelos matemáticos testados para o ajuste da relação hipsométrica em povoamentos de *Pinus taeda*, em Santa Catarina.

Equação	Modelo	Autor
1	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$	Curtis
2	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2$	-
3	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d} + \beta_2 \cdot \frac{1}{d^2}$	-
4	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	Stofells
5	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	Henricksen
6	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$	-
7	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2$	-
8	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d} + \beta_2 \cdot \frac{1}{d^2}$	-
9	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 d^2$	Trorey
10	$\frac{d^2}{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 d^2$	-
11	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d^2$	-
12	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$	-
13	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d} + \beta_2 \cdot d$	-
14	$\frac{1}{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$	-

Onde: h=Altura Total (m); β_0 = Coeficiente Linear; β_1 e β_2 = Coeficientes Angulares; d=diâmetro (cm).

3.3.1 Análise de covariância (ANCOVA)

A análise de covariância (ANCOVA) foi utilizada para verificar a existência ou não de diferenças de inclinação e/ou de níveis da relação hipsométrica entre as diferentes idades e os diferentes espaçamentos. A análise foi processada no pacote estatístico SAS V.9.1, utilizando-se o procedimento PROC GLM e a soma dos quadrados tipo III. As idades dos povoamento eram de 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, e 14 anos e os espaçamentos de plantio dos povoamentos foram de 2,5 x 2,0 m, 2,5 x 2,5 m e 3,0 x 3,0 m.

3.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DA ALTURA DOMINANTE EM FUNÇÃO DA IDADE

A modelagem matemática e o procedimento mais usado para realizar a classificação de sítios florestais, pois apresenta certa agilidade, praticidade e também quando se tem uma base sólida e consciente de dados é possível chegar a resultados de grande confiabilidade, permitindo a realização de estudos de produção e crescimento de povoamentos florestais (MIGUEL, 2009, p. 21).

3.4.1 Classificação de Sítio Florestal

Para a classificação dos sítios florestais foi empregado o métodos da curva guia ou curva média. Esse procedimento matemático começou a ser empregado com maior frequência no meio florestal a partir da introdução da regressão linear múltipla (MIGUEL, 2009, p.65).

Segundo Schneider et al. (1988), a idade índice ou idade de referência é a idade padrão, escolhida arbitrariamente, na qual se compara a altura dominante dos diferentes sítios. A escolha dessa idade está na dependência da rotação da espécie e deve ser preferencialmente fixada no final da rotação. Neste estudo, optou-se por uma idade de referência de 13 anos.

De acordo com a Tabela 02, são apresentados os 7 modelos testados pelo método da curva guia.

Tabela 02 - Modelos matemáticos testados para o ajuste da altura dominante em função da idade em povoamentos de *Pinus taeda*, em Santa Catarina.

Equação	Modelo	Autor
1	$h_{100} = \beta_0(1 - e^{(-\beta_1 \cdot t)})^{\beta_2}$	Chapman-Richards (3 coeficientes)
2	$h_{100} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(t) + \beta_2 \cdot t$	Gramm
3	$\frac{t^2}{h_{100}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2$	Prodan
4	$\ln(h_{100}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot t^{-1} + \beta_2 \cdot t^{-2}$	-
5	$h_{100} = \beta_0 \cdot (1 - e^{(-\beta_1 \cdot t)})$	Chapman-Richards (2 coeficientes)
6	$\ln h_{100} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(t) + \beta_2 \cdot \ln^2(t)$	Backmann
7	$\ln h_{100} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{t}$	-

Onde: h_{100} =Altura Dominante de Assmann (m); β_0 = Coeficiente Linear; β_1 e β_2 = Coeficientes Angulares; t=idade (anos).

Este método consiste em selecionar o modelo de regressão e para isso empregou-se uma base de dados de 632 pares de altura média das árvores dominantes e idade. A equação resultante representou a curva média do crescimento acumulado da altura dominante em função da idade.

3.5 CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS

Para selecionar a melhor equação da relação hipsométrica e da altura dominante em função da idade foram utilizados os seguintes critérios estatísticos: erro padrão da estimativa relativo, coeficiente de determinação ajustado, valor de F calculado e distribuição gráfica dos resíduos.

3.5.1 Erro Padrão da Estimativa Absoluto (S_{yx})

O erro padrão da estimativa (S_{yx}) é uma medida absoluta da dispersão dos resíduos de regressão. A sua determinação permite definir intervalos de confiança

para os parâmetros de um modelo e para as estimativas dos valores ajustados da variável dependente (AHRENS, 1982, p.05).

Esse critério estatístico indica que quanto menor o seu valor numérico, mais precisas serão as inferências elaboradas a partir de um dado modelo.

O valor do erro padrão da estimativa foi calculado apenas para obter o erro padrão da estimativa relativo, o qual foi utilizado diretamente como critério de seleção.

$$S_{yx} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$$

Onde: S_{yx} = Erro padrão da estimativa em metros; y_i = altura dominante observada em metros; \hat{y}_i =altura dominante estimada em metros; n =número de árvores na amostra; p = número de variáveis independentes do modelo;

3.5.2 Erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx\%}$)

É expresso em porcentagem da média aritmética da variável dependente e pode ser interpretada de forma análoga ao coeficiente de variação. O erro padrão da estimativa relativo foi calculado da seguinte forma:

$$S_{yx\%} = (S_{yx}/\bar{y}) * 100$$

Onde: $S_{yx\%}$ =erro padrão da estimativa em porcentagem; S_{yx} =erro padrão da estimativa absoluto em metros; \bar{y} =média aritmética da altura dominante estimada em metros.

3.5.3 Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{aj.}$)

O coeficiente de determinação ajustado expressa à quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Porém, é necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade da regressão diferem entre os modelos testados (BARROS et. al., 2002, p. 03).

O coeficiente de determinação ajustado varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor o ajuste do modelo selecionado. O coeficiente foi calculado pela seguinte expressão:

$$R^2_{aj.} = R^2 - \left(\frac{K - 1}{K - N} \right) \cdot (1 - R^2)$$

Onde: $R^2_{aj.}$ = Coeficiente de determinação ajustado; R^2 = coeficiente de determinação K = Número de coeficientes da equação; N = número de observações.

3.5.4 Determinação do F Calculado

Para testar o nível de significância das equações, também foi utilizado o valor de F calculado, expresso pela seguinte fórmula:

$$F_{calc} = \frac{QM_{reg}}{QM_{res}}$$

Onde: QM_{reg} = Quadrado médio da regressão; QM_{res} = Quadrado médio dos resíduos;

Se o valor de F calculado for maior que o valor de F tabelado a um nível de significância de 1% de probabilidade de erro, a equação testada será significativa. Assim, os modelos de maior F calculado foram selecionados para estimar a altura dominante em função da idade.

3.6.5 Análise Gráfica dos Resíduos

A distribuição dos resíduos foi apresentada em forma gráfica, sendo utilizada para avaliar a qualidade dos ajustes das regressões testadas. O eixo das ordenadas é composto pelo resíduo e o eixo das abscissas indica a estimativa do modelo testado.

De acordo com Barros et. al. (2002, p.11), por mais que todos os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é decisiva, pois através desse procedimento é possível detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes e também se existe homogeneidade de variância. A análise gráfica dos resíduos deverá ser utilizada em conjunto com os demais critérios selecionados para a escolha do melhor modelo.

A importância das observações realizadas nas distribuições gráficas de resíduos também são citadas por Caldeira et al. (2003, p.87), sendo um critério que permite selecionar um modelo matemático pela simples visualização dos resíduos em todo o conjunto de dados.

De acordo com a descrição dos critérios estatísticos expostos acima, as melhores equações deverão apresentar, o maior coeficiente de determinação ajustado, o menor erro padrão da estimativa relativo e o maior valor de F calculado.

3.7 UTILIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS PARA SELEÇÃO DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO

Os critérios para a escolha do melhor modelo obedeceram a seguinte ordem: inicialmente análise do erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.). Também foi incluído o teste F para auxiliar na tomada de decisão. A análise gráfica dos resíduos foi decisiva na escolha do melhor modelo.

De acordo com esses parâmetros, o melhor modelo foi aquele que apresentou, de forma conjunta, menor erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$), maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) e não apresentou tendência dos resíduos na análise gráfica.

3.8 CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

Para a construção de curvas de índice de sítio adotou-se uma idade de referência arbitrária, a qual se encontra o mais próximo da idade de rotação da espécie em questão. As curvas de índice de sítio foram traçadas considerando um intervalo de 2 metros entre elas, abrangendo toda a amplitude de crescimento local.

Como o método adotado foi o de regressão, inicialmente, estabeleceu-se a idade de referência, e com o modelo matemático selecionado recalculou-se o coeficiente linear, ou seja, β_0 . Após recalcular β_0 para cada índice de sítio, foram estimadas as novas alturas em função da idade e construídas as curvas de índice de sítio de maneira a cobrir toda a dispersão dos dados observados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.1 Ajuste dos modelos testados para relação hipsométrica

Na Tabela 03 são apresentados os resultados relacionados aos ajustes dos 14 modelos de relação hipsométrica com seus respectivos parâmetros estatísticos. Com o processamento das equações matemáticas, foram obtidos os parâmetros estatísticos que permitiram realizar a seleção do modelo matemático que melhor se ajustou aos dados. Assim sendo, na Tabela 03, podem ser observados os coeficientes (β_0 , β_1 e β_2), a estatística F, o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e o coeficiente de variação (CV).

Tabela 03 - Ajuste dos coeficientes dos modelos testados para a relação hipsométrica e estatísticas dos critérios de seleção utilizados.

Modelo	Coeficientes			F	R^2 Aj.	$S_{yx\%}$
	β_0	β_1	β_2			
1	2,91908	-8,61265	-	3129,06	0,2429	10,96713
2	2,12677	0,000758	-	3571,06	0,2680	10,78364
3	3,18205	-16,0935	41,52685	1898,86	0,2802	10,69345
4	0,59209	0,62677	-	4006,28	0,2912	10,61168
5	-8,11207	6,82001	-	5106,35	0,3436	20,47613
6	17,01471	-89,9799	-	3503,26	0,2643	21,67917
7	8,39027	0,00868	-	5258,02	0,3503	20,3724
8	20,4848	-188,721	548,1221	2392,8	0,3291	20,70153
9	4,48995	0,3839	-0,00024	2771,8	0,3624	20,18196
10	-4,81999	1,81373	0,01018	3607,3	0,4252	34,9176
11	0,59209	0,31338	-	4006,28	0,2912	10,61168
12	4,58957	0,37375	-	5543,96	0,3624	20,18106
13	2,02979	-2,18383	0,02678	2032,46	0,2941	10,58952
14	0,04043	0,94848	-	1981,61	0,1688	41,88637

Onde: β_0 =Coeficiente Linear; β_1 e β_2 =Coeficientes Angulares; F=Estatística de F calculado; $R^2_{Aj.}$ =Coeficiente de Determinação Ajustado; $S_{yx\%}$ =Erro Padrão da Estimativa Relativo.

Considerando o fato de que as equações apresentam diferentes números de coeficientes, a análise da variação total dos dados foi realizada com base no coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), os quais variam de 0,1688 a 0,4252. Com respeito a estatística F, este parâmetro mostrou-se bastante elevado em todos os modelos testados, evidenciando alta significância.

Ao analisar a Tabela 03, nota-se que os modelos 4 e 11 apresentaram potenciais para descrever a relação hipsométrica. Entretanto, adotou-se o modelo 4, modelo de Stofells, para realizar a estimativa das alturas das árvores, primeiramente porque apresentou melhor coeficiente de determinação (0,2912) e também por ter apresentado menor erro padrão da estimativa relativo (10,6%).

A Figura 03 apresenta os ajustes das alturas através da equação selecionada.

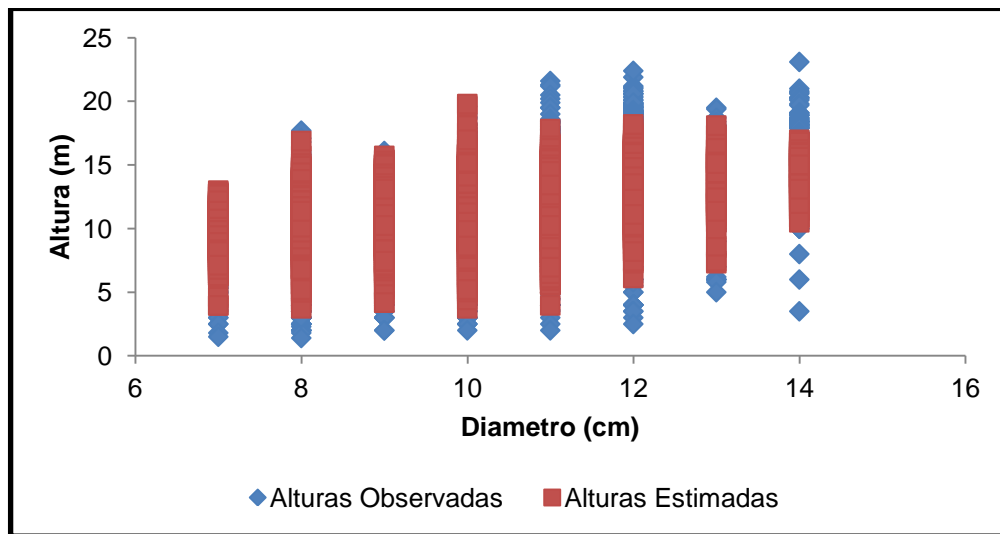


Figura 03 - Ajuste da alturas pela equação $lnh = 0,59209 + 0,62677 * lnd$

A Figura 04 apresenta os resíduos em função da idade para o modelo selecionado.

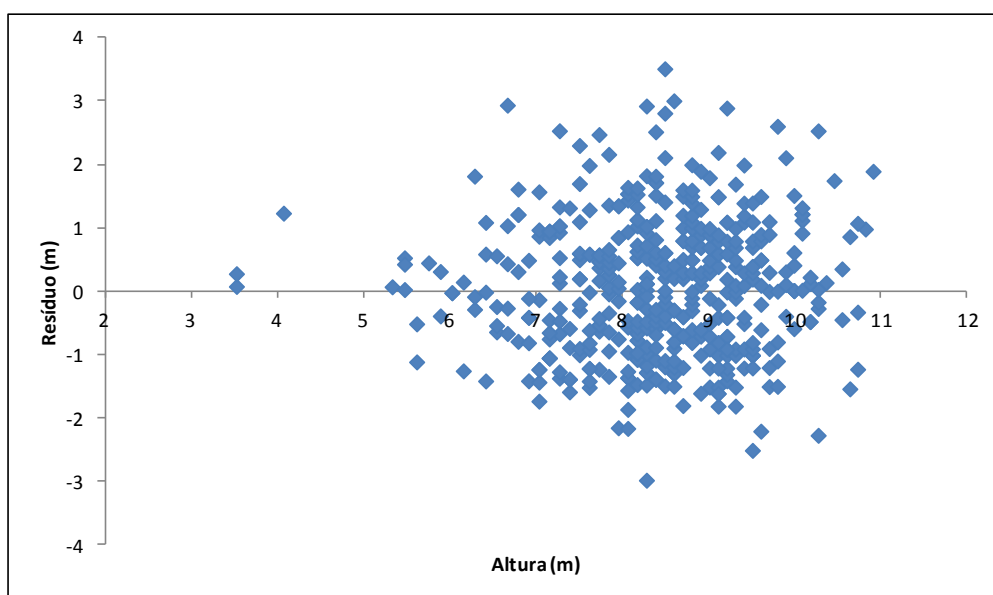


Figura 04 - Resíduos em função da altura (metros) para o modelo escolhido para a relação hipsométrica.

A análise da covariância foi aplicada para todo o conjunto de dados, na tentativa de estratificar os dados a fim de diminuir a variância encontrada, a qual mostrou que a variável idade foi significativa. A interação da variável independente do modelo com a idade mostrou-se significativa, evidenciando que a relação hipsométrica tem diferentes inclinações. Como esperado, as curvas apresentam diferentes níveis.

Já para a variável espaçamento a análise da covariância não foi significativa. A interação da variável independente do modelo com o espaçamento não foi significativa, mostrando assim que não há influencia dessa variável nos resultados, conforme Tabela 04.

Tabela 04 - Análise de covariância por idade e espaçamento para verificação da diferença de inclinação e nível da relação hipsométrica em diferentes espaçamentos de povoamentos de *Pinus taeda*, em Santa Catarina.

Análise de Covariância - Idade e Espaçamento					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	19	379,2303462	19,95949	342,06	<.0001
Erro	9732	567,8703158	0,058351		
Total	9751	947,100662			
T	7	4,87697133	0,69671	11,94	<.0001
E	2	0,06509826	0,032549	0,56	0,5725
LND*T	7	3,45369568	0,493385	8,46	<.0001
LND*E	2	0,04244548	0,021223	0,36	0,6951

Onde: FV=Fonte de Variação; GL=Graus de Liberdade; SQ=Soma de quadrados; QM=Quadrado médio; F=Valor de F; Prob.>F=Probabilidade de significância para o valor de F; LND=Logaritmo natural; T=Idade; E=Espaçamento;

Sendo assim, verificou-se a covariância por idade, conforme Tabela 05, e constatou-se que há diferença significativa de inclinação entre as idades.

Tabela 05 - Análise de covariância por idade para verificação da diferença de inclinação e nível da relação hipsométrica em diferentes espaçamentos de povoamentos de *Pinus taeda*, em Santa Catarina.

Análise de Covariância - Idade					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	15	378,5265195	25,2351	432,11	<.0001
Erro	9736	568,5741425	0,058399		
Total	9751	947,100662			
T	7	10,1617385	1,451677	24,86	<.0001
LND*T	8	132,1667979	16,52085	282,9	<.0001

Onde: FV=Fonte de Variação; GL=Graus de Liberdade; SQ=Soma de quadrados; QM=Quadrado médio; F=Valor de F; Prob.>F=Probabilidade de significância para o valor de F; LND=Logaritmo natural;T=idade;

De acordo com a Tabela 05, o resultado da análise de covariância mostrou que a hipótese das idades é rejeitada em nível de 5% de probabilidade de erro, ou seja, a variável idade influenciou nas inclinações da relação hipsométrica e são diferentes para cada idade.

Na Tabela 06 mostra análise de covariância para cada idade entre interações e entre níveis para a relação hipsométrica. Nas idades 7, 8, 9, 10 e 13 anos o coeficiente linear não apresentou diferença significativa quando comparado aos 14 anos de idade, ou seja, são semelhantes, pois não se diferem em níveis. Já para as idades 11 e 12 anos, a análise apresentou diferença significativa quando comparado com os 14 anos de idade, ou seja, a relação hipsométrica apresenta coeficiente linear estatisticamente diferente aos 11 e 12 anos.

Tabela 06 - Análise de covariância para cada idade para verificação da diferença de inclinação e nível da relação hipsométrica de povoamentos de *Pinus taeda*, em Santa Catarina.

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrao	Valor de T	Pr>t
T7	-0,006954925	0,42093743	-0,02	0,9868
T8	0,050720534	0,40863122	0,12	0,9012
T9	0,54797555	0,40801134	1,34	0,1793
T10	0,553885173	0,40614698	1,36	0,1727
T11	1,117507873	0,40747326	2,74	0,0061
T12	1,146323997	0,41552835	2,76	0,0058
T13	0,151896904	0,4892734	0,31	0,7562
T14	0	.	.	.
LND*T7	0,608838009	0,04611422	13,2	<.0001
LND*T8	0,601322729	0,02527811	23,79	<.0001
LND*T9	0,481458424	0,02338338	20,59	<.0001
LND*T10	0,495981234	0,01898936	26,12	<.0001
LND*T11	0,319176863	0,02161953	14,76	<.0001
LND*T12	0,354087777	0,03291697	10,76	<.0001
LND*T13	0,617026173	0,08687681	7,1	<.0001
LND*T14	0,697366411	0,12191851	5,72	<.0001

A Tabela 07 apresenta os coeficientes ajustados para a relação hipsométrica para cada idade existente no povoamento, através da equação selecionada.

Tabela 07 – Coeficientes ajustados para relação hipsométrica por idade para a equação de Stofells.

Idade	Coeficientes		F	R ² Aj.	CV
	β_0	β_1			
7	0,45922	0,60884	262,05	0,3513	9,38831
8	0,5169	0,60132	406,77	0,2049	12,66816
9	1,0415	0,48146	878,42	0,3129	6,87504
10	1,02006	0,49598	601,26	0,1795	10,2133
11	1,58368	0,31918	185,37	0,0916	10,23842
12	1,6125	0,35409	131,53	0,1231	8,27551
13	0,61807	0,61703	46,56	0,282	9,70345
14	0,46618	0,69737	47,92	0,2579	7,22789

Onde: β_0 =Coeficiente Linear; β_1 e β_2 =Coeficientes Angulares; F=Estatística de F calculado; R²Aj.=Coeficiente de Determinação Ajustado; CV=Coeficiente de Variação.

De acordo com a Tabela 07, é possível observar que os valores de F calculado diminuíram e foram significativos a um nível de 5% de probabilidade. Para os valores de R² ajustado, nas idades de 8, 10, 11 e 12 anos, foram menores do que quando comparado com a relação hipsométrica ajustada para todos os dados, isso se dá porque a maior variância, provavelmente, está nessas idades. Quando

analisado o Coeficiente de Variação nota-se que nas idades 7, 9, 12 e 13 anos, seus valores são menores do que quando comparado com a relação hipsométrica ajustada para todos os dados, e isso se explica, provavelmente, porque a variância se concentra nessas idades.

A principal causa da variância da altura em função ao diâmetro à altura do peito, além das diferentes idades, provavelmente esteja ligado a formas de manejo, material genético e os diferentes sítios existentes dentro da empresa.

Na Figura 05, mostra o comportamento da relação hipsométrica para cada idade existente no povoamento.

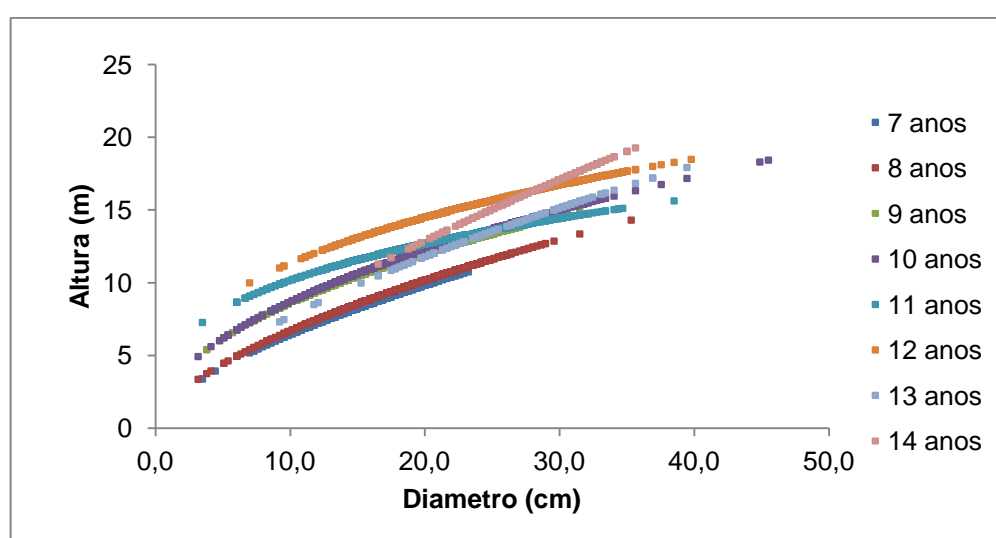


Figura 05- Comportamento da relação hipsométrica por idade, para *Pinus taeda* em Santa Catarina.

É possível observar que as inclinações da relação hipsométrica por idade são diferentes. A maior inclinação é aos 14 anos e a menor inclinação é aos 11 anos. Como o esperado, a maior inclinação da relação hipsométrica foi aos 14 anos de idade, onde temos maiores alturas encontradas para os mesmos diâmetros encontrados nas demais. Porém, a relação hipsométrica para os 11 anos de idade foi a que apresentou menor inclinação.

4.1.2 Ajuste dos modelos testados para classificação de sítios

A Tabela 08 apresenta os resultados dos sete modelos matemáticos ajustados para a classificação de sítio pelo método da curva-guia.

Tabela 08 - Ajuste dos coeficientes dos modelos testados para a classificação de sítios e estatísticas dos critérios de seleção utilizados.

Modelo	Coeficientes			F	R ² Aj.	S _{yx} %
	β ₀	β ₁	β ₂			
1	15,7802	0,2085	-	11222,60	0,9729	16,71
2	-16,7554	15,9802	-0,0601	32,22	0,0901	16,68
3	7,7771	-1,3713	0,1323	669,94	0,6795	17,89
4	2,1771	11,4068	-69,1803	36,54	0,1012	6,64
5	14,4726	0,6441	22,3738	7559,69	0,9725	16,79
6	-3,2000	4,7803	-0,9767	37,28	0,1013	6,63
7	2,9577	-3,4622	-	61,90	0,0880	6,70

Onde: β₀=Coeficiente Linear; β₁ e β₂=Coeficientes Angulares; F=Estadística de F calculado; R²Aj.=Coeficiente de Determinação Ajustado; CV=Coeficiente de Variação.

Constatou-se que dos sete modelos testados, somente os modelos 1 e 5, foram os que apresentaram bons ajustes, com R² ajustado de 0,9729 e 0,9725 respectivamente e coeficiente de variação próximos. Esses modelos que apresentaram as melhores estatísticas são modelos não lineares.

A Figura 06 apresenta o ajuste do modelo da altura dominante em função da idade, através das alturas observadas e estimadas, pela equação selecionada.

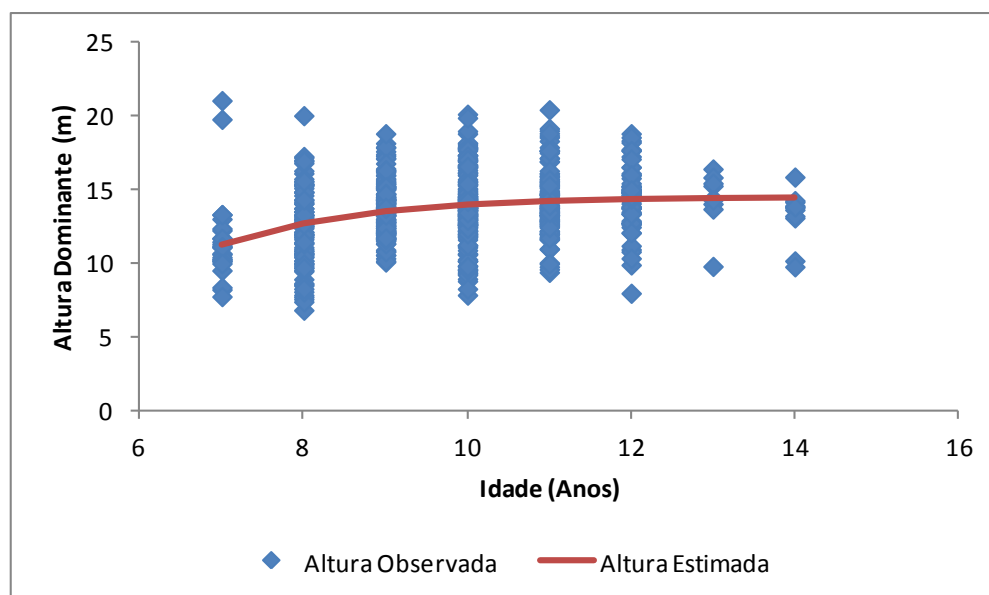


Figura 06 – Ajuste da altura dominante pela equação $\ln h_{100} = 15,7802 * (1 - e^{(-0,2085*t)})$.

A Figura 07 mostra o gráfico de dispersão dos resíduos da relação altura dominante em função da idade.

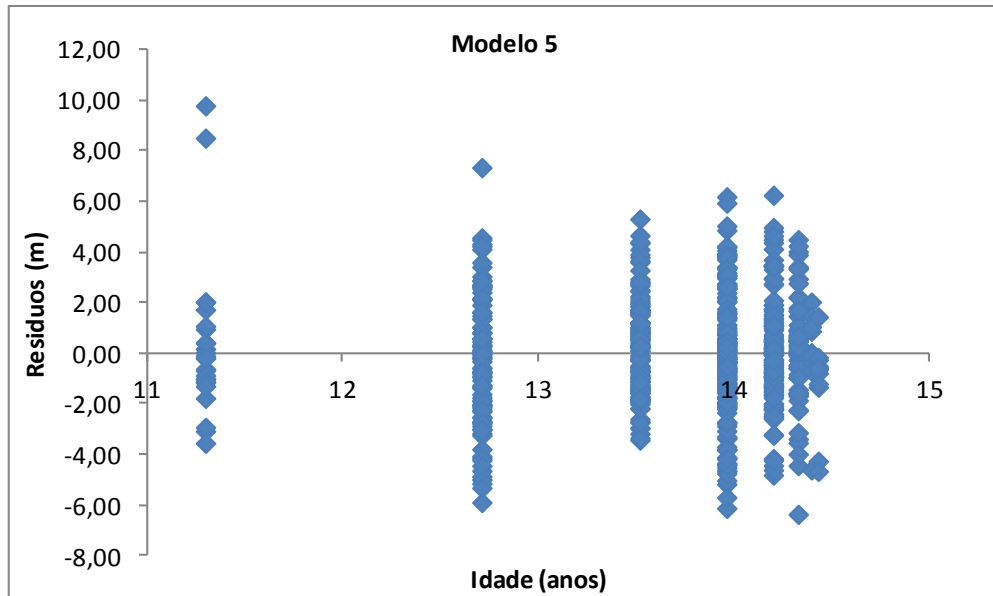


Figura 07 - Resíduos em função da idade (anos) para o modelo escolhido para a construção das curvas pelo método da curva-guia.

Sendo assim, o modelo 5 (Chapman-Richards) apresentou melhores estatísticas e assim foi escolhido para gerar as curvas de sítio.

A escolha do modelo 5 (Chapman-Richards) está em conformidade com a literatura. Diversos trabalhos de classificação de sítios desenvolvidos por vários pesquisadores na área florestal o apontaram como um dos modelos de melhor desempenho para a construção da família de curvas de índice de sítios, podendo citar Figueiredo (2005), trabalhando com plantios de *Tectona grandis* na microrregião do Baixo Rio Acre e também Scolforo e Machado (1988), para *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina.

Foram geradas as curvas de índice de sítio do tipo anamórficas, objetivando definir o número de curvas de índices de sítios necessárias para cobrir a variação entre o menor e o maior crescimento em altura dominante em função do tempo. Para isso, os dados observados de altura dominante em função da idade foram plotados sobre o traçado das curvas índices de sítio para demonstrar a variância observada e os *outliers* podem ser explicados, provavelmente, pela existência de sítios diferentes, conforme Figura 08.

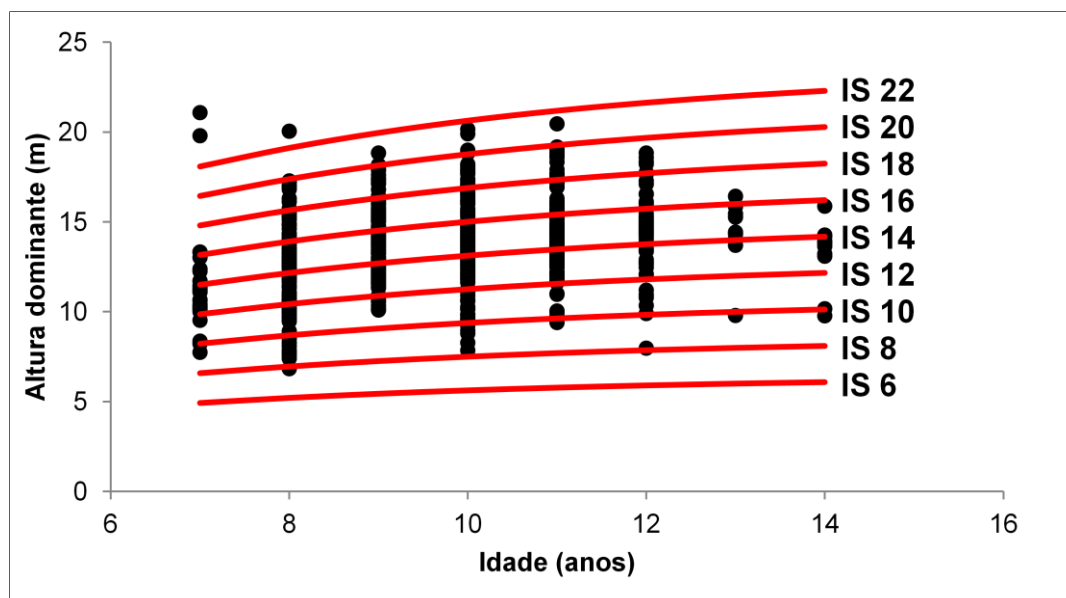


Figura 08 – Curvas de índice de sítio para povoamento de *Pinus taeda* para o Modelo de Chapman-Richards com 2 coeficientes.

Verifica-se que, na Figura 10, as curvas de índice de sítio descrevem com boa precisão o crescimento das árvores. No entanto, alguns pontos não entraram no feixe de curvas. Neste caso, o recomendável seria voltar a campo e remedir esses indivíduos, para constatar se realmente se comportam dessa maneira.

Na Tabela 09, estão descritas as idades e suas respectivas alturas dominantes, e também as estimativas de alturas para cada índice de sítio, as quais foram utilizadas para a construção das curvas de índices de sítio, conforme Figura 08. Os sítios foram classificados do índice de sítio 6 até o índice de sítio 22, resultando assim, em 9 curvas.

Tabela 09 – Valores das curvas de índice de sítio para povoamento de *Pinus taeda*

Idade (anos)	h100 (m)	IS 6	IS 8	IS 10	IS 12	IS 14	IS 16	IS 18	IS 20	IS 22
7	12,11	4,93	6,58	8,22	9,87	11,51	13,16	14,80	16,45	18,09
8	12,80	5,22	6,95	8,69	10,43	12,17	13,91	15,65	17,38	19,12
9	13,36	5,44	7,26	9,07	10,89	12,70	14,52	16,33	18,14	19,96
10	13,82	5,63	7,50	9,38	11,26	13,13	15,01	16,89	18,76	20,64
11	14,19	5,78	7,71	9,63	11,56	13,48	15,41	17,34	19,26	21,19
12	14,49	5,90	7,87	9,83	11,80	13,77	15,74	17,70	19,67	21,64
13	14,73	6	8	10	12	14	16	18	20	22
14	14,93	6,08	8,11	10,13	12,16	14,19	16,21	18,24	20,27	22,29

Onde: h100=Altura dominante (m), IS=Índice de Sítio;

5 CONCLUSÕES

Para a determinação da relação hipsométrica, o melhor ajuste foi pelo modelo de Stofells.

A variável idade influenciou na relação hipsométrica e por isso foi realizado o ajuste do modelo de Stofells para estimar a altura em cada idade.

O modelo de Chapman-Richards, com 2 coeficientes, foi o que melhor se ajustou aos dados de altura dominante em função da idade para o povoamento, por isso foi selecionado para a construção das curvas de índice de sítio.

Para descrever a variação do crescimento da altura dominante sobre a idade foram necessárias 9 curvas de índice de sítio, de 6 a 22, na idade de referência de 13 anos, com intervalo de 2 metros entre os índices de sítio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas 2012 ano base 2011. Brasília. 150p. 2012.
- AHRENS, Sergio. Importância da distribuição de resíduos de regressão na seleção de equações de volume. **Congresso Florestal Brasileiro**, Belo Horizonte, 1982. Anais, São Paulo, SBS, p. 609-613, 1983.
- BARROS, Dalmo, A. de.; MACHADO, Sebastião A.; JUNIOR, Fausto, W. A.; SCOLFORO, José R. S. **Comportamento de Modelos Hipsométricos Tradicionais e Genéricos para Plantações de Pinus oocarpa em diferentes tratamentos**. Bol. Pesq. Fl. Colombo, n.45, p.3-38, 2002.
- BATISTA, J.L.F., DO COUTO, H.T.Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de Eucalyptus sp no Estado de São Paulo. **Revista do IPEF**, São Paulo, v. 1, n. 32, p. 32-41, 1986.
- BIZON, José M. C. **Avaliação da Sustentabilidade Nutricional de Plantios de Pinus taeda L. usando um Balanço de Entrada-Saída de Nutrientes**. 95p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2005.
- BRAGA, F.A.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; COSTA, L. M. Características Ambientais Determinantes da Capacidade Produtiva de Sítios Cultivados com Eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, 23. p.291-298, 1999.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, Mauro V.; SCHEREEN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação Hipsométrica para Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado do Paraná. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p.79-88. Abr/jun, 2003.
- CAMPOS, João.C.C.; LEITE, Helio. G.; **Mensuração Florestal:Perguntas e Respostas**. 3 ed. atual. ampl. – Viçosa-MG, Editora UFV. 548p. 2009.
- DRESCHER, Ronaldo. **Crescimento e Produção de Tectona grandis Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado do Mato Grosso – Brasil**. 2004. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Área de Concentração em Manejo Florestal. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2004.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos do Estado de Santa Catarina. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. N.46, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004
- FERREIRA, Arnaldo R. **Análise Genética e Seleção em Testes Dialélicos de Pinus taeda L.** 2005. 196f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2005.

FIGUEIREDO, Evandro, O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. 2005. 301 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

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

FRANCO, E. J. **Estudos dos métodos estimativos de volume, biomassa e níveis de produtividade para *Eucalyptus camadulensis***. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1996 .

GIRARDIN, Jorge. L.; BROQUEN, Patricia. El crecimiento de *Pinus ponderosa* Dougl. Y *Pseudotsuga menziessii* Mirb. en diferentes condiciones de sitio. **Bosque**, v. 16, n. 2, p. 57-67, 1995.

HIGA, Rosana C. V.; WREGE, Marcos S.; RADIN, Bernadete.; BRAGA, Hugo.; CAVIGLIONE, João H.; BOGNOLA, Itamar.; ROSOT, Maria A. D.; GARRASTAZU, Marilice C.; CARAMORI, Paulo H.; OLIVEIRA, Yeda, M. M. de. Zoneamento Climático: Pinus taeda no Sul do Brasil. **Documentos**. Embrapa Florestas. Colombo-PR. p.17. 2008.

MACHADO, Sebastião A. do; AGUIAR, Ludmila P.; FIGUEIREDO FILHO, Afonso; KOEHLER, Henrique S. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth. Na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 465-478, 2008.

MARTO, Giovana B. T. Indicações para a escolha da espécie Pinus. **Revista da Madeira**, Agosto/2009. Ed. 119. Disponível em http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1381&subject=Pinus&title=Indica%20es%20para%20escolha%20de%20esp%20cies%20de%20pinus. Acesso em 05 de Ago de 2013.

MIGUEL, Eder P. **Avaliação Biométrica e Prognose da Produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na Região Norte do Estado de Goiás**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2009

MIGUEL, Eder P.; ENCINAS, José I.; REZENDE, Alba V.; FERREIRA, Júlio C. S.; AGUIAR, Giovanna P. Classificação de Sítio para Plantios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, Estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.12, 2011.

PLANO DE MANEJO IRANI CELULOSE. Disponível em <http://www.irani.com.br/uploads/mediacenter/072ef35a7f5e9f72b51efd27fe71aad9e69e8ebf.pdf>. Acesso em 05 mar 2013.

SAS/STAT. **User's guide** – release 9.1. 3 edition. Cary N. C.: SAS Institue Inc. 2004.

SCHNEIDER, Paulo R.; SCHNEIDER, Paulo S. P.; **Introdução ao Manejo Florestal**. 2 ed. 558p. – Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008.

SCHUMACHER, Mauro V.; CALIL, Francine N.; VOGEL, Hamilton, L. M.; **Silvicultura Aplicada**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Departamento de Ciências Florestais. p.120. 2005.

SCOLFORO, José, R. S. **Biometria florestal 2: Técnicas de Regressão Aplicada para Estimar: Volume, Biomassa, Relação Hipsométrica e Múltiplos Produtos de Madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 292p., 1997. (Textos Acadêmicos).

SCOLFORO, José R. S. B. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 393p. 2006.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE JOAÇABA-SC. **Caracterização Regional**. Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina – Instituto Cepa. Maio, 2003.

SELLE, Gerson L. **Influência de Fatores Ambientais na Classificação de Sítio para Pinus Taeda L., na Região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. Dissertação. Mestre em Engenharia Florestal. 64p. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 1993.

SELLE, Gerson L.; SCHNEIDER, Paulo R.; FINGER, César A. G. Classificação de Sítio para Pinus taeda L. através da Altura Dominante, para a Região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 4, p.77-95, Santa Maria, 1994.

SHIMIZU, Jarbas Y. **Pinus na Silvicultura Brasileira**. Embrapa Florestas. Colombo-PR. p.7. 2008.

SIXEL, Ricardo M. de M. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de Pinus taeda com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2012.

TONINI, Helio; FINGER, César A. G.; SCHNEIDER, Paulo R.; SPATHELF, Peter. Comparação Gráfica entre Curvas de Índice de Sítio para Pinus elliottii e Pinus Taeda desenvolvidos no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v.12, n. 1, p.143-152. Santa Maria. 2002.

VASQUES, André G.; NOGUEIRA, Alex S.; KIRCHNER, Flávio F.; BERGER, Ricardo. Uma Síntese da Contribuição do gênero *Pinus* para o Desenvolvimento Sustentável no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 37. n. 3. Curitiba, PR, set./dez. 2007

WELTER, Liane. **O espaço Geográfico do Oeste Catarinense e sua Cartografia Ambiental**. 2006. 79p. Dissertação (Mestre em Geografia Humana) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

YOSHITANI, Mauro. **Avaliação Biométrica e Econômica de Plantios de Pinus Taeda L. em Santa Catarina.** 2009. 115p. Dissertação. Mestre em Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

APÊNDICE A – Gráficos dos Resíduos do Ajuste da Equação da Altura Dominante
para a Classificação de Sítios

