

CRESCIMENTO EM ALTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM., EM TRÊS
UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLO, NAS REGIÕES DA
SERRA DO SUDESTE E LITORAL, NO ESTADO DO RIO GRANDE
DO SUL

por

HELIO TONINI

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal -
área de concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa
Maria (RS), como requisito parcial para obtenção do grau de MESTRE EM
ENGENHARIA FLORESTAL.

Santa Maria, RS - Brasil

2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO – ASSINADA, APROVA A
DISSERTAÇÃO

CRESCIMENTO EM ALTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM., EM TRÊS
UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLO, NAS REGIÕES DA SERRA
DO SUDESTE E LITORAL, NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

ELABORADA POR
HELIO TONINI

COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA FLORESTAL

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr César Augusto Guimarães Finger- orientador

Dr. Paulo Renato Schneider

Dr. Sebastião do Amaral Machado

Dr. Peter Spathelf

Santa Maria, 17 de Março de 2000

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Cesar Augusto Guimarães Finger, pela dedicação e grande colaboração em todas as fases de desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Paulo Renato Schneider e Peter Spathelf pela colaboração no decorrer deste trabalho.

Ao Programa de Pós- graduação em Engenharia Florestal e a CAPES pela oportunidade e suporte financeiro, que possibilitou a realização deste estudo.

As Empresas Forjasul LTDA, Germina Agroflorestal Ltda e Flopal Ltda pela boa vontade com que fomos recebidos e pela doação das árvores amostras para a realização deste trabalho de pesquisa.

Aos colegas Rute Berger, Geedre Adriano Borsoi e André Rosalvo Terra Nascimento, pelo companheirismo e ajuda desinteressada dispensada na coleta dos dados.

Ao colega Luiz Alberto Carvalho Junior pela ajuda dispensada na obtenção dos dados de parcelas temporárias na região da Serra do sudeste.

A Jovania Calegari pelo estímulo, ajuda nos trabalhos de análise de tronco e pelo empréstimo do computador.

Aos funcionários do departamento de Ciências Florestais pelo apoio e boa vontade dispensado naquelas tarefas, sem as quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, pelo estímulo.

A Deus, por mais esta graça alcançada.

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE FIGURAS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 Caracterização da espécie	5
2.2 O problema da qualidade do sítio	6
2.2.1 Classificação mediante fatores climáticos	10
2.2.2 Classificação mediante fatores edáficos	12
2.2.3 Classificação mediante fatores topográficos	15
2.2.4 Classificação mediante características da vegetação natural	16
2.2.5 Classificação multifatorial de sítios	18
2.2.6 Estimativa da qualidade do sítio por relações inter-espécies	20
2.2.7 Estimação da qualidade do sítio através de dados de volume	22
2.2.8 Estimação da qualidade do sítio através da altura	22
2.3 Modelos de predição do crescimento em altura	31
3 MATERIAL E MÉTODO	39
3.1 Localização e extensão das áreas	39
3.2 Geomorfologia e relevo	41
3.3 Geologia e edafologia	42
3.4 Clima	43
3.5 Vegetação	44
3.6 Localização dos povoamentos	48
3.7 Processo de amostragem e obtenção dos dados	49
3.7.1 Escolha, derrubada, marcação e retirada das fatias	50
3.7.2 Preparo das fatias e medições dos anéis	51
3.8 Idade de referência e sistema de classificação	54
3.9 O modelo matemático	54
3.10 Procedimento utilizado para a construção das curvas de índice de sítio para as localidades em estudo.	55
3.11 Determinação do número de curvas necessárias para cobrir a variação de sítios.	56

3.12 Comparação das tendências de crescimento entre os locais estudados.	57
3.13 Confiabilidade das curvas de índice de sítio	57
3.14 Comparações com curvas de índice de sítio de outras regiões e estados.	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Ajuste do modelo matemático	59
4.2 Características dendrométricas dos povoamentos	63
4.3 Estudo das tendências de crescimento	64
4.3.1 Estudo das tendências de crescimento para o Projeto Forjasul 1 (Encruzilhada do Sul).	65
4.3.2 Estudo das tendências de crescimento para o Projeto Geral III (Piratini).	71
4.3.3 Estudo das tendências de crescimento para os Projeto Banrisul V e Mostardas III (Palmares do Sul e Mostardas) .	74
4.4 Procedimento para a construção das curvas de índice de sítio	77
4.4.1 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio	79
4.4.2 Comparações das curvas de índice de sítio monomórficas entre grupos com mesma tendência de crescimento.	84
4.4.3 Comparação do crescimento entre locais	87
4.4.4 Determinação do número de curvas necessárias.	89
4.4.5 Comparação com curvas de índice de sítio de outros Estados e regiões.	91
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
5.1 Conclusões	99
5.2 Recomendações	101
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

RESUMO

CRESCIMENTO EM ALTURA DE *Pinus elliottii* ENGELM. EM TRÊS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLO, NAS REGIÕES DA SERRA DO SUDESTE E LITORAL, NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

Autor: Helio Tonini

Orientador: César Augusto Guimarães Finger

Realizou-se um estudo do crescimento em altura dominante de *Pinus elliottii* em povoamentos com idades entre 18 e 21 anos, localizados em três Unidades de Mapeamento de solo, em quatro municípios, nas unidades de relevo Serra do Sudeste e Planície Gaúcha, no Estado do Rio Grande do Sul. Foram locadas 42 amostras, com o uso do relascópio de Bitterlich, nas quais coletou-se 42 árvores dominantes, definidas pelo conceito de Pollanschütz, em diferentes posições de relevo e classes de produtividade. Os pares de dados altura e idade, oriundos de análise de tronco, foram ajustados pelo modelo de Richards (1959) com três coeficientes, através do qual pode se verificar que o relevo não foi um bom indicador de sítio, uma vez que árvores que cresciam na mesma posição topográfica apresentaram diferentes tendências de crescimento. A construção de curvas de índice de sítio para cada local, indicou que a tendência de crescimento entre os locais estudados foi semelhante, o que permitiu o agrupamento dos mesmos e a geração de um único conjunto de 9 curvas monomórficas para os índices de sítio de 6 a 30 metros, tendo como idade de referência 18 anos. Apesar de apresentarem a mesma tendência de crescimento, observou-se uma superioridade no crescimento em altura para os povoamentos localizados na Serra do sudeste em comparação aos localizados no litoral, onde foram encontrados os piores sítios. A comparação da presente classificação com as de outras regiões, como as feitas por SCOLFORO & MACHADO (1988), para os Estados de

Santa Catarina e Paraná; BRASIL (1989), para as Florestas Nacionais de Passo Fundo e São Francisco de Paula RS, MARCOLIN (1990), para o Segundo Planalto Paranaense; BRASIL (1989), e SELLE (1993), para a região de Cambará do Sul , no Rio Grande do Sul, indicaram que as curvas de crescimento altura/idade não apresentaram a mesma forma. No entanto o comportamento em relação as curvas de índice de sítio feitas por BRASIL (1989), para a região de São Francisco de Paula mostrou-se semelhante, havendo somente diferença de nível entre as mesmas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Autor: Helio Tonini

Orientador : César Augusto Guimarães Finger

Título: Crescimento em altura de *Pinus elliottii* ELGELM, em três unidades de mapeamento de solo nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral do Estado do Rio Grande do Sul.

Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal.

Santa Maria, 17 de Março de 2000

ABSTRACT

HEIGHT GROWTH OF *Pinus elliottii* ENGELM. IN THREE TAXONOMI SOIL UNITS IN SERRA DO SUDESTE AND COASTAL PLAIN AT RIO GRANDE DO SUL STATE .

Author: Helio Tonini

Advisor: César Augusto Guimarães Finger

It was carried out a growth study in dominant height of *Pinus elliottii*'s Stands with ages between 18 to 21 years, situated in three taxonomi soil units at four municipals district in Serra do Sudeste and coastal plain in Rio Grande do sul State. Forty Two sample units were located with Bitterlich's relascope and were cut down forty two top height trees following the Pollanschütz concept, at different slopes and productivity categories. The Height/age data from stem analysis were fitted with three factors Richard's model (1959), Where had noticed that the trees wich are growing in the same slope gradient hadn't the same growing curves pattern. The site index curves built to each locality in this study showed that the growth pattern among the localities studied was similar and allowed the gruping in only nine index curves, respectively for the site index from 6 to 30, with a index age at 18 years. Although the same growth pattern, it was noticed a superiority on height growth on stands situated at Serra do Sudeste while in the coastal plain it was noticed the worst sites. The accuracy comparasion of this site classification with the ones obtained in others regions by SCOLFORO & MACHADO (1988), in Santa Catarina and Parana States; MARCOLIN (1990) on the second upland Paranaense; BRASIL (1989) to the National Forest of Passo Fundo and São Francisco de Paula (RS) and SELLE (1993) to Cambara do Sul in Rio Grande do Sul State, showed that the growth curves height/age didn't show the same pattern. A same growth curves pattern was noticed in São Francisco de Paula in site index curves done by BRASIL (1989) where there were only level differences among ones.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PÓS GRADUATION PROGRAM IN FORESTRY ENGINEERING

Autor: Helio Tonini

Advisor: César Augusto Guimarães Finger

Title: Height growth of *Pinus elliottii* ENGELM. in tree taxonomy units soil
in south-west riges and coastal plain at Rio Grande do Sul State .

Masters's dissertation in forestry engineering

Santa Maria 17 de Março de 2000

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Número de árvores dominantes coletadas por local e posição no relevo nos municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini. _____ 52
- TABELA 2 – Número de árvores coletadas por local e produtividade nos municípios de Palmares do Sul e Mostardas. _____ 53
- TABELA 3 – Distribuição das árvores de *Pinus elliottii* em classes de altura, idade e local de coleta. _____ 53
- TABELA 4 – Resultados estatísticos obtidos no ajuste da função de Richards com três Coeficientes, altura real e estimada para os quatro locais estudados. _____ 60
- TABELA 5 – Coeficientes A, K e M para todas as árvores dominantes amostradas por local. _____ 62
- TABELA 6 – Valores médios de número de árvores por hectare (N), área basal (G), diâmetro à altura do peito (dap), altura dominante (ho), incremento médio anual em altura (IMA) e o incremento periódico em altura para os últimos 7 anos (IP₇). _____ 63
- TABELA 7 – Análise de covariância para as árvores dominantes localizadas no Projeto Forjasul I em Encruzilhada do Sul. _____ 64
- TABELA 8 – Análise de covariância para as árvores dominantes localizadas no Projeto Geral III em Piratini. _____ 65
- TABELA 9 – Análise de covariância para as árvores localizadas nos Projetos Banrisul V e Mostardas III no litoral. _____ 65
- TABELA 10 – Grupos, árvores e coeficientes médios utilizados para a construção de curvas monomórficas entre grupos de mesma tendência de crescimento por local de coleta dos dados. _____ 79
- TABELA 11 – Análise de covariância para os três locais em estudo, para testar o paralelismo das curvas de crescimento da altura dominante em função da idade. _____ 87

TABELA 12 – Teste de Tukey para comparação de médias. _____	88
TABELA 13 – Valores dos coeficientes K e M, para a construção e comparação das curvas de índice de sítio. _____	88
TABELA 14 – Valores das curvas de índice de sítio entre as idades de 4 a 20 anos. _____	90

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Localização geográfica dos municípios onde foram coletados os dados. _____ 40
- FIGURA 2 – Distribuição dos resíduos para três árvores amostras em Encruzilhada do Sul (a), Piratini (b) e Palmares/Mostardas (c). _____ 61
- FIGURA 3 – Tendências de crescimento observadas em diferentes posições de relevo no projeto Forjasul I (Encruzilhada do Sul), platô (a), encosta superior (b). _____ 67
- FIGURA 4 – Tendências de crescimento observadas em diferentes posições de relevo no Projeto Forjasul I (Encruzilhada do Sul), encosta média (a) e baixada (b). _____ 68
- FIGURA 5 – Tendências de crescimento observadas em árvores localizadas no Projeto Forjasul I (Encruzilhada do Sul), platô (a), baixada (b) e encosta superior (c). _____ 69
- FIGURA 6 – Tendências de crescimento entre grupos para o projeto Forjasul 1 (Encruzilhada do Sul). _____ 70
- FIGURA 7 – Tendências de crescimento observadas em árvores localizadas na mesma posição de relevo (platô) no Projeto Geral III em piratini. _____ 72
- FIGURA 8 – Grupos formados por árvores com semelhantes tendências de crescimento para no Projeto Geral III (Piratini). _____ 73
- FIGURA 9 – Tendências de crescimento entre os grupos formados no Projeto Geral III (Piratini). _____ 74
- FIGURA 10 – Grupo com mesma tendência de crescimento formados nos Projetos Banrisul V e Mostardas III (Litoral). _____ 75
- FIGURA 11 – Grupos com mesma tendência de crescimento formados nos Projetos Banrisul V e Mostardas III. _____ 76
- FIGURA 12 – Tendências de crescimento observadas entre os grupos formados nos Projetos Banrisul V e Mostardas III (Palmares do Sul e Mostardas). _____ 77

- FIGURA 13 –Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 1,2 e 3,formados no Projeto Forjasul I. _____ 80
- FIGURA 14 –Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 4 (a) e 1(b) formados no Projeto Forjasul I e Geral III. _____ 81
- FIGURA 15 –Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 2 (a) e 3 (b), formados no Projeto Geral III. _____ 82
- FIGURA 16 –Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos1, 2 e 3, formados nos projetos Banrisul V e Mostardas III. _____ 83
- FIGURA 17 –Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para o grupo 4 formado nos Projetos Banrisul V e Mostardas III. _____ 83
- FIGURA 18 –Comparação entre curvas de índice de sítio construídas para grupos de mesma tendência de crescimento no Projeto Forjasul I em Encruzilhada do Sul. _____ 85
- FIGURA 19 –Comparação entre curvas de índice de sítio construídas para grupos de mesma tendência de crescimento no Projeto Geral III em Piratini. _____ 86
- FIGURA 20 –Comparação entre curvas de índice de sítio construídas para grupos de mesma tendência de crescimento nos Projetos Banrisul V e Mostardas III. _____ 86
- FIGURA 21 –Comparação entre as curvas de índice de sítio (IS 21) construídas individualmente para cada local em estudo. ___ 89
- FIGURA 22 –Curvas de índice de sítio para a Serra do Sudeste e o Litoral. _____ **Erro! Indicador não definido.**
- FIGURA 23 –Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, elaboradas por SCOLFORO & MACHADO (1988), recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral. _ 92
- FIGURA 24 –Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, elaboradas por BRASIL (1989), para a região de São Francisco de

Paula, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral. _____ 95

FIGURA 25 –Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, elaboradas por BRASIL (1989), para a região de Passo Fundo, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral. _____ 96

FIGURA 26 –Curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* elaboradas por MARCOLIM (1990), para a região do Segundo Planalto Paranaense, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral. _____ 97

FIGURA 27 –Curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* elaboradas por SELLE (1993), para a região de Cambará do Sul, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral. _____ 98

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS

Km^2	quilômetro quadrado
ha	hectare
m	metro
m^2	metro quadrado
m^3	metro cúbico
cm	centímetros
mm	milímetros
$^{\circ}\text{C}$	graus centígrados
t	idade
h_{dom}	altura média das árvores dominantes
h_{poll}	altura dominante média segundo Polanchütz
o	graus
,	minutos
„	segundos
SP	Estado de São Paulo
RS	Estado do Rio Grande do Sul
ACA	Amostra de contagem angular
K	Fator de área basal
R^2	coeficiente de determinação
$Sy_x\%$	erro padrão de estimativa em porcentagem
N	número de árvores por hectare
G	área basal por hectare
dap	diâmetro à altura do peito
IMA_h	incremento médio anual em altura
IP_7h	incremento periódico em altura para os últimos 7 anos

1 INTRODUÇÃO

A madeira tem ocupado uma posição central nos interesses do homem desde os tempos mais remotos (para fazer utensílios e armas), aos atuais, com largo uso em construções, fabricação de papel, combustível, entre outros.

A produção de madeira depende do processo fotossintético, onde mediante a assimilação, as árvores transformam água e gás carbônico em substância orgânica, sendo o crescimento influenciado por fatores do meio ambiente, que são basicamente: climáticos, edáficos e topográficos.

Dentre os fatores climáticos, a luz em sua amplitude, intensidade, duração e periodicidade, regula vários fenômenos fisiológicos como a acumulação de reservas, frutificação, movimento dos estômatos e crescimento do caule. A temperatura juntamente com outros fatores como a luz e a água influem diretamente no balanço da fotossíntese, ou seja, na assimilação líquida que ocorre devido a diferentes tendências entre respiração (gasto) e assimilação em diferentes temperaturas.

Os solos formados pela ação do clima (intemperização) e pela ação da vegetação, que melhora as suas propriedades químicas e físicas pela incorporação de matéria orgânica e pelo desenvolvimento das raízes, regem o crescimento radicular e o fornecimento de nutrientes as plantas. Já a topografia tem influência na suscetibilidade de um solo a erosão, e fornece características específicas ao habitat quando altera a configuração do clima geral.

A interação de todos estes fatores sobre a planta, expressa a qualidade do sítio, e o conhecimento de como estes fatores influem no crescimento é de fundamental importância quando se trabalha com introdução de espécies,

e quando se quer maximizar o aproveitamento do local, uma vez que árvores de uma mesma espécie apresentam em função do sítio, crescimentos diferentes, e um determinado sítio pode ser bom para uma espécie e ruim para outra, sendo portanto a qualidade do sítio definida individualmente.

A interação dos fatores ambientais é expressa na vegetação, o que possibilita a busca de parâmetros de crescimento que indiquem a qualidade do sítio na própria vegetação. A variável dendrométrica mais utilizada para medir a qualidade do sítio atualmente é a altura dominante, principalmente por não ser influenciada por desbastes por baixo e não ser afetada pela densidade do povoamento.

Procedimentos matemáticos, como as técnicas de análise de regressão, que podem descrever o crescimento das árvores ao longo do tempo, são ferramentas bastante úteis no estudo do crescimento e da produção. O estudo das curvas de crescimento em altura para um dado povoamento originam as curvas de índice de sítio, que são fundamentais para orientar o inventário florestal, a construção de tabelas de produção, estudo de variedades e espécies, estudos de práticas adequadas ao manejo, bem como o planejamento da empresa florestal.

Estudos sobre a caracterização dos sítios florestais através da altura dominante para povoamentos de pinus localizados no Planalto e na Serra do Nordeste no Rio Grande do Sul, foram realizados por SCHNEIDER (1984), BRASIL (1987) e SELLE (1994), sendo que para as regiões da Depressão Central, Serra do Sudeste e Litoral, estes estudos ainda não foram realizados.

As regiões fisiográficas denominadas de Serra do Sudeste, Depressão Central e grande parte do Litoral localizam-se na chamada metade sul do Estado, que consiste em uma linha imaginária, traçada no decorrer deste século, que divide o Rio Grande do Sul em municípios ricos e pobres.

Com uma área de 124.877 Km², e com 46,34% do território do Estado do Rio Grande do Sul, a metade sul não alterou significativamente o seu perfil econômico nos últimos noventa anos. Os municípios desta região diminuíram seus principais indicadores sócio econômicos, sendo que entre 1982 e 1996, a participação da metade sul no conjunto de riquezas produzidas pelo estado (PIB), caiu cerca de 0,5% ao ano.

A competição decorrente da integração do Mercado Comum do Sul (Mercosul) expôs de forma mais acentuada a vulnerabilidade da produção primária, que é a atividade econômica dominante na região. Tal fato levou os governos federal e estadual a destinarem recursos a serem investidos em obras de infra-estrutura e fomento a produção, sendo que uma das estratégias para reverter este quadro de estagnação deve prever não somente as atividades tradicionais, mas buscar a diversificação. Neste quadro o reflorestamento certamente é uma alternativa viável para a região.

Segundo a Associação Gaúcha de Empresas Florestais AGEFLOR (1991), a área total de florestas implantadas no estado é de 480.000 hectares, o que é insignificante frente a disponibilidade de solos aptos ao reflorestamento (cerca de 10.000.000 hectares). O gênero *Pinus* cobre uma área de cerca de 180.000 hectares e distribuí-se principalmente nas regiões da Serra do Nordeste, Litoral e Serra do Sudeste, onde contribui com cerca de 701.400 metros cúbicos por ano. A Serra do Sudeste e o Litoral contribuem com cerca de 43% deste volume (301.200 m³).

A necessidade de diversificação, possibilidade de abertura de novos mercados, necessidade de novos investimentos aliados a uma indústria de base florestal já estabelecida, justificam estudos sobre o crescimento em função do sítio para a Serra do Sudeste e o Litoral, uma vez que tratam-se de regiões com grandes áreas aptas ao reflorestamento.

Este estudo, realizado em florestas de *Pinus elliottii*, localizadas nas Unidades de Mapeamento de solo Ibaré, Pinheiro Machado e Curumim, nos municípios de Encruzilhada do Sul, Piratini, Palmares do Sul e Mostardas, tem os seguintes objetivos:

- a) Descrever o crescimento em altura em função da idade nas três unidades de mapeamento.
- b) Comparar o crescimento em altura nas três unidades de mapeamento e verificar a possibilidade de seu agrupamento.
- c) Comparar as curvas de índice de sítio obtidas neste estudo com curvas feitas para outras regiões do Estado e para outros Estados da Federação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Caracterização da espécie

Segundo MIROV (1967), O gênero *Pinus* tem sido utilizado pelo homem desde os tempos mais remotos. Cita que, Theophrastus (370-285 ac), em seu inquérito sobre plantas, escreveu sobre a morfologia deste gênero, sua reprodução e utilidade para o homem.

PAIT et al. (1991), descreveram que o *Pinus elliottii* var. *elliottii*, tem como região de ocorrência natural, o Estado da Carolina do Sul até o oeste do Estado da Lousiana, em uma estreita faixa próxima ao Oceano Atlântico no sudoeste dos Estados Unidos. Em sua região de ocorrência natural ocupa uma área de 5,1 milhões de hectares, respondendo por cerca de 12% do estoque de madeira existente. Enquanto que a variedade densa, de menor importância para as plantações comerciais, tem sua área natural de ocorrência limitada ao extremo sul da Flórida.

Segundo LAMPRECHT (1990), o *Pinus elliottii* como espécie heliófila de crescimento rápido, goza de alta competitividade em relação as gramíneas e arbustos lenhosos, atingindo alturas de 20 a 30 metros, (máximo 40 metros), e um Dap de 60 a 90 cm. O sistema radicular pode penetrar no solo até uma profundidade maior que 5 metros.

De acordo com Schultz apud PAIT et al. (1991), solos planos mal drenados, margens de rios e lagoas e áreas ocasionalmente alagadas como baias e pântanos formam o habitat natural desta espécie, porém pode rapidamente colonizar sítios secos se as condições assim o permitirem.

Para LAMPRECHT (1990), o *Pinus elliottii* var. *elliottii* tem preferência natural por solos ácidos e arenosos localizados sobretudo em

baixadas e junto a cursos de água, bem como, áreas com lençol freático próximo a superfície. Em locais mais secos esta variedade cede lugar ao *Pinus palustris* passando a formar com o mesmo um mosaico de pequenos povoamentos puros e ralos.

A temperatura média anual na região de origem oscila entre 15 e 24°C, e os índices de precipitação variam de 650 a 2500 mm, com um período seco de no máximo 4 meses. É considerado bastante resistente às geadas e amplamente tolerante a ventos com elevados teores de sal.

Fisher apud PAIT et al. (1991) descreveu os parâmetros de solo mais associados com o bom crescimento em altura para o *Pinus elliottii*, indicando que geralmente áreas planas mal drenadas, lagoas rasas ou pântanos são os melhores sítios.

Para VAN GOOR (1967), os solos mais recomendáveis para *Pinus elliottii* no Brasil são os podzólicos e os latossolos mais argilosos, tendo o autor encontrado correlações positivas entre a qualidade do sítio e a soma de bases trocáveis e o teor de fósforo no solo.

2.2 O problema da qualidade do sítio

Os ecossistemas funcionam como um complexo ciclo de energia marcado por perdas e ganhos envolvendo vegetação, atmosfera e solo. Neste contexto, o cientista florestal dedica-se ao segmento floresta, que é apenas uma parte do ecossistema, e tem como desafio integrar todos os fatores de sítio para produzir uma estimativa da qualidade do sítio florestal.

Para CLUTTER et al.(1983), os métodos para predizer o crescimento de florestas são baseados no conceito de que o crescimento e a produção de povoamentos de uma dada espécie ou composição de espécies são influenciados por quatro fatores:

- a) Idade do povoamento ou a distribuição da idade em povoamentos inequívocos;
- b) a capacidade inata de produção da área envolvida;
- c) a suposição de que esta capacidade inata tem sido e é plenamente utilizada;
- d) tratamentos silviculturais aplicados.

DAVIS (1966), citou a definição de sítio dada pela Sociedade Americana de Engenheiros Florestais, como uma área considerada segundo os seus fatores ecológicos em relação a sua capacidade de produzir florestas ou outra vegetação sob a combinação de condições biológicas, climáticas e edáficas.

SPURR & BARNES (1973), afirmaram que os fatores de sítio não são somente interdependentes, mas também são parcialmente dependentes da floresta que é a principal formadora de fatores de sítio. Devido a estas interações, as técnicas que estimam a qualidade do sítio através da avaliação de alguns fatores considerados mais importantes, podem fornecer somente aproximações, pois somente considerando a floresta e o sítio como um ecossistema complexo interrelacionado será possível compreender plenamente esta dinâmica natural.

SCHNEIDER (1993), afirmou que a classificação de sítios pode ser ampla ou específica, diferenciando-se pelo grau de especificidade, condicionado geralmente pelo número de fatores influentes no sítio analisado.

O aspecto amplo inclui classificações grosseiras de sítio, estabelecendo zoneamentos para grandes regiões, com grandes intervalos de classe. As espécies são estudadas pela sua adaptabilidade climática, e em função de classificações gerais de solo.

As determinações mais específicas incluem levantamentos mais apurados, e são feitas a nível de área de uma empresa ou dentro de zoneamentos mais amplos.

Devido a isto, o autor afirmou ser possível determinar a qualidade do sítio pela medição de vários fatores que possam vir a ser integrados em um índice, porém a primeira questão sobre o sítio é : o que medir, como e em que termos.

Para SCHLATTER & GERDIN (1995), deve-se analisar a dependência da produtividade em função de um conjunto de variáveis de sítio de distinta natureza para destacar as mais significativas. Para uma melhor interpretação dos resultados é conveniente agrupar tais variáveis em conjuntos que caracterizem determinadas condições de sítio, sendo estes grupos de variáveis denominados fatores de sítio.

Porém SPURR & BARNES (1973), afirmaram haver uma certa confusão na literatura florestal sobre o uso do termo sítio, e explicaram os dois sentidos em que o termo é freqüentemente utilizado. Primeiro como uma área ou localidade que simplesmente suporta árvores em crescimento, e segundo como a capacidade da área ou localidade em sustentar o crescimento.

Portanto, há duas formas de classificar o sítio, uma referindo-se ao crescimento das árvores desconsiderando as características do sítio, e outra, levando-se em consideração características do sítio como clima, solo, vegetação, etc...

JOHNSTON et al. (1967), afirmaram que o principal problema na classificação de sítios para propósitos florestais está em encontrar fatores que sejam bons índices de crescimento e ainda que sejam ideais para mais de uma espécie.

Segundo o autor, na prática, os fatores de sítio tem sido menos precisos como indicadores do crescimento potencial, do que predições baseadas em fatores de crescimento. Devido a isto, a grande maioria das classificações seguem o segundo caminho, embora apareçam na literatura termos como classe de sítio e qualidade do sítio em classificações feitas sem considerar as características do sítio.

Portanto, o objetivo principal da classificação de sítio é estender uma conhecida correlação entre sítio e crescimento para locais onde o crescimento não pode ser medido diretamente por uma razão ou outra.

Vários são os fatores que podem ser utilizados como índices de crescimento das árvores, tanto individualmente, como em combinações.

Para Cherton et al. apud GERDING & SCHLATTER (1995), a produtividade do sítio pode ser expressa através do seguinte modelo geral:

$$P = f(C, R, S, Q, V, A, M, T)$$

Onde:

P = produtividade do solo;

C = clima;

R = relevo;

S = características estáveis e dinâmicas do solo incluindo o regime de água;

Q = qualidade genética do povoamento;

V = estrutura da comunidade vegetal;

A = animais;

M = influência do homem;

T = tempo;

Os autores afirmaram que para determinar os principais fatores que explicam as variações na produtividade, os pesquisadores florestais

simplificam este modelo, considerando alguns fatores constantes ou considerando inter-relações entre os mesmos, como por exemplo, considerando que o relevo está expresso no clima e no solo.

CLUTTER et al. (1983), denominaram os métodos de classificação de sítios em diretos e indiretos, sendo que os métodos diretos requerem a existência atual ou no passado de espécies de interesse no local onde a qualidade será avaliada.

Segundo os autores os métodos diretos dividem-se em :

- a) Estimação pelo histórico da produção;
- b) estimacão baseada em dados de volume do povoamento;
- c) estimacão baseada em dados de altura do povoamento.

E os métodos indiretos dividem-se em:

- a) Estimação pelas relações inter-espécies;
- b) estimacão pelas características da vegetação inferior;
- c) estimacão pelos fatores topográficos, climáticos e edáficos.

2.2.1 Classificacão mediante fatores climáticos

O clima sendo resultante de um conjunto de influências físicas provenientes de elementos meteorológicos e de fatores geográficos condiciona à vegetação uma individualidade dependente destes fatores. Para cada tipo de vegetação é necessário uma delimitacão destes fatores e assim relacionar verdadeiramente o clima com a distribuiçao da cobertura vegetal atual (NOGUEIRA et al. 1997 p.103).

JOHNSTON et al. (1967) e SCHNEIDER (1993), afirmaram que as classificacões mediante fatores climáticos são mais utilizadas para zoneamentos de grandes áreas, devido ao sítio sofrer a influéncia de outros fatores além dos climáticos.

Humbolt, segundo NOGUEIRA et al. (1997), foi o primeiro a dar linhas mestras na classificação fitoclimática. Posteriormente, surgiram outros como Koeppen que identificou as regiões de clima do globo através do estudo da vegetação, relacionando com valores numéricos de temperatura e precipitações. Thornthwaite tentou esclarecer as razões do revestimento florístico com seus limites climáticos regionais, partindo da comparação entre evapotranspiração potencial e precipitação fluvial.

Em estudo pioneiro no Brasil, GOLFARI (1967), comentou sobre as exigências climáticas das três coníferas mais plantadas no sul do Brasil, (*Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*), mencionando que todas exigem um período de frio invernal durante o ano para o seu desenvolvimento normal.

HOLDRIDGE (1982), após estudar vários sistemas de classificação, elaborou a classificação de Zonas de Vida, utilizando principalmente valores anuais de precipitação e temperatura.

NOGUEIRA et al. (1987), aplicaram o conceito de zonas de vida para o estado de Santa Catarina e concluíram que o sistema tinha qualidade para prever características da vegetação natural a partir de dados climáticos.

ARES & MARLATS (1995), ao estudarem fatores de sítio relacionados ao crescimento de plantações de coníferas na Argentina, concluíram que para *Pinus radiata*, a temperatura média do mês mais quente teve uma relação inversa com o índice de sítio, indicando que regiões mais frias são mais aconselháveis para esta espécie. Este resultado veio de encontro ao obtido por GOLFARI (1967), o qual afirmou que quando a temperatura média anual do mês mais quente é mais alta do que na área de ocorrência natural, o crescimento decresce e podem ocorrer ataques de fungos.

GERDING & SCHLATTER (1995), ao estudarem a produtividade de *Pinus radiata* em 70 sítios com grandes variações de clima e solo no Chile central, destacaram o clima como o principal fator responsável pela variação na produção. Observaram que para solos arenosos se alcança uma melhor produtividade em condições de alta precipitação e baixas temperaturas, sendo que as baixas temperaturas nas estações frias e a baixa precipitação no período vegetativo foram limitantes para o crescimento dos povoamentos.

2.2.2 Classificação mediante fatores edáficos

O solo constitui o ambiente sólido do vegetal, existindo até certo grau uma influência mútua entre estes. Quando se observa extensas regiões é o clima o fator responsável pela diversificação das formações vegetais, porém para o habitat em particular, o solo entra como elemento principal, não decidindo apenas sobre qual formação ocorrerá, mas também influenciando na aparência e produtividade. (ANDRAE, 1978 p.74).

O levantamento de solo pode fornecer subsídios para a seleção de espécies, extrapolação de resultados experimentais, predição de crescimento e da qualidade da madeira, resposta a fertilizações minerais e definições de técnicas silviculturais.

SCHNEIDER (1993), afirmou que para se fazer uma aceitável determinação da qualidade do sítio baseando-se em fatores do solo, deve-se ter um perfeito conhecimento da espécie em estudo, e com isto relacionar o maior número possível de parâmetros.

Para este autor, uma vantagem deste tipo de levantamento é a sua independência em relação ao povoamento, podendo ser aplicado também onde os mesmos estão ausentes.

Lutz e Candler apud DAVIS (1966), citam as principais características do solo que influenciam a produção:

Fatores relativamente permanentes: Profundidade e textura do horizonte A; textura e estrutura do horizonte B; textura e estrutura do horizonte C; natureza do solo com respeito a permeabilidade em relação a água e raízes; conteúdo de cálcio; conteúdo de pedras no solo; relevo.

b) Fatores sujeitos a mudanças em certos períodos de tempo: Tipo de húmus; conteúdo de nitrogênio; estrutura das camadas superficiais.

Segundo GONÇALVES (1988), as interpretações nestes tipos de levantamentos são precisas quando baseiam-se em uma síntese de dados básicos sobre as unidades de solo mapeadas, originada da experiência do usuário e pesquisa no campo e em laboratório. Em muitos casos, como na implantação de povoamentos, tais informações não estão disponíveis e a interpretação é de caráter subjetivo, as vezes, refletindo uma representação grosseira da realidade.

Segundo este autor, o desejável é que o levantamento de solo seja realizado para objetivos específicos, como por exemplo, em função do manejo do solo, que depende do nível tecnológico previsto. Para isto é preciso um trabalho integrado entre o cientista do solo e o silvicultor, principalmente na escolha do tipo de levantamento a ser realizado e nas possíveis adaptações do mesmo.

Na concepção de GONÇALVES (1988), os sistemas de classificação de solos foram desenvolvidos para fins agrícolas, o que traz entraves na sua utilização para fins florestais.

Outros problemas como a falta de informações sobre as relações entre as características do solo e o crescimento das espécies florestais; o predomínio das atividades florestais em solos de baixa fertilidade com espécies de rápido crescimento, com baixa utilização de insumos e com

conseqüente depauperamento da fertilidade do solo dificultam as interpretações em levantamentos de solo, pois a variação na fertilidade torna-se bastante dinâmica prejudicando uma previsão duradoura de produtividade.

BARROS et al. (1986), ao propor uma metodologia para a classificação nutricional de sítios florestais, comentou que não são raros os casos em que se observam variações de produtividade dentro de uma mesma unidade taxonômica. Os critérios para a definição de unidades de mapeamento devem obrigatoriamente mostrar relação com características definidoras do crescimento florestal. Assim as unidades taxonômicas originais devem ser subdivididas ou ampliadas ao se observar variações de crescimento, uma vez que, raramente, dentro de uma determinada região observa-se uma mesma resposta de crescimento de uma espécie numa faixa completa de variação de uma característica de solo desde a deficiência até o excesso.

Segundo o autor a dificuldade em dar uma interpretação biológica ou fisiológica aos efeitos de características ambientais sobre o crescimento, é outra dificuldade inerente aos levantamentos de solo, pois os fatores relacionados com a produtividade não necessariamente precisam ser determinantes diretos no crescimento, e não são raras as vezes em que uma característica sabidamente limitante é inversamente relacionada com a produção florestal. A qualidade do sítio portanto, não pode ser medida somente em termos das propriedades do solo, pois o solo é apenas um fator no complexo “sítio”, sendo que para uma avaliação apropriada dos efeitos das propriedades do solo na produção, os demais fatores que influenciam no crescimento deveriam ser constantes.

2.2.3 Classificação mediante fatores topográficos

“O relevo é a constelação de formas menores de superfície da terra, composto de inclinações e exposições variáveis, que dão variação ao clima regional e local e indiretamente as características do solo”. (ANDRAE, 1978).

O crescimento portanto, pode ser diferente para uma floresta que cresce sobre um mesmo tipo de solo, porém em diferentes exposições, o que faz com que varie a insolação e os ventos.

A topografia por estar intimamente correlacionada com as diferenças micro-climáticas, profundidade efetiva do solo, risco de erosão, possibilidade do emprego de mecanização e regime de nutrientes do solo, e pode constituir-se em um bom indicador de sítio.

GONÇALVES (1988), afirmou, ilustrativamente, que os latossolos apresentam-se em classes de declive bastante variável, porém com o predomínio suave ondulado a forte ondulado; os Podzólicos variam de ondulado a montanhoso ; as areias quartzosas apresentam classes de declive plano a suavemente ondulado e os solos pouco desenvolvidos apresentam-se em declives fortemente ondulados.

A classificação topográfica de sítios pode ser avaliada rapidamente com a utilização de fotografias aéreas e mapas topográficos sem a necessidade de levantamento de fatores edáficos. (SPURR & BARNES, 1973).

Para RIGHTMEYER (1988), de uma maneira geral, uma maior produtividade está associada com a exposição norte nos declives para folhosas nos Estados Unidos, e isto foi atribuído a um aumento da umidade e na profundidade de enraizamento.

No Brasil, estudos como o de BRUM (1979), encontraram médias máximas para altura dominante de *Pinus elliottii* nas partes inferiores do relevo, onde havia uma maior predominância de areia e onde as características hidrológicas favoreciam um maior acúmulo de nutrientes nas zonas mais baixas do relevo.

DOLDAN (1987), ao estudar o desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* em resposta aos estímulos do meio ambiente para a região de Ponta Grossa (PR), enfatizou a importância da altura do lençol freático, que por sua vez estava relacionado com a topografia local, como um fator determinante no crescimento da espécie, em que o baixo poder de armazenamento dos solos arenosos foram compensados pelo lençol freático próximo a superfície, tornando-os bastante produtivos.

2.2.4 Classificação mediante características da vegetação natural.

A presença, abundância relativa e o tamanho relativo das espécies em uma floresta, reflete a natureza do ecossistema florestal das quais as mesmas são parte e portanto, podem servir como indicadores da qualidade do sítio.

Segundo SPURR & BARNES (1973), esta correlação pode ou não ocorrer, devido a vegetação refletir eventos passados como secas, fogo, danos por pragas e vários outros fatores no complexo ecológico. No entanto, os autores acreditam que as características do sítio são suficientemente refletidas na vegetação e podem ser usadas com sucesso como um índice de qualidade do sítio.

Segundo estes autores, algumas espécies arbóreas possuem uma amplitude ecológica pequena e sua ocorrência pode indicar determinado sítio, porém a maioria das espécies tem uma larga amplitude ecológica e podem ocorrer em uma grande variedade de sítios, tornando sua presença

um indicador pobre. As plantas dos estratos inferiores embora sendo mais influenciadas pela densidade, eventos históricos e a composição da floresta do que as árvores, tem em muitos casos uma tolerância ecológica mais restrita e devem ser mais utilizadas como plantas indicadoras.

A classificação de sítios florestais em termos de vegetação nos estratos inferiores teve início com Cajander em 1909, que a correlacionou com o crescimento de árvores de *Pinus silvestris* e *Picea abies* na forma de tabelas de produção para o norte da Finlândia (JOHNSTON, 1967).

DAUBENMIRE (1961), utilizou uma classificação baseada em associações de plantas para o estado de Washington e para o norte do estado de Idaho, nos Estados Unidos e concluiu que o método servia como uma maneira rápida de predizer o crescimento de *Pinus ponderosa* em sete sítios.

PFISTER & ARNO (1980), descreveram um método para a classificação de habitats florestais baseados na vegetação potencial clímax, tendo como pressuposto que a sucessão até o clímax pode ser identificada em florestas relativamente jovens.

Segundo os autores, um sítio inclui todas as áreas potencialmente capazes de produzir uma comunidade de plantas similares no clímax, o que não necessariamente reflete similaridades na vegetação corrente. As árvores clímax podem ser preditas avaliando-se a estrutura da floresta e a sua tolerância a sombra, pois espécies tolerantes tendem a tornar-se dominantes.

No Brasil, estudos como os feitos por GOLFARI (1967) e DE HOOGH & DIETRICH (1976), concluíram que o melhor crescimento para *Araucaria angustifolia* ocorreu em áreas que estavam cobertas por mata nativa ou capoeirão, indicando que uma classificação da vegetação anterior ao plantio pode ser útil para a avaliação do sítio para esta espécie.

Portanto, as classificações florísticas podem ser utilizadas com algum sucesso, onde a vegetação inferior (sub-bosque) é razoavelmente estável,

não tenha sido muito perturbada pela ação do homem ou do fogo, onde os sítios e as espécies sejam poucas e onde o clima não é muito variável (JOHNSTON,1967).

2.2.5 Classificação multifatorial de sítios

Como a qualidade do sítio representa a soma dos fatores edáficos, climáticos e biológicos que afetam as plantas, o sítio é visto não como um fator, nem todos os fatores, mas a soma dos fatores efetivos entre os quais um ou mais são dominantes (SPURR,1952). Este sistema de classificação de sítio, procura correlacionar ao mesmo tempo os vários fatores influentes no sítio.

Segundo SCHNEIDER (1993), este é o método que dá melhores resultados, porém o processo de avaliação é moroso e complicado exigindo grande conhecimento em várias áreas de conhecimento, o que é difícil de se encontrar em um só técnico, aumentando os custos de determinação.

SCHLATTER & GERDING (1995), definiram um método multifatorial de classificação de sítios para a produção florestal no Chile que basicamente consiste em:

a) Divisão macroclimática, que deve ser feita no sentido da latitude, onde a pluviosidade com sua distribuição anual e a temperatura são decisivas;

b) divisão das regiões macroclimáticas em zonas de crescimento, baseadas na variação longitudinal do clima onde os principais fatores analisados são a umidade relativa, geadas (período livre e sua intensidade) e precipitação;

c) divisão das zonas de crescimento em distritos de crescimento, que baseia-se na variação latitudinal do clima como um aumento paulatino da precipitação;

d) divisão dos distritos em áreas de crescimento, com base na variação climática com a altitude e no solo em relação a sua profundidade;

e) divisão das áreas de crescimento em sítios.

ARES & MARLATS (1995), relacionaram fatores edáficos, topográficos, climáticos e as características dos povoamentos com o crescimento de coníferas plantadas em zonas acidentadas na Argentina, concluindo que os fatores críticos que limitavam o crescimento diferiram com as espécies estudadas.

Segundo GREY (1983), obtém-se maior sucesso nestes estudos em áreas menores, onde a estratificação tem a vantagem de reduzir fatores. Em uma área com macro-clima e geologia uniforme, o fluxo de nutrientes, as trocas de energia e os processos de formação do solo e umidade são altamente correlacionados com a topografia.

Segundo o autor os modelos que incluem um grande número de variáveis e uma estatística mais complexa tem sido os mais utilizados recentemente. No entanto uma cuidadosa escolha de um grupo de variáveis deve explicar de 65% a 80% da variação no crescimento das árvores para que se tenham prognoses aceitáveis.

MEYER et al. (1961) e CARMEAN (1975), citaram o método solo-sítio, desenvolvido por Zhaner em 1975, que baseia-se na locação de parcelas em diversos sítios representativos de uma série de solos, topografias e climas encontrados em uma dada área florestal ou região. O índice de sítio estimado nestas parcelas é correlacionado com as características do solo, topografia e clima através do uso de equações múltiplas.

No entanto, BUFORD & MCKEE (1988), ao relacionarem o índice de sítio a florestas naturais de *Pinus taeda*, na Carolina do Sul, nos Estados Unidos, concluíram que a habilidade destas funções em predizer o crescimento foi bastante pobre, resultado também encontrado por diversos outros pesquisadores.

Os autores afirmaram que o crescimento em altura das árvores é um processo dinâmico. Mudanças no solo ou outras condições ambientais acarretam variações no crescimento em altura durante a vida das árvores e o índice de sítio é uma medição do resultado cumulativo destas condições de crescimento em uma idade índice.

Sob este ponto de vista, não é surpresa que os parâmetros ambientais em um dado ponto no tempo, não sejam capazes de fazer predições aceitáveis, sendo necessário incluir medições dinâmicas nos modelos futuros.

GULDIN et al. (1988), comparou quatro métodos solo-sítio de avaliação da qualidade do sítio para *Pinus taeda*, concluindo que o método de Baker & Broadfood (1979) foi superior ao de Zahner (1975) para avaliações de sítio, porém para ambos os métodos o nível de acuracidade foi mais baixo que o desejado, sendo que alguns povoamentos tiveram o índice de sítio diferindo mais do que três metros em relação ao estimado.

2.2.6 Estimativa da qualidade do sítio por relações inter-espécies

Os métodos indiretos para a avaliação da qualidade do sítio devem ser aplicados quando espécies (ou tipo florestal) de interesse não estão presentes na área sob avaliação. Em situações onde outra vegetação arbórea ocorre, medições feitas nesta vegetação, podem ser utilizadas para avaliar a qualidade do sítio para espécies de interesse, desde que se conheçam as

relações entre o crescimento das espécies de interesse e as espécies avaliadas. O procedimento mais comum nestes casos é o de se estabelecer um vínculo entre índices de sítio para as duas espécies (CLUTTER et al., 1983).

Os autores citam o procedimento utilizado por Coile em 1948, que através de medições de árvores dominantes e codominantes de *Pinus taeda* e *Pinus echinata*, ajustou um modelo de regressão usando o índice de sítio para *Pinus echinata* como variável independente, e o índice de sítio para *Pinus taeda* como variável dependente no estado da Carolina do Norte, nos Estados Unidos, obtendo a equação:

$$Y = 1,13 X$$

Onde : Y = índice de sítio para *Pinus taeda* (idade índice de 50 anos);

X = índice de sítio para *Pinus echinata* (idade índice de 50 anos).

STEELE & COOPER (1986), apresentaram equações para prever o índice de sítio de várias espécies através do índice de sítio de espécies associadas. Os autores mencionaram que nenhuma das curvas foi idêntica, o que reflete um padrão de crescimento específico para cada espécie. Conseqüentemente, quando se compara espécies em idades diferentes da idade índice, diferentes alturas podem ser registradas por árvores de igual altura na idade índice.

As relações entre o índice de sítio de duas espécies pode mudar com a qualidade do sítio, uma vez que uma determinada espécie pode responder de uma maneira mais forte a uma determinada alteração, ou seja, o incremento em altura pode ser comparativamente maior que as espécies associadas ou vice - versa.

2.2.7 Estimação da qualidade do sítio através de dados de volume

JOHNSTON et al. (1967), citam que a primeira classificação de sítio baseada em volume foi feita por Jonson na Suécia, que utilizou o incremento médio anual aos 100 anos como base para a classificação de florestas de *Pinus sylvestris* e *Picea abies*.

O volume é a variável dendrométrica que exprime mais diretamente a capacidade produtiva do sítio, porém apresenta como inconveniente a dificuldade de ser medido em pé com precisão, ser influenciado pela densidade e ainda a necessidade de se conhecer os volumes removidos nos desbastes ou perdidos por causas naturais.

CLUTTER et al. (1983), afirmaram que em povoamentos que se tenham um consistente regime de manejo é possível utilizar o volume como um indicador da qualidade do sítio. Como exemplo citaram o sistema utilizado em plantações de *Pinus* no sul da Austrália em que a densidade é constante, a taxa de mortalidade é pequena e varia pouco entre povoamentos de mesma idade além da constituição genética ser comparável em todas as áreas de plantio.

2.2.8 Estimação da qualidade do sítio através da altura

Segundo ASSMANN (1970), o crescimento em altura das árvores segue um curso regular em conformidade com certas leis naturais. Na curva de incremento em altura ocorrem dois pontos de inflexão e um ponto de culminação que ocorre na mesma idade que o ponto de inflexão na curva de crescimento.

Estes dois pontos de inflexão na curva de incremento marcam a divisão entre três fases características que ocorrem nesta curva. A primeira

fase é definida pelo primeiro ponto e é denominada de fase juvenil; a região entre o primeiro e o segundo ponto, onde a curva é côncava e inclui o ponto de culminação é denominada de fase de pleno vigor; e a partir do segundo ponto de inflexão a curva é normalmente convexa e o incremento decresce lentamente marcando a fase de senescência ou declínio.

Estas fases naturais na curva de incremento são de grande importância para a ciência florestal, pois os maiores valores em altura atingidos nos melhores sítios devem-se aos maiores incrementos que ocorrem durante as duas primeiras fases de crescimento na curva de crescimento acumulado, ou, curva de produção.

Bauer apud ASSMANN (1970), questionava a classificação de sítios apenas por fatores de sítio por ser difícil de ser igualmente descritos por diferentes pessoas, e conseqüentemente a combinação de diferentes fatores em diferentes locais poderia traduzir-se em diferentes respostas no crescimento.

O autor afirmou que se alguém empregar na classificação de sítio de uma área experimental fatores como exposição, profundidade do solo, umidade, etc., logo encontrará que a escala para classificar o sítio encontra-se na altura média do povoamento.

Eichhorn e Gehrhardt apud ASSMANN (1970), afirmaram que se altura média de dois povoamentos são semelhantes, ambos terão o mesmo volume em todas as classes de sítio. Gehrhardt ampliou este conceito, considerando o volume retirado em desbastes ou seja, a produção total, também como uma função da altura média.

A altura média porém apresenta o inconveniente de ser influenciada pelos desbastes aplicados, sendo necessário se utilizar a altura dominante em substituição a altura média em tabelas de produção.

A altura dominante é a variável dendrométrica que melhor se enquadra aos requisitos propostos por BURGER (1976), que são:

- a) Facilidade de determinação a campo;
- b) possuir boa correlação com a produção volumétrica;
- c) indicar a qualidade do sítio para todas as idades do povoamento;
- d) ser independente da densidade do povoamento.

Com relação ao efeito da densidade sobre o crescimento da altura dominante SMITH & STRUB (1991), comentaram que povoamentos em espaçamentos muito abertos ou muito densos afetam o desenvolvimento da altura dominante. Em experimento com diversos espaçamentos para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* observaram que o crescimento em altura dominante decresceu nos espaçamentos fechados, e que este decréscimo aumentou com a idade.

SCHNEIDER & FINGER (1993), ao estudarem a influência da intensidade de desbaste sobre o desenvolvimento da altura média e dominante de povoamentos de *Pinus elliottii*, concluíram que o desenvolvimento da altura dominante não foi afetado significativamente pela intensidade de desbaste, embora também tenham observado uma diminuição em altura na testemunha (sem desbaste) a partir dos 17 anos, indicando um provável efeito da alta concorrência entre as árvores, o que de certa forma, piora a qualidade do sítio.

Diversas são as definições de altura dominante presentes na literatura, entre as quais a altura média das 100 árvores mais grossas por hectare (ASSMANN), a altura das árvores mais grossas por hectare correspondentes a 12 m² de área basal (POLLANCHÜTZ), a altura correspondente ao dap médio de 20% das árvores mais grossas do povoamento (WEISE), etc...

Autores como FISHWICK (1975), não constataram diferenças significativas entre as definições de altura, recomendando o uso da mais simples delas, ou seja, o conceito proposto por Assmann.

Como existe uma estreita correlação entre a altura dominante e a produção total em volume, pode-se fazer a transformação da prognose da altura dominante em uma prognose da produção total em volume.

Segundo CARMEAN (1970), o índice mais utilizado para determinar a produtividade de uma área florestal é o índice de sítio, que é uma expressão da qualidade do sítio baseada na altura das árvores dominantes e codominantes em uma determinada idade índice.

CLUTTER et al. (1983), afirmaram que muitos usuários das curvas de índice de sítio acreditam erroneamente que o seu objetivo é a predição das alturas do povoamento até uma idade índice, sendo que o verdadeiro objetivo é a seleção de padrões de crescimento em altura que espera-se o povoamento assuma durante a sua vida.

Segundo os autores, os dados para o desenvolvimento de equações de índice de sítio são obtidos basicamente de três fontes :

- a) Medições de alturas em parcelas temporárias;
- b) medições de alturas em parcelas permanentes;
- c) reconstrução da relação altura/idade para árvores individuais através de técnicas de análise de tronco.

No primeiro caso, parcelas temporárias são locadas na população de interesse, e a altura de árvores apropriadas em uma determinada idade são medidas em cada parcela. As parcelas temporárias são consideradas o método mais barato de obtenção de dados para a confecção de curvas de índice de sítio, porém o uso destes dados envolvem o pressuposto que todos os índices de sítio estão representados em todas as classes de idade, o que geralmente é falso e faz com que a predição possa apresentar sérias

imprecisões, pois sítios bons produzem volume mais rapidamente do que sítios ruins, portanto atingem um determinado volume mais cedo, o que implica em uma rotação mais curta. Como resultado os piores sítios estão super representados nas maiores classes de idade.

MONSERUD (1984), encontrou um declínio no índice de sítio com o acréscimo da idade em dados oriundos de análise de tronco de *Pseudotsuga menziesii* nas Montanhas Rochosas nos Estados Unidos, onde povoamentos velhos foram encontrados nos piores sítios. concluiu que este decréscimo refletia uma maior exploração dos melhores sítios no século passado.

Na busca de garantir o pressuposto de representatividade dos índices de sítio nas classes de idade, deve-se coletar os dados de altura/idade estratificando as unidades amostrais sobre diferentes sítios naturais previamente definidos na população. Este método é conhecido como linhas de tendência de crescimento (FINGER, 1998).

As remedições de parcelas permanentes oferecem os melhores dados para o desenvolvimento de curvas de índice de sítio, no entanto a obtenção dos dados desta forma é bastante dispendiosa, sendo que os mesmos ficam disponíveis somente após um determinado período de tempo a partir da instalação das parcelas.

A análise de tronco proporciona dados com praticamente a mesma qualidade dos obtidos por parcelas permanentes. Os custos também são considerados altos, no entanto os dados podem ser utilizados imediatamente (CLUTTER et al. 1983).

Para GIRARDIN & BROQUEN (1995), os povoamentos que devem ser eleitos, a fim de que se possa utilizar a altura dominante como indicadora das condições de sítio devem atender aos seguintes pré requisitos:

a) A população a ser amostrada não deve se encontrar no estado juvenil de crescimento, pois neste estágio o crescimento é muito variável e pode ser afetado por outros fatores que não a qualidade do sítio. Nesta fase não tem sentido a utilização do volume como variável de importância;

b) as densidades não devem ser extremas, entre 900 e 2500 árvores por hectare, de forma que garanta que não afetem a altura dominante;

c) práticas silviculturais que tenham removido árvores dominantes não devem ter sido realizadas;

d) o estado sanitário deve ser bom, e as árvores dominantes não podem ter sofrido danos severos.

Segundo MARIO (1997), as curvas de índice de sítio podem ser monomórficas ou polimórficas. As curvas monomórficas caracterizam-se por apresentar a mesma forma e guardar a mesma proporção para as diferentes classes de índice de sítio. Já as curvas polimórficas apresentam diferentes formas para cada classe de sítio e não guardam proporção nestas classes. Estas podem tomar a forma de curvas polimórficas articuladas e não articuladas.

Em uma família de curvas articuladas a relação de proporcionalidade não se mantém e estas não chegam a cruzar-se dentro da amplitude da idade de interesse. Já nas curvas polimórficas não articuladas ao menos duas curvas cruzam-se dentro da amplitude dos dados de interesse.

DAVIS (1966), CARMEAN (1970), SPURR & BARNES (1973) entre outros, afirmaram que assumir que a forma de crescimento em altura é a mesma para todas as classes de sítio, nem sempre é verdadeiro, e pode levar a erros de estimação, pois as árvores podem ter curvas altura/idade bastante diferentes e mesmo assim atingir a mesma altura (e índice de sítio) na idade índice.

CARMEAN (1970), afirmou que as curvas de índice de sítio baseadas em análise de tronco para as principais espécies nos Estados Unidos, apresentam um crescimento em altura polimórfico. Observou que árvores de carvalho localizadas em sítios ruins começam a crescer mais lentamente em altura a partir dos 25 anos, enquanto árvores em sítios bons mantêm um crescimento linear por 50 anos ou mais. Esta observação levou o autor a concluir que a maioria das árvores tem um rápido crescimento inicial em sítios mais pobres, sendo portanto o crescimento inicial um mau indicador do crescimento para anos posteriores.

Segundo CLUTTER et al. (1983), poucas equações não articuladas são descritas na literatura, e as que existem têm muito pouco em comum metodologicamente. No entanto uma característica é comum: todas envolvem uma ou mais variáveis além da altura e idade.

Nas curvas monomórficas ou polimórficas articuladas o par altura/idade é suficiente para definir a expectativa futura da curva de crescimento em altura para o povoamento em questão. Já para as curvas polimórficas não articuladas um determinado ponto altura/idade pode estar presente em mais de uma curva e alguma outra variável (além do par altura/idade) deve ser avaliada para indicar quais as curvas que passam sobre este ponto e qual será a sua forma esperada.

DO VALLE et al. (1982), citam alguns pontos importantes sobre a interpretação do índice de sítio:

a) Quando se faz comparações de índice de sítio, deve-se ter o cuidado em identificar a idade que baseia-se o índice, pois um índice de sítio 80 na idade índice 50 anos para uma determinada espécie pode ser excelente, enquanto que este mesmo índice para uma outra espécie na idade índice de 100 anos pode revelar um sítio pobre;

b) um índice de sítio baseado em uma idade não pode ser convertido para outra de acordo com uma relação numérica qualquer, ou seja o índice de sítio 60 com idade índice 50 não é o mesmo que um índice de 120 com ano base 100, a não ser que as espécies envolvidas dobrem o seu tamanho em 50 anos;

c) índices de sítio similares para espécies diferentes ou para grupos de espécies distintas não significam necessariamente sítios semelhantes, mesmo quando se utiliza a mesma idade índice;

d) as medidas de índice de sítio podem indicar qualidades de sítio diferentes para uma mesma espécie, na mesma área;

e) no uso das curvas de índice de sítio, é importante saber como a idade e a altura das árvores dominantes foram definidas, medidas e calculadas.

JOHNSTON et al. (1967), afirmaram que a correlação entre o crescimento em volume e o crescimento em altura não é perfeita, e cita o trabalho de Mader (1963) que encontrou uma melhor correlação do crescimento em altura com características do sítio que não foram as que melhor se correlacionaram com a produção volumétrica.

ASSMANN (1970), descreve dois estágios na classificação de sítios para estes casos, que consistem em uma classificação básica usando a altura como índice de crescimento, que posteriormente é modificada por uma classificação suplementar levando-se em consideração os níveis de produção.

Para BARROS et al. (1986), o poder de previsão de produtividade do índice de sítio é bastante baixo, devido a ser um método desenvolvido e aplicado inicialmente em regiões onde os sítios apresentavam maior potencial para a manutenção da produtividade; onde o manejo florestal não é tão intensivo quanto no Brasil; onde os solos são de baixa fertilidade

natural e onde uma porção considerável dos nutrientes está imobilizada na biomassa.

Por outro lado, LONG (1997), verificou que em povoamentos de *Pinus radiata* no sul da Austrália, a produção volumétrica e a média em altura dominante foram superiores para povoamentos em segunda rotação (cerca de 21% e 6%).

Como as precipitações e as temperaturas entre e durante as rotações foram semelhantes, este ganho foi atribuído ao preparo do solo, fertilizações e ao uso de sementes melhoradas.

Avery e Burkhart apud SCOLFORO & MACHADO (1988b), afirmaram que o índice de sítio não é uma constante, mudando periodicamente devido a variações ambientais e climáticas, sendo que o seu valor para uma determinada espécie, não pode ser utilizado como índice para diferentes espécies no mesmo sítio.

Os autores também citam como limitações do índice de sítio, a dificuldade em se determinar a idade exata do povoamento, onde pequenos erros podem causar grandes mudanças no valor do índice de sítio; o fato de o conceito de índice de sítio não ser apropriado a florestas naturais; os efeitos da densidade no povoamento não serem considerados, exceto pela seleção de árvores em povoamentos bem estocados, que não tenham sido afetados pela supressão passada; e outras variáveis associadas com o volume do povoamento (dap, forma do tronco), não serem levadas em consideração.

No entanto, mesmo com algumas limitações, o índice de sítio é o método, mais universalmente utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais; e assim o será, até que métodos que conjuguem a soma de fatores ambientais possam ser traduzidos de forma numérica acessível aos usuários do setor (NETO et al., 1996).

2.3 Modelos de predição do crescimento em altura

Embora os estudos sobre o crescimento de espécies florestais tenham sido iniciados no século passado, na Europa Central, particularmente na Alemanha e na França, foi somente neste século e em especial nas últimas décadas que se pôde constatar um grande avanço no conhecimento científico nesta área.

Os modelos de crescimento basicamente descrevem a mudança em tamanho de um organismo ou uma população com a idade.

Segundo SANQUETTA (1996), “um modelo é a representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais”. No entanto, os modelos apresentam limitações por não serem o próprio objeto ou a entidade, mas uma simplificação ou representação, não sendo portanto perfeitos, podendo ser apenas uma representação bem feita ou não da realidade.

Para ZEIDE (1993), o crescimento resulta da interação entre duas forças opostas. O componente positivo manifesta-se na expansão do organismo, representado por uma tendência inata a multiplicação exponencial, e é associado ao potencial biótico, atividade fotossintética, absorção de nutrientes, metabolismo, etc.

O componente oposto representa as restrições impostas por fatores externos (competição, respiração, stress, limitação dos recursos) e internos (mecanismos de auto-regulação e idade). Estes fatores que afetam de forma adversa o crescimento são denominados de resistência ambiental, metabolismo destrutivo, respiração, etc.

Segundo o autor, o conflito entre a reprodução multiplicativa e o limite imposto pelo espaço físico é a principal fonte de mudanças nos

organismos, inclusive o crescimento. Este conflito é responsável pela força da evolução sendo crucial para que se possa entender os fenômenos biológicos e sociais, ou seja, as funções de crescimento expressam de forma sucinta estes conflitos e resultados.

Segundo AHRENS (1990), os primeiros estudos de crescimento e produção registrados na literatura florestal foram as tabelas de produção, pois antes do desenvolvimento das técnicas de análise de regressão, informações históricas sobre a produção florestal por unidade de área eram utilizadas em métodos gráficos para possibilitar a obtenção de estimativas de produção por classes de idade.

BRASIL (1989), afirmou que a prognose consiste em uma exploração de tendências observadas no passado para o futuro, podendo somente ser elaborada quando três condições básicas forem satisfeitas:

- a) Deve-se conhecer as tendências ocorridas no passado;
- b) as tendências observadas devem ser nítidas;
- c) as tendências devem apresentar um comportamento lógico;

Uma das formas tradicionais de predição é o ajuste da altura em função da idade, que pode ser feito por uma grande variedade de modelos lineares e não lineares.

ASSMANN (1970), cita a lei de Backman (1943), propagada para fins florestais por Weck em 1953, que pressupõe que o ponto de culminação do incremento corrente anual em altura, localiza-se a 15,9% da altura máxima (assíntota), sendo expresso por:

$$\log Z = K \times \log^2 t \quad (1)$$

Onde: Z= incremento em altura;

K= constante negativa;

t= idade;

Para se obter estimativas da altura teórica final esperada de uma determinada árvore deve-se utilizar o papel de probabilidade, que é subdividido na abcissa em logaritmos e na ordenada em porcentagens. Neste são plotados os valores percentuais da altura teórica final atingidas nas diferentes idade, onde verifica-se que a disposição dos dados médios é uma reta que facilmente pode ser prolongada para idades futuras.

EMERENCIANO (1981), ao avaliar o método sugerido por Backman, com a utilização do papel de probabilidade, para quatro árvores de *Pinus elliottii* independentes da posição sociológica em Capão Bonito SP, concluiu que entre os métodos de prognose testados, este foi o método mais seguro e o de mais fácil utilização, apesar de estar condicionado a alguma tendenciosidade quando o ajuste gráfico é feito por diferentes pessoas.

SCHNEIDER (1993) ao aplicar a lei de Backman para duas árvores de *Pinus elliottii* em Santa Maria RS, chegou a um valor de altura teórica final de 57.67 metros, considerado muito alto. No entanto a diferença entre o valor em altura real e o estimado para a idade real da árvore foi de 4.4%, considerada aceitável em termos de prognose.

Porém, o autor aconselhou o uso desta lei apenas para determinar a assíntota da curva de crescimento, sem considerar a idade em que ela ocorre. A precisão na obtenção de prognoses com o uso desta lei depende muito do cuidado na obtenção dos dados, normalmente oriundos de análise de tronco, onde erros mínimos podem resultar em estimativas irreais da altura teórica final.

Segundo EMERENCIANO (1981), um dos primeiros modelos utilizados para o estudo de curvas de índice de sítio foi o de Schumacher (1939), expresso por :

$$\log h_{dom} = A + \frac{B}{t} \quad (2)$$

Onde :

h_{dom} = altura dominante;

t = idade;

A, B = coeficientes.

CAMPOS (1970), utilizou o modelo proposto por Schumacher (1939) para a confecção de curvas monomórficas para *Pinus elliottii* no estado de São Paulo.

Também em São Paulo, DO COUTO & BASTOS (1986), utilizaram este modelo porém para *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*.

FIHWICK (1977), construiu curvas de índice de sítio monomórficas utilizando dados oriundos de parcelas instaladas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

CARLOS (1996) e MARIO (1997), utilizaram o modelo de Schumacher em curvas de índice de sítio para *Pinus patula*, *Pinus lawsonii* e *Pinus douglasiana* no México.

O modelo de Prodan (1968), tem sido bastante utilizado por pesquisadores florestais em várias partes do mundo. Este modelo é expresso por:

$$h_{dom} = \frac{t^2}{b_0 + b_1t + b_2t^2} \quad (3)$$

Onde:

h_{dom} = Altura dominante em metros;

t = idade em anos;

b_0, b_1, b_2 = coeficientes.

Segundo MARCOLIN (1990), a escolha deste modelo é o resultado da ponderação de dois fatores: A simplicidade de obtenção dos coeficientes e uso dos mesmos para as estimativas de alturas, e , a precisão e a confiabilidade que o modelo oferece. Este autor utilizou o modelo de Prodan na construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda*, no Segundo Planalto Paranaense, utilizando uma idade índice de 15 anos.

Este modelo foi utilizado por MACHADO (1980), em plantações de *Pinus taeda* na região central do Paraná.

OLIVEIRA & AHRENS (1987), utilizaram o modelo de Prodan para a determinação da qualidade do sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* para o sul e o sudeste do Brasil.

BRASIL (1989a), também utilizaram este modelo para *Pinus elliottii* no plano de manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula no Rio Grande do Sul, utilizando uma idade índice de 30 anos.

MENEGOL (1991), ao relacionar a altura dominante com os teores nutricionais das acículas em *Pinus elliottii*, no Segundo Planalto Paranaense, utilizou o modelo de Prodan para confeccionar curvas de índice de sítio.

O modelo proposto por Richards (1959), segundo ZEIDE (1993), tem como marca registrada a flexibilidade.

Segundo BARUSO (1977), a equação de Richards foi derivada da equação de Bertalanffy, que a desenvolveu para o crescimento animal, sendo expressa por:

$$Y = A \times \left(1 - e^{(-K \times t)}\right)^{(1/(1-M))} \quad (4)$$

Onde:

Y = variável dependente;

t = idade;

A,K,M = coeficientes.

O autor reconheceu entre os animais três tipos de metabolismo:

M = 2/3, M=1 e um intermediário entre estes extremos. Para M=2/3, a curva é sigmóide e apresenta o ponto de inflexão a 1/3 do crescimento total, e para M = 1, o crescimento é exponencial, não limitado.

Segundo ZEIDE (1993), embora este modelo tenha sido descrito por Mitscherlich (1919), tornou-se conhecido por pesquisadores Americanos através de um artigo intitulado “Uma curva de crescimento flexível para uso empírico”, publicado por Richards (1959).

No entanto, Piennar e Turnbull apud BARUSO (1977) apresentam a equação de Bertalanfy, descrita por Richards (1959) no estudo de plantas e por Chapman (1961) no crescimento de peixes, denominando-a de equação de Chapman – Richards.

FINGER (1992), citou como vantagens desta função, a possibilidade de se obter uma interpretação lógica e a sua flexibilidade, adaptando-se bem ao desenvolvimento de diferentes variáveis dendrométricas.

ZARNOCH & FEDUCCIA (1984), utilizaram este modelo em curvas de índice de sítio para povoamentos de *Pinus elliottii*, no chamado Golfo Oeste Norte Americano.

Este modelo também foi utilizado por LENHART et al. (1986), no estudo da produtividade de *Pinus taeda* no oeste do Estado do Texas, nos Estados Unidos.

SCOLFORO & MACHADO (1988), construíram curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii*, para os estados do Paraná e Santa

Catarina, utilizando o modelo de Richards (4) com três coeficientes, e uma idade índice de 25 anos.

SELLE (1993), utilizou a função de Richards (4) ao confeccionar curvas de índice de sítio monomórficas para *Pinus taeda*, na região de Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul, utilizando uma idade índice de 20 anos.

O modelo de Richards (4), também foi utilizado por CHEN et al. (1998) para prever o crescimento em altura de *Populus tremuloides*, no Canadá.

Thomasius (1965), Segundo BRASIL (1989), apresentou a função desenvolvida por Korsun, como muito utilizada em estudos de prognose de altura.

Esta função é expressa por :

$$\ln h_{dom} = b_0 + b_1 \times \ln t + b_2 \times (\ln t)^2 \quad (5)$$

Bitterlich et al. apud BRASIL (1989a), apresentaram a função de crescimento de Korsun para efeito de prognose de crescimento, mas com a fixação da assíntota no modelo partindo da origem.

Este modelo é expresso por:

$$h_{dom} = A \times e^{b_1 \times \ln t + b_2 \times \ln^2 t} \quad (6)$$

Onde:

h_{dom} = Altura dominante em metros;

t = idade em anos;

b_1, b_2 = coeficientes da função.

BRASIL (1989b), construíram curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, utilizando o modelo de Korsun (5) e uma idade índice de 30 anos.

Para a comparação e seleção dos modelos matemáticos são utilizados critérios estatísticos. Para ZEIDE (1993), necessita-se de uma equação que seja esperadamente correta, passe sobre todos os pontos, exponha a tendência de crescimento na nuvem de pontos e separe o essencial do acidental.

FINGER (1992), afirmou que de uma forma geral, se utiliza o coeficiente de determinação e o erro padrão de estimativa, como critérios de análise mais empregados para a seleção dos modelos.

Para NETO et al. (1996), mais importante que as estatísticas de regressão, particularmente para a elaboração de curvas de índice de sítio, a análise gráfica dos resíduos reveste-se de grande importância, pois possibilita identificar se a curva da altura média das árvores dominantes é de fato uma curva média, ou apresenta tendenciosidade, ressaltando que as curvas monomórficas são elaboradas todas a partir da curva média e qualquer tendenciosidade implica em distorção nas curvas limítrofes das classes de sítio a serem estabelecidas.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Localização e extensão das áreas

As áreas selecionadas para a realização deste estudo, situam-se nos municípios de Encruzilhada do Sul, Piratini, Palmares e Mostardas no Rio Grande do Sul.

Os municípios de Encruzilhada do Sul (coordenadas 30^o 33' de latitude sul e 52^o 30' de longitude oeste) e Piratini (coordenadas 31^o 25' de latitude sul e 53^o 05' de longitude oeste), localizam-se na região denominada Planalto Sul Rio Grandense, que abrange uma área de 46.742 Km² e encontra-se limitada a norte, leste e sudeste pela Depressão Central Gaúcha e a oeste e sul pela Planície Gaúcha.

Os municípios de Palmares do Sul (coordenadas 30^o 00' de latitude sul e 50^o 50' de longitude oeste) e Mostardas (coordenadas 31^o 05' de latitude sul e 50^o 55' de longitude oeste), localizam-se na região denominada de Planície Gaúcha, que abrange uma área de 41.594 km² e limita-se ao norte com a Depressão Central, ao oeste com o Planalto Sul-Rio-Grandense e a leste e sul com o Oceano Atlântico.

Na Figura 1 estão localizadas as sedes dos municípios onde foram tomadas as unidades amostrais.

FIGURA 1-Localização geográfica dos municípios onde foram coletados os dados.

3.2 Geomorfologia e relevo

A Unidade de Relevo Planalto Sul-Rio-Grandense caracteriza-se por apresentar uma estrutura geológica formada por rochas pré-cambrianas, apresentando relevos intensamente dissecados e áreas com relevo fracamente dissecados.

As áreas que correspondem aos relevos mais elevados, com altitude ao redor dos 400 metros, onde localizam-se entre outros os municípios de Piratini e Encruzilhada do Sul, apresentam-se dissecadas em forma de colina.

As áreas intensamente dissecadas estão posicionadas altimetricamente entre as cotas 100 e 200 metros e encontram-se balizando toda a unidade e isolando os relevos ondulados, cujos contatos se fazem em muitos trechos através de escarpas e ressaltos topográficos.

Ocorrem ainda disseminados por toda a área, relevos residuais tipo pontões e morros testemunhas, ambos possuindo vertentes íngremes com depósitos de tálus.

A Unidade de Relevo Planície Gaúcha devido a sua grande extensão e diversificados ambientes de depósitos sedimentares foi dividida em três setores: a) Planície Marinha; b) Planície Lagunar; c) Planície Alúvio-coluvionar.

Os municípios de Palmares e Mostardas localizam-se na Planície Marinha, que ocupa aproximadamente 40% de toda a Planície Gaúcha e onde as ações marinha e eólica são as mais evidentes, com presença de dunas, terraços marinhos, planícies arenosas e cordões de restinga.

Nesta unidade de relevo predomina um litoral retilíneo com suas praias estendendo-se por milhares de quilômetros e costa com forma

alongada (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1990).

3.3 Geologia e edafologia

A área em estudo no município de Encruzilhada do Sul, segundo LEMOS et al. (1973) pertence a Unidade de Mapeamento Ibaré, que ocupa uma área de 1.545 Km², o que representa 0,6% da área do estado.

Esta unidade de mapeamento caracteriza-se por apresentar solos litólicos eutróficos com mais de 15 cm de espessura, bem drenados, com textura média e desenvolvidos a partir de Xisto.

Estes solos apresentam coloração escura, com saturação de bases alta e com argila de atividade alta. Apresentam o horizonte A com espessura de 15 a 40 cm, com textura franca e estrutura em blocos sub angulares fracamente desenvolvida, poroso e friável. O horizonte C é formado por xisto parcialmente intemperizado

A área em estudo no município de Piratini, é classificada por LEMOS et al. (1973), como unidade de mapeamento Pinheiro Machado, que ocupa uma área de 6.000 Km², o que representa 2,22% da área do estado.

Esta unidade de mapeamento é constituída predominantemente por solos litólicos distróficos, bem drenados, de coloração escura, apresentando textura média, com porcentagens elevadas das frações mais grosseiras (areia grossa e cascalhos), sendo derivado de granito.

Geralmente são solos ácidos, com saturação e soma de bases média, sendo bem providos de matéria orgânica. O horizonte A é de espessura variável, em torno de 50 cm, de coloração escura, franco argilo arenoso, com estrutura maciça quebrando-se em blocos subangulares.

O horizonte C é representado pelo granito em elevado grau de intemperismo, de coloração vermelha clara e intensamente mosqueado.

Para os municípios de Palmares e Mostardas, as áreas em estudo foram classificadas por LEMOS et al. (1973), como pertencentes a Unidade de Mapeamento Curumim, ocupando uma área de 1.020 Km², representando 0,38% da área do estado.

Os solos nesta unidade são formados por areias quartzosas hidromórficas distróficas, profundos, mal a imperfeitamente drenados, derivados de sedimentos arenosos costeiros. São considerados fortemente ácidos, com soma e saturação de bases baixa e com teores altos de alumínio trocável.

O horizonte A é estreito com cerca de 20 cm de espessura, escuro com mosqueados claros devido aos grãos de areia lavada, com textura areia franca, friável, ligeiramente plástico.

O horizonte C apresenta uma coloração bruno amarelado a bruno amarelado escuro com textura areia.

3.4 Clima

Segundo a Classificação de Köppen, o clima predominante nas áreas em estudo é do tipo Cfa (mesotérmico subtropical com verões quentes e sem estação seca).

Segundo a FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1990), das regiões geográficas do globo bem regadas por chuvas, o sul do Brasil é a que apresenta uma distribuição espacial deste fenômeno de forma mais uniforme, com uma média que varia entre 1.250 a 2.000 mm. O Planalto Sul-Rio-Grandense e a Planície Gaúcha apresentam uma precipitação média anual de 1500 mm.

A temperatura média anual para o Planalto Sul-Rio-Grandense é de 16⁰C, com temperatura média do mês mais quente de 24⁰C e com temperatura média do mês mais frio de 13⁰C, sendo que a ocorrência média de geadas é de 10 vezes por ano, podendo chegar a 20 próximo ao município de Bagé.

A temperatura média anual para a Planície Gaúcha é de 18⁰C, com temperatura média do mês mais quente de 24⁰C, e com temperatura média do mês mais frio de 15⁰C, sendo que a ocorrência média de geadas é de uma vez por ano no denominado litoral norte, podendo chegar a 5 próximo a Rio Grande e 15 próximo ao Chuí.

3.5 Vegetação

A vegetação natural nos municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini segundo TEIXEIRA et al. (1986), pertence ao tipo fitogeográfico “savana”.

A savana é considerada por vários autores como vegetação típica de países tropicais marcados por estação seca, porém este conceito foi ampliado a partir de 1975 pelo projeto RADAMBRASIL, para incluir a maioria dos campos do sul do Brasil. Esta ampliação conceitual estendeu a savana até o eixo Rosário do Sul – Bagé – Jaguarão, na chamada fronteira com o Uruguai, no Rio Grande do Sul.

Na região sul distingue-se três formações de Savana: Arbórea Aberta, Savana Parque e Gramíneo-lenhosa.

A Savana Arbórea Aberta, concentra-se principalmente nos terrenos planos areníticos nas proximidades de Itararé (SP) e de Jaguariaíva e Tibagi no Paraná. São formações típicas de Savana (cerrado) e apresentam normalmente um estrato arbóreo arbustivo esparso e perenifoliado.

No primeiro estrato encontram-se freqüentemente o barbatimão (*Stryphnodendron barbadetiman*), o angico (*Anadenanthera peregrina*), o mercúrio do campo (*Erythroxylum suberosum*) etc.

O estrato inferior compõe-se principalmente de *Andropogon spp*, *Axonopus spp*, *Tristachya spp* e representantes das liliáceas, Amarilidáceas e compostas.

No Planalto Sul-Rio-Grandense distinguem-se algumas áreas como Savana Aberta, porém apenas pela típica distribuição espacial dos aglomerados arbóreos, já que florística e fisionomicamente os elementos diferem dos da Savana Aberta, não apresentando as características xeromórficas oligotróficas do cerrado.

A Savana Parque pode ter origem antrópica ou natural. A derivada do antropismo ocorre indiscriminadamente, caracterizando o disclímax do fogo, que é o instrumento de ação seletiva de espécies, aplicado aos pastos naturais pelo homem.

A Savana Parque natural geralmente ocorre em ambientes especiais e apresenta significativa uniformidade fito-fisionômica e florística. Sua estrutura pode ser definida por dois estratos: Um arbóreo arbustivo esparso, constituído de poucas espécies, em geral, perenefoliadas e outro rasteiro, contínuo, onde predominam hemicriptófitas, caméfitas e geófitas.

No Planalto Sul-Rio-Grandense a Savana Parque situa-se em relevo forte-ondulado e até montanhoso, em solos muito susceptíveis a erosão e marcados por freqüentes afloramentos rochosos.

A Savana Gramíneo Lenhosa distribuí-se principalmente no âmbito da região das Araucárias. As florestas de galeria e os capões são importantes elementos destas savanas e desenvolvem-se a partir das nascentes de água e dos riachos formando amplos e irregulares povoamentos florestais nas altitudes mais baixas do Planalto Sul Rio-Grandense. Espécies como o

timbó (*Ateleia glazioviana*), guamirim (*Myrceugenia euosma*), aroeira-bugre (*Lithraea brasiliensis*), pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*), camboatá - branco (*Matayba elaeagnoides*) são características.

Os municípios de Palmares do Sul e Mostardas encontram-se na denominada área das formações pioneiras, que caracteriza-se por possuir um tipo de cobertura vegetal formado por espécies colonizadoras de ambientes novos, isto é, de áreas subtraídas naturalmente a outros ecossistemas ou surgidos em função da atuação recente ou atual de agentes morfodinâmicos e pedogênicos.

As formações pioneiras de influência marinha (Restingas), compreendem cerca de 6.000 km² distribuídos principalmente pela planície litorânea no Rio Grande do Sul, e caracterizam-se por serem formações vegetais sob influência direta do mar, distribuídas por terrenos arenosos do quaternário recente, geralmente com algum teor salino, sujeitos a intensa radiação solar e acentuada ação eólica.

Há uma grande variedade de ambientes circunscritos a esta formação, dentre os quais merecem destaque a faixa de praia, as dunas instáveis, as dunas fixas e as áreas aplainadas e plano deprimidas.

A faixa de praia consiste em um ambiente pobre em vegetação, devido a maior instabilidade e do elevado índice salino. Dentre as poucas espécies encontradas destacam-se as psamófitas halófitas rasteiras como a espartina (*Spartina ciliata*), bredo-da-praia (*Philoxerum portulacoides*), grama-rasteira-da-praia (*Paspalum distichum*), pinheirinho-da-praia (*Remirea maritima*) etc..

As dunas instáveis são irregularmente dispersas e ocupam posições estratégicas na restinga, logo atrás da linha de praia. São áreas fortemente assoladas pelos ventos, com freqüente mobilização de areia e com vegetação muito escassa.

Dentre as espécies mais comuns encontram-se a espartina, o capim das dunas (*Panicum racemosum*), grama-branca (*Panicum reptans*), mangue -da - praia (*Scaecola plumieri*) e camarinha (*Cordia verbenacea*).

As dunas fixas distribuem-se por amplas áreas das planícies litorâneas, em situações onde a ação eólica não se faz tão intensa, sob a proteção dos cordões dunares móveis e semifixos. Nestas dunas observa-se maior compactação e transformações estruturais das camadas de areia, com maior retenção de umidade e uma incipiente metamorfização e formação do solo. Nestas são observadas diversas espécies arbustivas e arbóreas, constituindo capões que desempenham um importante papel estabilizador. Pela maior importância fisionômica destacam-se as seguintes espécies: biquaçu (*Eugenia umbelliflora*), quamirim-da-folha-miúda (*Myrcia rostrata*), aroeira bugre (*Lithraea brasiliensis*), maria-mole (*Guapira opposita*) etc.

Entre os cordões de dunas e na faixa de contato das restingas com as formações florestais, encontram-se superfícies aplainadas com inúmeras lagoas. Em geral são áreas sujeitas as inundações ou encharcamento, onde predomina uma formação pioneira de estrutura herbácea ou gramíneo lenhosa como : juncos (*Juncos* spp), grama branca e rainha-dos-lagos (*Pontederia lanceolata*).

Ao redor dos banhados, freqüentemente encontram-se aglomerações arbóreas ou arbustivas, com a predominância de vacunzeiro (*alloyphylus edulis*), canela-do-brejo (*Ocotea pulchella*), cambuí (*Myrcia multiflora*), cupiúva (*Tapira guianensis*), etc. (TEIXEIRA et al., 1986).

3.6 Localização dos povoamentos

Os dados utilizados neste estudo, foram obtidos em povoamentos implantados com *Pinus elliottii*, distribuídos sobre idades que variaram de 18 a 21 anos, em quatro municípios, localizados na Serra do Sudeste e litoral, no Rio Grande do Sul.

Os locais de coleta dos dados foram:

a) FORJASUL LTDA: Esta empresa possui cerca de 4.000 hectares reflorestados com *Pinus elliottii* no município de Encruzilhada do Sul. As árvores amostras foram retiradas do projeto Forjasul 1, com 20 anos de idade, espaçamento inicial de 2 X 2,5 totalizando 2.000 árvores por hectare e com um desbaste realizado a partir do 15^o ano.

b) GERMINA AGROFLORESTAL LTDA : Esta empresa possui cerca de 3.000 hectares reflorestados com *Pinus elliottii*, no município de Piratini. As árvores amostras foram retiradas do projeto Geral III, com 18 anos de idade, espaçamento inicial de 2 x 2 metros, totalizando cerca de 2500 árvores por hectare e com um desbaste realizado no 18^o ano.

c) FLOPAL (Florestadora Palmares LTDA): Esta empresa possui cerca de 40.000 hectares, reflorestados na faixa litorânea do estado. As árvores amostras foram retiradas dos projetos Banrisul 5 e Mostardas 3. O projeto Banrisul 5, com 18 anos de idade, foi implantado com espaçamento inicial de 1,6 por 2,5 m, totalizando 2500 árvores por hectare e sofreu um desbaste no 12^o ano.

O projeto Mostardas 3 com 21 anos de idade, foi implantado em um espaçamento inicial de 1,6 x 2,5 m, totalizando 2500 árvores por hectare e sofreu um desbaste no 14^o ano.

3.7 Processo de amostragem e obtenção dos dados

O processo de amostragem obedeceu a critérios pré-fixados. O relevo ao influenciar diretamente sobre a evolução do solo, favorecer ou limitar a penetração de água e influenciar sobre o clima do solo em diferentes situações de exposição, pode servir como base para uma classificação de sítios em regiões de relevo acidentado como o Planalto - Sul Rio - Grandense.

Por este motivo as árvores dominantes selecionadas para a realização deste estudo, nos municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini, foram coletadas seguindo um gradiente de declividade: Árvores de platô (solos Eluviais), árvores de encosta superior e intermediária (solos coluviais) e árvores de baixada (solos aluviais).

Para a Planície Gaúcha (litoral), as árvores foram coletadas seguindo um critério de produtividade, com o auxílio de funcionários da Empresa FLOPAL LTDA. Nestas áreas onde estão localizados os municípios de Palmares do Sul e Mostardas, a coleta dos dados foi feita sobre áreas consideradas de boa, média e baixa produtividade.

As parcelas temporárias (amostras de contagem angular), foram feitas com o auxílio do relascópio de Bitterlich de banda estreita, que baseia-se no postulado de Bitterlich (1947), onde “O número (N) de árvores de um povoamento, cujos dap’s a partir de um ponto fixo aparecem superior a um dado valor angular alfa constante é proporcional a área basal (G) em m² por hectare”.

As árvores dominantes foram definidas segundo o conceito de Pollanschütz, descrito por FINGER (1992), como a altura média de Lorey das maiores árvores, correspondentes a 12 m² de área basal por hectare, tomados a partir das maiores árvores.

Optou-se por esta definição, principalmente pela facilidade de determinação a campo, pois uma vez definida a largura da banda, as árvores dominantes a serem medidas são determinadas facilmente, sem a necessidade de cálculos posteriores, uma vez que a unidade amostral possui área variável.

3.7.1 Escolha, derrubada, marcação e retirada das fatias

Segundo FINGER (1992), o uso de uma banda estreita em relação a outra mais larga, provoca um aumento no número de árvores contadas na amostra aumentando a probabilidade de ocorrência de árvores pouco visíveis, muito finas e duvidosas exigindo um maior controle das distâncias. Conforme o autor, normalmente 20 ou 30 árvores são consideradas suficientes em uma Amostra de Contagem Angular (ACA).

Baseando-se neste princípio utilizou-se a banda quatro ($K=4$), nas amostras, onde todas as árvores contadas tiveram o seu dap medido.

Como em uma amostra de contagem angular a área basal por hectare é obtida pelo produto do Fator de Área Basal (K) e o número de árvores dentro da amostra, a altura dominante de Pollanschütz foi determinada pela altura média das três árvores mais grossas dentro da ACA. A árvore amostra, a ser abatida, foi definida como a intermediária entre estas três árvores.

Os pares de dados altura e idade foram obtidos por análise de tronco. Para este estudo seguiu-se a metodologia descrita por FINGER (1992), onde as etapas que envolvem a coleta de dados para a análise de tronco completa consistem em: Escolha das árvores amostras, derrubada, preparo do material, seccionamento, transporte e lixamento, medição dos anéis, traçado do perfil longitudinal e cálculo do crescimento e incrementos.

A partir da escolha das árvores amostra, sua derrubada e desgalhe, as mesmas tiveram a altura total medida com trena. As posições de retirada das fatias foram marcadas com giz e seguiram o seguinte procedimento: A primeira fatia foi retirada a 0,10 m de altura, seguida de 0,50 m e 1,30 m (dap), após estas, as fatias foram retiradas com mais ou menos 1,5 m de distância entre as mesmas procurando-se evitar os nós e os erros causados pelas deformações por eles provocados.

Após a retirada, a posição da fatia no fuste foi marcada com lapis na face inferior e foram acondicionadas em sacos arejados, de forma a evitar o ataque de fungos.

3.7.2 Preparo das fatias e medições dos anéis

Efetuada a retirada, identificação e acondicionamento das fatias, as mesmas foram secas em estufa por aproximadamente 36 horas, em baixa temperatura (40°C), posteriormente procedeu-se o lixamento na face superior e medições dos anéis.

A medição dos anéis foi realizada sobre raios traçados a partir da medula, de forma manual e da seguinte forma: Inicialmente marcou-se o maior raio da seção (r_{max}), tomando-se a medula como centro. A partir do maior raio foram marcados outros dois, formando um ângulo de 45° com o r_{max} , e deles projetados outros dois em sentido oposto.

Traçados os raios, a medição acumulada dos anéis de crescimento foi feita no sentido casca – medula.

3.7.3 Obtenção dos pares altura e idade e número de árvores coletadas.

Os pares altura e idade para as árvores dominantes foram obtidos com a utilização do software ANATRO, desenvolvido por SCHNEIDER (1984).

Em relação ao número de árvores coletadas, segundo MARCOLIM (1990), são necessárias cerca de 20 árvores para construir curvas de crescimento polimórficas, com um erro máximo pré – estabelecido de 5% e 95% de probabilidade para idades superiores a oito anos. Trabalhos anteriores como os realizados por : MACHADO (1980), DOLDAN (1987) e SELLE (1993), utilizaram 64, 20 e 31 árvores dominantes, respectivamente, para o desenvolvimento de curvas de índice de sítio monomórficas para *Pinus taeda*.

No presente estudo foram coletadas 42 árvores dominantes de *Pinus elliottii*, distribuídas entre os quatro locais em diferentes posições de relevo e em áreas com diferentes produtividade, totalizando 730 pares de dados altura e idade, conforme mostram as Tabelas 1 e 2.

TABELA 1 – Número de árvores dominantes coletadas por local e posição no relevo nos municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini.

LOCAL	POSIÇÃO NO RELEVO				Total
	P*	ES**	EI***	B****	
Encruzilhada do Sul	3	5	3	5	16
Piratini	4	3	3	3	13
Total	7	8	6	8	29

Onde:P* - Platô; ES** - Encosta superior; EI***- Encosta intermediária;
B**** - Baixada.

TABELA 2 – Número de árvores coletadas por local e produtividade nos municípios de Palmares do Sul e Mostardas.

LOCAL	PRODUTIVIDADE			
	Boa	Média	Ruim	Total
Palmares do Sul	-	1	1	2
Mostardas	4	4	3	11
Total	4	5	4	13

A Distribuição das árvores amostras em classes de altura, idade e local de coleta é apresentada na Tabela 3. Esta tabela permite observar que das oito árvores amostradas na classe 19-20.9, duas tinham 18, uma 20 e cinco 21 anos de idade. Na mesma tabela observa-se que uma árvore foi coletada no município de Encruzilhada do Sul, duas no município de Piratini e cinco no município de Mostardas

TABELA 3 – Distribuição das árvores de *Pinus Elliottii* em classes de altura, idade e local de coleta.

CLASSES DE ALTURA (metros)	IDADE (anos)			LOCAL			
	18	20	21	E	P	PA	M
15---16.9	1	-	-	-	-	1	-
17---18.9	1	-	-	-	-	1	-
19---20.9	2	1	5	1	2	-	5
21---22.9	4	3	4	3	4	-	4
23---24.9	4	7	2	7	4	-	2
25---26.9	2	3	-	3	2	-	-
27---28.9	1	2	-	2	1	-	-
Total	15	16	11	16	13	2	11

Onde: E – Encruzilhada do Sul; P – Piratini; PA – Palmares do Sul; M - Mostardas

3.8 Idade de referência e sistema de classificação

A idade índice ou idade de referência, segundo SCHNEIDER (1993), é a idade padrão, escolhida arbitrariamente, na qual compara-se a altura dominante dos diferentes sítios. A escolha desta idade está na dependência da rotação da espécie, e deve ser preferencialmente fixada no final da rotação.

A literatura no entanto apresenta uma grande diversidade quanto a idade de referência empregada, principalmente devido a pouca idade dos povoamentos, na época em que foram coletados os dados para a realização destes trabalhos, sendo a idade de referência utilizada, muitas vezes bastante inferior a de rotação da espécie.

Para a realização deste estudo optou-se por uma idade de referência de 18 anos, uma vez que nenhum dos povoamentos estudados apresentavam uma idade inferior a esta, e por esta idade, estar mais perto da idade de rotação média para *Pinus elliottii* no sul do Brasil, considerada em torno dos 20 anos.

Devido ao sistema absoluto de classificação ser mais ilustrativo e ser o mais usado em classificações de sítio no Brasil e muitos outros países, optou-se pelo seu emprego.

3.9 O modelo matemático

O modelo utilizado para ajustar os dados de altura e idade para cada árvore dominante amostrada foi o de RICHARDS (1959) com três coeficientes, onde obteve-se 42 regressões.

Este modelo é expresso por :

$$h_{dom} = A \times (1 - e^{(-k \times t)})^{(1/(1-M))}$$

Onde:

h_{dom} = altura dominante;

t = idade;

A, K, M = coeficientes do modelo.

O ajuste deste modelo foi feito com o uso do Software SPSS (1996). A análise da precisão do modelo para cada árvore foi feita analisando-se a significância dos coeficientes, o coeficiente de determinação, o erro padrão de estimativa e análise dos resíduos.

3.10 Procedimento utilizado para a construção das curvas de índice de sítio para as localidades em estudo.

Após o ajuste da função de Richards para cada árvore, com o uso do pacote estatístico SAS (1993), utilizou-se a análise de covariância para detectar diferenças em inclinação e níveis entre as curvas das árvores localizadas na mesma região e unidade de mapeamento.

Segundo STORCK & LOPES (1997) a análise de covariância é assim denominada quando se procede a análise de variância simultaneamente para duas ou mais variáveis.

Na análise de covariância padrão primeiramente testa-se a hipótese da não diferença de inclinação. Se não existir evidência de diferença de inclinação a hipótese da não diferença de níveis é testada.

A análise de covariância pode servir como um indicador do padrão de desenvolvimento das curvas de índice de sítio uma vez que, a não ocorrência de diferença significativa de inclinação, porém com diferenças significativas em níveis (intercepto), indicam um padrão de desenvolvimento monomórfico.

Para a construção das curvas de índice de sítio utilizou-se os coeficientes médios K e M para cada local e estimou-se o coeficiente A. Este é obtido pela transformação do modelo matemático para uma altura desejada na idade índice, conforme apresentado por FINGER (1991):

$$A = \frac{IS}{\left(1 - e^{(-K \times t)}\right)^{1/(1-M)}}$$

Onde:

A = Assíntota calculada

IS = Índice de sítio

K, M = Coeficientes

t = Idade índice (18 anos)

e = base do logaritmo natural

3.11 Determinação do número de curvas necessárias para cobrir a variação de sítios.

As curvas de índice de sítio devem cobrir toda a variação entre o menor e o maior crescimento em altura dominante observado na região.

Para a delimitação das curvas de índice de sítio são necessários dados de parcelas permanentes ou temporárias medidas em diferentes idades,

sendo que, os pares de dados altura-idade, medidos nestas parcelas são plotados juntamente com as curvas de índice de sítio, que devem abranger todos estes pontos.

Neste estudo foram utilizados dados de 318 parcelas permanentes e temporárias oriundas de inventários florestais realizados nestas regiões.

3.12 Comparação das tendências de crescimento entre os locais estudados.

Esta comparação se faz necessária uma vez que pode indicar a necessidade ou não de se construir curvas de índice de sítio separadas para cada local. Para isto utilizou-se a análise de covariância e a análise gráfica entre as curvas de índice de sítio construídas anteriormente para cada local estudado.

O modelo utilizado para a análise de covariância foi o seguinte:

$$h_{\text{dom}} = f [(t, t^2, t^3, \text{grupo}, (\text{idade} * \text{grupo}))]$$

Onde: h_{dom} = altura dominante;

t = idade;

grupo = 1 – Encruzilhada do Sul, 2- Piratini, 3- Litoral;

idade*grupo = interação idade/grupo

3.13 Confiabilidade das curvas de índice de sítio.

King apud MACHADO (1980) afirmou que a estabilidade dos índices de sítio ao longo do desenvolvimento do povoamento florestal é essencial para a acuracidade na aplicação das curvas de índice de sítio em períodos sucessivos. Esta estabilidade pode ser testada comparando as alturas reais com as curvas de índice de sítio.

Se as alturas das árvores medidas ficarem bastante próximas ou coincidirem com as alturas geradas pela equação de índice de sítio é porque existe uma forte evidência de que estas curvas não são tendenciosas.

Para se testar a confiabilidade e a estabilidade na construção das curvas comparou-se graficamente as alturas reais com as curvas de índice de sítio para todas as árvores amostradas, individualmente.

3.14 Comparações com curvas de índice de sítio de outras regiões e Estados.

As comparações entre as curvas de índice de sítio feitas para as áreas em estudo, com outros estados e regiões foram feitas com base nos trabalhos de SCOLFORO & MACHADO (1988), BRASIL (1989a e 1989b), MARCOLIM (1990) e SELLE (1993).

Para se fazer as comparações, as curvas obtidas pelos autores acima descritos, foram recalculadas para uma idade índice de 18 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ajuste do modelo matemático

O ajuste do modelo de Richards com três coeficientes para as 42 árvores dominantes utilizadas como amostra nos locais de estudo são apresentadas na Tabela 4.

Os resultados mostram que o modelo apresentou altos coeficientes de determinação explicando 99% da variação total pela regressão.

A análise do erro padrão de estimativa em porcentagem mostra que a dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão foi pequena, ficando dentro de um limite aceitável, conforme apresentado para cada árvore na Tabela 4.

A análise gráfica dos valores observados e estimados, apresentada na Figura 2 mostra que o ajuste do modelo ao longo de toda a amplitude dos dados observados não foi tendencioso, o que é de grande importância para a confiabilidade das estimativas. Os coeficientes A , K e M para todas as árvores são apresentados na Tabela 5.

A análise dos resultados, permite observar que para algumas árvores de Piratini, Palmares do Sul e Mostardas o valor do parâmetro A , que representa o tamanho final (altura) máximo que a árvore pode atingir é bastante elevado. Nestas árvores o valor do parâmetro M , responsável pela localização do ponto de inflexão, é pequeno (próximo a zero) indicando uma taxa de crescimento em forma de linha reta, o que faz com que o modelo projete uma assíntota irreal, uma vez que estas árvores ainda não desenvolveram um padrão de crescimento sigmoidal.

Tal fato vem de encontro a afirmação de BRENA & BOM (1991) que dizem que ao se trabalhar com curvas de crescimento é necessário que se

compreenda que cada espécie, e talvez cada árvore, necessite um tempo próprio para sua construção.

TABELA 4 – Resultados estatísticos obtidos no ajuste da função de Richards com três Coeficientes, altura real e estimada para os quatro locais estudados.

Local	Árvore	R ²	Syx%	Altura observada(m)	Altura estimada(m)
Encruzilhada	1	0.997	2.515	27.0	26.9
Encruzilhada	2	0.998	0.988	23.7	24.5
Encruzilhada	3	0.996	2.618	24.9	25.2
Encruzilhada	4	0.980	6.019	22.5	22.8
Encruzilhada	5	0.997	2.766	27.4	26.9
Encruzilhada	6	0.998	5.877	26.0	26.0
Encruzilhada	7	0.999	1.677	25.1	25.1
Encruzilhada	8	0.996	2.872	22.8	22.9
Encruzilhada	9	0.993	3.568	20.3	20.5
Encruzilhada	10	0.993	4.383	24.8	24.6
Encruzilhada	11	0.996	3.122	26.4	27.0
Encruzilhada	12	0.994	4.225	24.3	23.7
Encruzilhada	13	0.996	2.817	23.7	23.2
Encruzilhada	14	0.997	2.457	24.7	24.7
Encruzilhada	15	0.995	3.643	24.5	24.8
Encruzilhada	16	0.998	2.489	21.5	21.2
Piratini	1	0.996	2.705	24.2	23.4
Piratini	2	0.997	2.512	26.7	26.5
Piratini	3	0.997	2.274	19.9	20.0
Piratini	4	0.997	2.781	22.6	22.6
Piratini	5	0.998	2.426	20.9	20.7
Piratini	6	0.979	7.653	27.2	26.4
Piratini	7	0.998	4.969	24.5	24.3
Piratini	8	0.995	3.045	22.8	22.9
Piratini	9	0.995	3.201	22.2	22.4
Piratini	10	0.993	3.351	23.7	22.0
Piratini	11	0.997	2.921	22.9	22.9
Piratini	12	0.992	4.213	22.0	21.5
Piratini	13	0.996	2.917	23.9	23.4
Palmares	1	0.998	2.034	15.4	15.2
Mostardas	2	0.997	2.799	16.1	16.1
Mostardas	3	0.995	3.429	21.6	20.6
Palmares	4	0.998	6.888	18.3	18.8
Mostardas	5	0.996	2.975	21.7	22.1
Mostardas	6	0.995	2.982	21.6	21.1
Mostardas	7	0.989	5.589	20.5	19.7
Mostardas	8	0.962	10.566	19.6	18.7
Mostardas	9	0.996	2.564	19.1	19.5
Mostardas	10	0.997	2.677	20.5	20.5
Mostardas	11	0.996	3.151	22.3	21.8
Mostardas	12	0.996	2.791	22.9	22.2
Mostardas	13	0.997	2.775	19.0	18.8

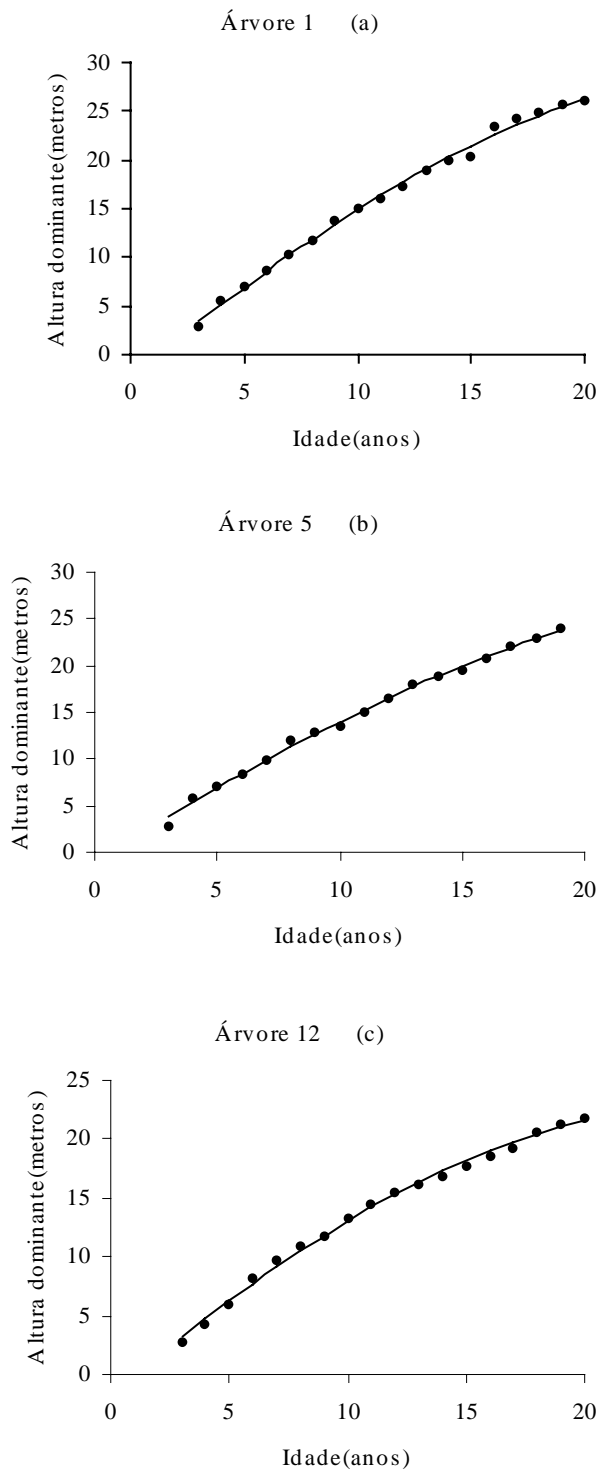


FIGURA 2 – Valores observados e estimados para três árvores amostras em Encruzilhada do Sul (a), Piratini (b) e Palmares/Mostardas (c).

TABELA 5 – Coeficientes A, K e M para todas as árvores dominantes amostradas por local.

Local	Árvore	A	K	M
Encruzilhada	1	38.21598	0.0765000	0.3625431
Encruzilhada	2	35.48548	0.0620381	0.1671561
Encruzilhada	3	38.87240	0.0617683	0.1464756
Encruzilhada	4	36.42267	0.0569308	0.1121445
Encruzilhada	5	34.12944	0.1010200	0.4635925
Encruzilhada	6	30.41448	0.1195300	0.4611066
Encruzilhada	7	28.98876	0.1280929	0.5171116
Encruzilhada	8	31.43135	0.0886989	0.3509834
Encruzilhada	9	24.10703	0.1134672	0.4026139
Encruzilhada	10	36.12086	0.0738355	0.3754436
Encruzilhada	11	36.93298	0.0801099	0.3434953
Encruzilhada	12	31.22355	0.0996219	0.5163607
Encruzilhada	13	25.97927	0.1444961	0.5628514
Encruzilhada	14	30.54748	0.1018879	0.4020357
Encruzilhada	15	35.75437	0.0860838	0.4077314
Encruzilhada	16	25.25131	0.1370859	0.5646159
Piratini	1	41.48234	0.0552743	0.1934935
Piratini	2	64.40192	0.0367841	0.1834165
Piratini	3	59.74963	0.0281690	0.1172781
Piratini	4	47.51661	0.0478159	0.2571818
Piratini	5	33.89422	0.0715323	0.3440343
Piratini	6	34.14851	0.1135669	0.5247278
Piratini	7	45.44848	0.0508356	0.1831843
Piratini	8	38.71703	0.0630174	0.1970525
Piratini	9	45.30866	0.0503553	0.1203481
Piratini	10	50.64187	0.0351605	0.0207568
Piratini	11	91.93517	0.0186778	0.1241773
Piratini	12	49.02576	0.0399477	0.1478526
Piratini	13	38.66597	0.0609980	0.2282377
Palmares	1	48.06856	0.0295848	0.2309888
Mostardas	2	58.13007	0.0291267	0.3023618
Mostardas	3	38.34162	0.0500951	0.2608960
Palmares	4	44.14851	0.0512509	0.4059903
Mostardas	5	58.36516	0.0277651	0.1213011
Mostardas	6	28.58837	0.0781604	0.2909098
Mostardas	7	25.76975	0.1071767	0.5317570
Mostardas	8	23.86104	0.1268138	0.5584945
Mostardas	9	56.74663	0.0244943	0.0505176
Mostardas	10	38.39783	0.0494467	0.3017948
Mostardas	11	31.70078	0.0734544	0.3606611
Mostardas	12	28.28881	0.0907919	0.3324429
Mostardas	13	63.31954	0.0267053	0.1302579

4.2 Características dendrométricas dos povoamentos

As Amostras de Contagem Angular (ACA's) e a análise de tronco, realizada nos povoamentos de *Pinus elliottii* em estudo, permitem observar as diferenças existentes entre as mesmas, e entre os povoamentos (Tabela 6).

TABELA 6 – Valores médios de número de árvores por hectare (N), área basal (G), diâmetro à altura do peito (dap), altura dominante (h_{poll}), incremento médio anual em altura (IMA) e o incremento periódico em altura para os últimos 7 anos (IP_7).

Local	Idade (anos)	Número de ACA's	N	G m^2/ha	dap cm	h_{poll} m	IMAh m/ano	IP_7 h m/ano
Forjasul I	20	16	697	39.75	28.0	24.6	1.37	5.05
Geral III	18	13	892	40.80	25.2	23.7	1.31	7.06
Banrisul V	18	2	646	21.50	21.5	18.0	1.00	5.95
Mostardas III	21	11	780	26.69	22.8	20.4	0.97	6.08

A análise dos dados da Tabela 6, mostra uma tendência de superioridade em termos de capacidade produtiva, para os povoamentos localizados na Serra do Sudeste em comparação com os localizados no Litoral. Esta tendência pode ser verificada, analisando-se o número de árvores e a área basal média observadas nas ACA's, onde verifica-se que mesmo com maior número de árvores, o projeto Mostardas III apresenta uma área basal bastante inferior ao Projeto Forjasul I.

A análise do dap e altura dominante, também confirmam a tendência de superioridade dos Projetos localizados na Serra do Sudeste, em relação aos localizados no Litoral, pois mesmo com uma maior densidade, o Projeto Geral III, apresenta um Dap médio superior aos apresentados pelos Projetos Banrisul V e Mostardas III.

A altura dominante no Projeto Mostardas III, mesmo com idade superior aos Projetos Forjasul I e Geral III é inferior, o que reflete um incremento médio anual em altura inferior em 0.34cm em comparação com os Projetos

Forjasul I e Geral III. A análise do Incremento periódico para os últimos 7 anos indica uma superioridade para o Projeto Geral III e Mostardas III, sendo que a superioridade em termos de incremento periódico para os povoamentos localizados no litoral em relação ao Projeto Forjasul I, de certa forma confirma a teoria de que as maiores alturas atingidas em sítios melhores, devem-se ao maiores incrementos nas idades jovens, na fase juvenil e de pleno vigor.

4.3 Estudo das tendências de crescimento em altura dominante.

A técnica de análise de covariância utilizada para verificar se haviam diferenças de inclinação entre árvores localizadas dentro de um mesmo local ou unidade de mapeamento de solo, mostrou conforme as Tabelas 7, 8 e 9 haver diferenças tanto em nível (árvore), como em inclinação (idade* árvore), para todos os locais estudados, uma vez que a hipótese de igualdade de inclinação das curvas de crescimento é rejeitada em nível de 5% de erro.

Na tentativa de se formar grupos de árvores com mesma tendência de crescimento, que poderiam indicar a necessidade de se fazer curvas separadas para determinadas posições de relevo, utilizou-se o teste de Tukey. No entanto o agrupamento formado não foi consistente pois além de incluir árvores em mais de um grupo, a análise gráfica indicou cruzamentos das tendências de crescimento entre árvores não significativas, que deveriam ser paralelas.

TABELA 7 – Análise de covariância para as árvores dominantes localizadas no Projeto Forjasul I em Encruzilhada do Sul.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Coefficientes	3	13046.6902	4348.8967	17221.99	0.0001
Árvore	15	325.2946	21.6863	85.88	0.0001
Idade*Árvore	15	90.8604	6.0574	23.99	0.0001
Erro	260	65.65420	0.25252		
Total	293	13528.4994			

Sendo: FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados
 QM: Quadrado médio F: Valor de F calculado, Pr>F: Probabilidade de significância
 Do valor de F.

TABELA 8 – Análise de covariância para as árvores dominantes localizadas no Projeto Geral III em Piratini.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Coeficientes	3	7885.5604	2628.5201	8606.81	0.0001
Árvore	12	321.3398	26.7783	87.69	0.0001
Idade*Árvore	12	31.6148	2.6345	8.62	0.0001
Erro	181	55.2746	0.3054		
Total	208	8293.7896			

TABELA 9 – Análise de covariância para as árvores localizadas nos Projetos Banrisul V e Mostardas III no litoral.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Coeficientes	3	6725.6996	2241.8998	11076.58	0.0001
Árvore	12	330.5216	27.5436	136.07	0.0001
Idade*Arvore	12	16.0601	1.3383	6.61	0.0001
Erro	197	39.8783	0.2024		
Total	224	7114.1596			

Sendo: FV : Fonte de variação; GL : Graus de liberdade; SQ : Soma de quadrados
 QM : Quadrado médio; F : F calculado; Pr>F : probabilidade de significância do valor de F

4.3.1 Estudo das tendências de crescimento para o Projeto forjasul 1 (Encruzilhada do Sul).

A análise das tendências de crescimento por posição do relevo no Projeto Forjasul I em Encruzilhada do Sul, indicou que as árvores localizadas na mesma posição de relevo apresentaram um padrão semelhante de crescimento em altura, excetuando-se as árvores localizadas na encosta superior, onde pode-se perceber cruzamentos entre as árvores (Figuras 3 e 4).

Ao se analisar as tendências de crescimento em altura das árvores localizadas na encosta superior observou-se três tendências distintas; a árvore 2 apresentou uma tendência de desenvolvimento semelhante as árvores de platô, havendo cruzamento entre esta e as árvores 13 e 16 próximo aos 10 anos de idade; as árvores 1 e 10 cresceram com um padrão

semelhante as árvores de baixada mais inclinadas nas maiores idades quando comparadas as árvores 13 e 16 e com uma maior inclinação nas menores idades quando comparadas a árvore 2; as árvores 13 e 16 seguiram uma terceira tendência, diferente das demais (Figura 5).

A causa da variação na forma de crescimento dentro da posição relativa no terreno não pode ser apurada com as observações tomadas a campo por ocasião do levantamento de dados (exposição e posição do relevo). Como hipótese poderia se considerar como decorrente de variações locais de solo, disponibilidade de água, entre outros.

O agrupamento de árvores com crescimento semelhante permitiu uma melhor análise do desenvolvimento da altura sobre a idade, tendo sido formados quatro grupos distintos em relação ao paralelismo na tendência de crescimento:

Grupo 1 : Formado pelas árvores de platô mais a árvore 2;

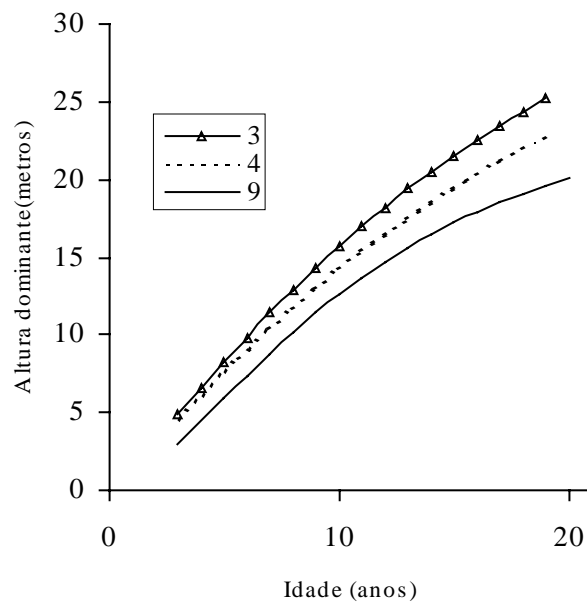
Grupo 2 : Formado pelas árvores 13 e 16;

Grupo 3 : Formado pelas árvores de encosta média;

Grupo 4 : Formado pelas árvores de baixada mais as árvores 1 e 10;

Após definidos os grupos fez-se, com o uso dos coeficientes médios A, K e M, uma curva média para cada grupo com o objetivo de visualizar as tendências médias de crescimento entre os grupos (Figura 6).

Platô (a)



Encosta superior (b)

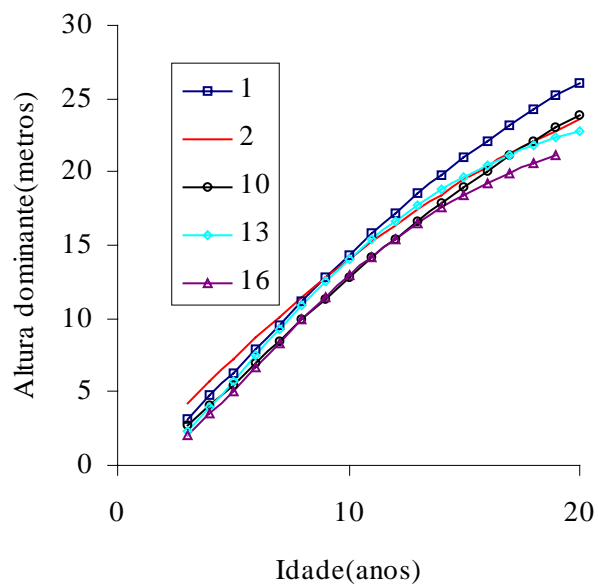
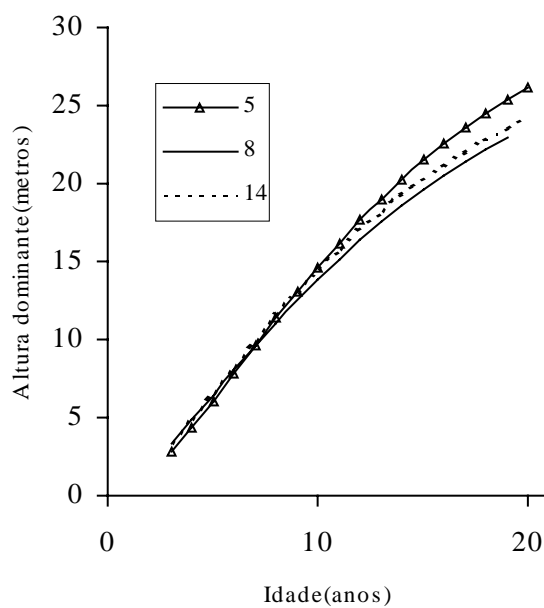


FIGURA 3 - Tendências de crescimento observadas em diferentes posições de relevo no projeto Forjasul I (Encruzilhada do Sul), platô (a), encosta superior (b).

Encosta média (a)



Baixada (b)

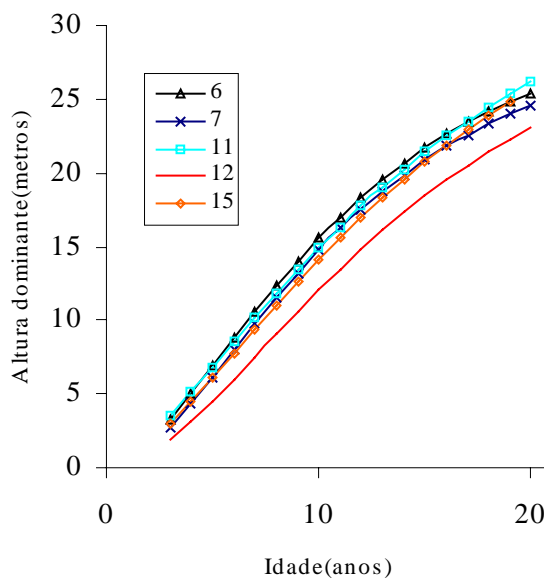


FIGURA 4 – Tendências de crescimento observadas em diferentes posições de relevo no Projeto Forjasul I (Encruzilhada do Sul), encosta média (a) e baixada (b).

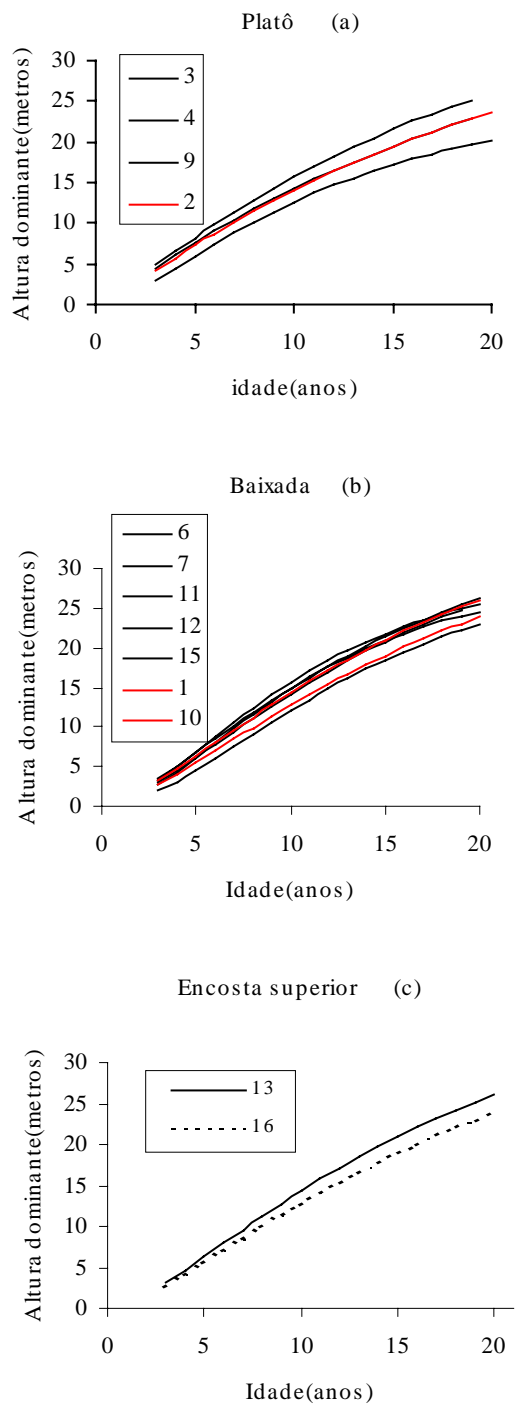


FIGURA 5 – Tendências de crescimento observadas em árvores localizadas no Projeto Forjasul I (Encruzilhada do Sul), platô (a), baixada (b) e encosta superior (c).

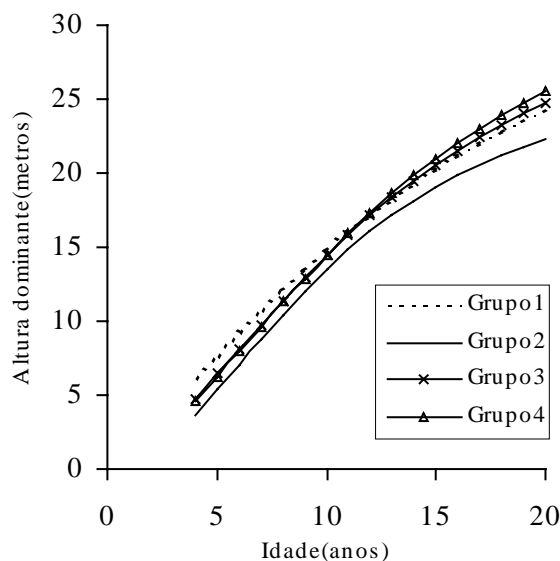


FIGURA 6 – Tendências de crescimento entre grupos para o projeto Forjasul 1 (Encruzilhada do Sul).

A análise da Figura 6, permite a comprovação da diferença de inclinação detectada pela análise de covariância (Tabela 7). No entanto, esta diferença de inclinação somente é constatada graficamente para as árvores do grupo 4, sendo que entre os grupos 1, 2 e 3 praticamente não existe diferença gráfica de inclinação.

O cruzamento de curvas de crescimento entre as árvores de baixada (grupo 4) e as de outras partes do relevo ocorreram nas menores idades (8 anos em relação ao grupo 3 e 11 anos em relação ao grupo 1), não havendo cruzamentos nas maiores idades. Considerando que a grande proximidade entre as curvas de crescimento nas menores idades acarretam muitas incertezas na classificação de sítios feitas em povoamentos jovens, o pequeno cruzamento observado neste estudo pode ser desprezado.

O fato de não se ter encontrado evidências práticas que pudessem definir em função da posição do relevo e da exposição o crescimento futuro da árvore também ajuda a reforçar esta idéia.

O grupo 4, formado predominantemente por árvores de baixada, apesar de apresentar um menor desenvolvimento inicial, em comparação com as árvores do grupo 1, formado predominantemente por árvores de platô, atingiu os maiores valores em altura nas maiores idades. Este resultado vem de encontro ao obtido por BRUM (1979), que encontrou médias máximas para a altura dominante de *Pinus elliottii* nas partes inferiores do relevo, na região de Ponte Alta do Norte, no Estado de Santa Catarina.

4.3.2 Estudo das tendências de crescimento em altura dominante para o Projeto Geral III (Piratini).

A análise das tendências de crescimento por posição do relevo no Projeto Geral III em Piratini, indicou que as árvores localizadas na mesma posição de relevo não apresentaram um padrão semelhante de desenvolvimento em altura (Figura 7), desta forma tornou-se necessário fazer grupos com árvores de mesma tendência de crescimento, sendo estas árvores selecionadas de acordo com o paralelismo das curvas de crescimento (Figura 8).

Através deste procedimento, foi possível separar as árvores em três grupos distintos:

Grupo 1 : Formado pelas árvores 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10,12 e 13;

Grupo 2 : Formado pelas árvores 2 e 11;

Grupo 3 : Formado pelas árvores 3 e 5;

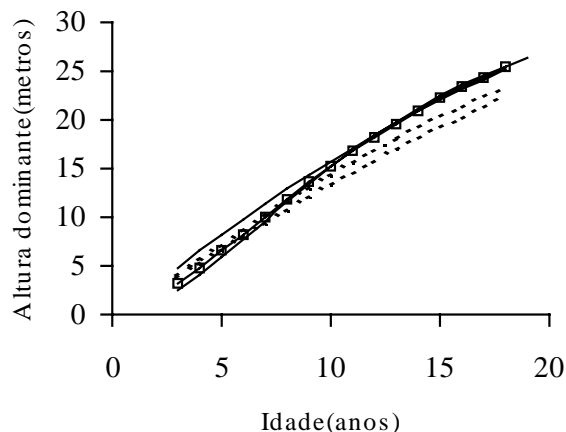


FIGURA 7 – Tendências de crescimento observadas em árvores localizadas na mesma posição de relevo (platô) no Projeto Geral III em Piratini.

Após a definição dos grupos fez-se, com o uso dos coeficientes médios A, K e M, uma curva média para cada grupo com o objetivo de visualizar melhor as tendências de crescimento entre os grupos (Figura 9).

A análise da Figura 9, permite a comprovação da diferença significativa de inclinação detectada pela análise de covariância (Tabela 8), onde pode se observar cruzamentos entre os grupos 1 e 2. Este cruzamento, no entanto é pouco significativo até a idade observada e sem importância prática na classificação de sítio.

Os grupos 2 e 3 formados por árvores de platô, foram os que apresentaram o maior crescimento em altura dominante. A existência de diferentes tendências de crescimento para árvores dentro de uma mesma posição no relevo provavelmente, deve-se a diferenças ambientais não mensuradas nestes habitats. Trabalhos como o de SCHEEREN(1998), mostraram que mesmo dentro de um mesmo sítio natural, diferenças de tendência de crescimento entre as árvores ocorrem devido a falhas de classificação, onde provavelmente algum fator ambiental de importância para o crescimento não foi considerado.

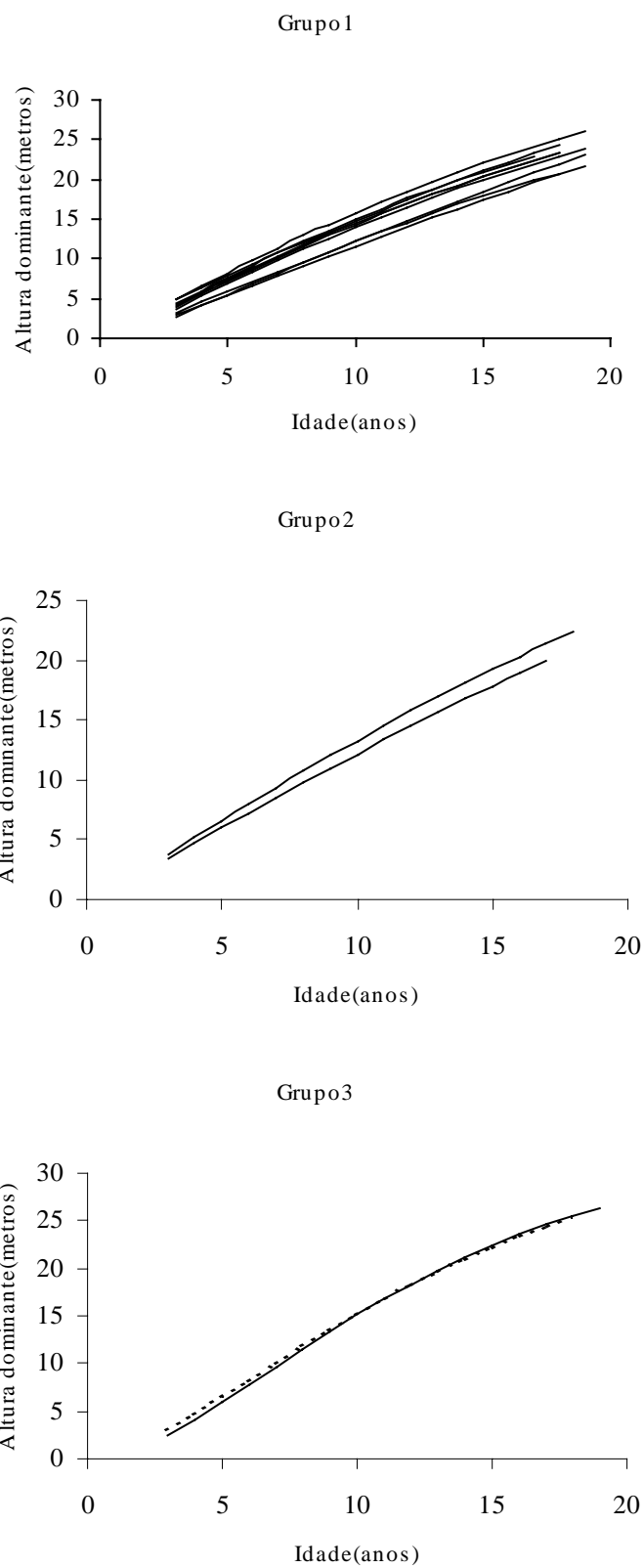


FIGURA 8 – Grupos formados por árvores com semelhantes tendências de crescimento para no Projeto Geral III (Piratini).

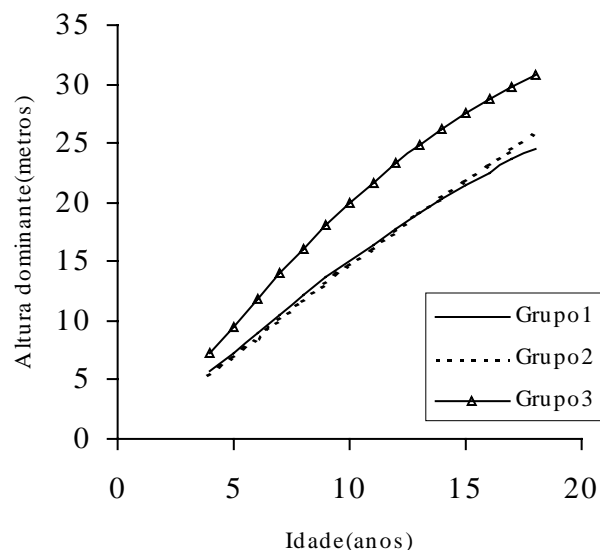


FIGURA 9 – Tendências de crescimento entre os grupos formados no Projeto Geral III (Piratini).

4.3.3 Estudo das tendências de crescimento em altura dominante para os Projeto Bannisul V e Mostardas III (Palmares do Sul e Mostardas)

O critério adotado para a coleta das árvores dominantes utilizadas neste estudo, mostrou-se inapropriado para a formação de grupos de árvores com mesma tendência de crescimento, pois houveram cruzamentos entre as árvores coletadas em áreas classificadas como de boa, média e baixa produtividade. Tal fato já era esperado, uma vez que não existia uma classificação natural de sítios nestas áreas.

Estes cruzamentos que ocorreram em todas as classes de produtividade, indicaram que as árvores amostradas dentro de uma mesma classe de produtividade estavam provavelmente em sítios diferentes, pois

seria esperado que dentro de um mesmo sítio existisse somente diferenças em nível, sendo as curvas de crescimento paralelas.

Desta maneira, tornou-se necessário fazer grupos separando árvores com tendências de crescimento comum, onde as árvores foram selecionadas de acordo com o paralelismo das curvas de crescimento (Figuras 10 e 11).

Através deste procedimento, foi possível separar as árvores em quatro grupos:

Grupo 1 : Formado pelas árvores 1 e 9;

Grupo 2 : Formado pelas árvores 2, 3, 5, 10 e 13;

Grupo 3 : Formado pelas árvores 4, 11 e 12;

Grupo 4 : Formado pelas árvores 6, 7, e 8;

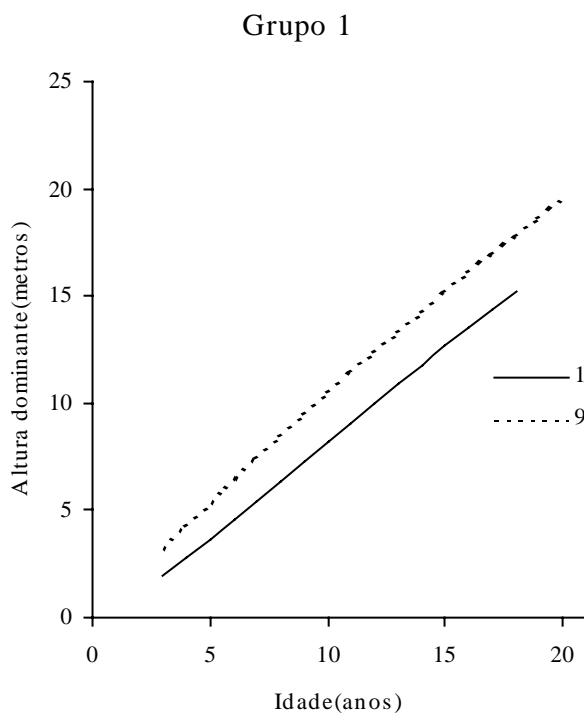


FIGURA 10 – Grupo com mesma tendência de crescimento formados nos Projetos Barrisul V e Mostardas III (Litoral).

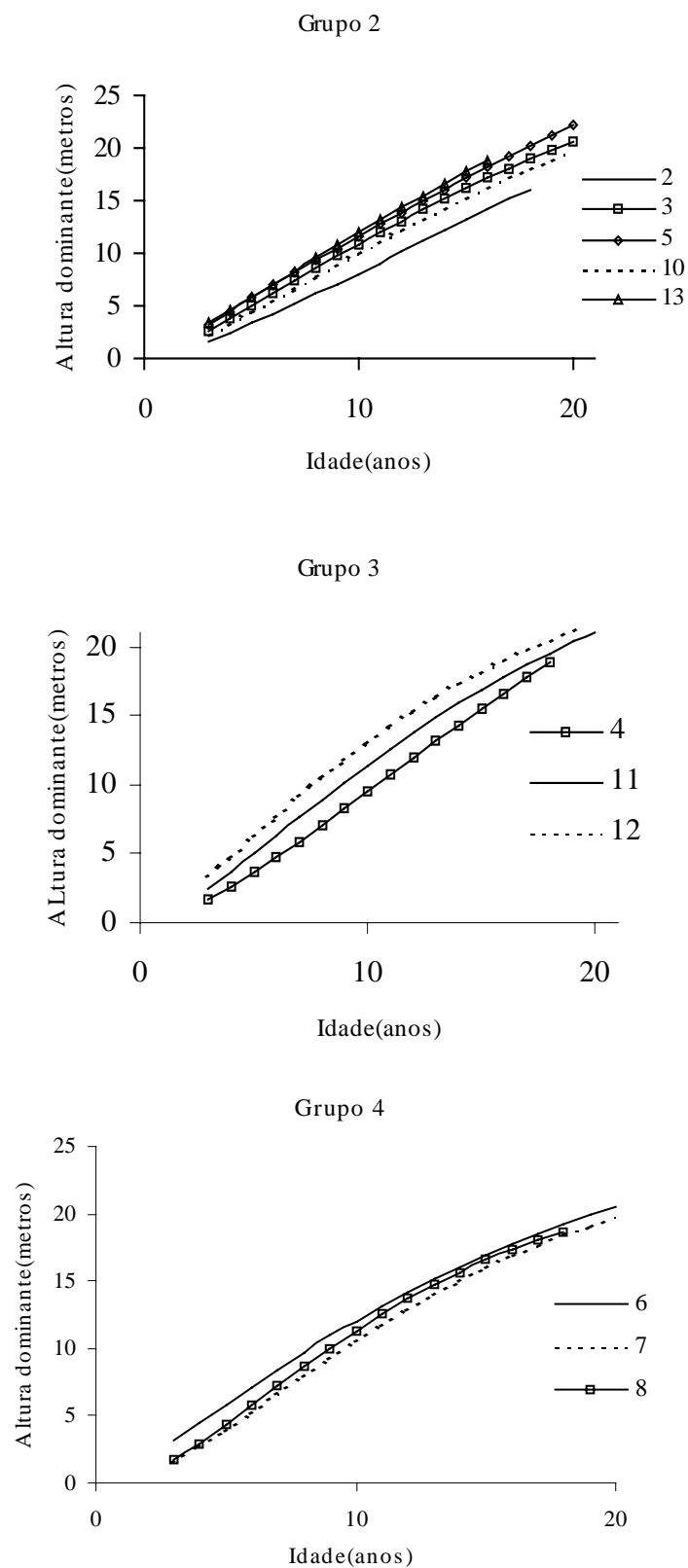


FIGURA 11 – Grupos com mesma tendência de crescimento formados nos Projetos Barrisul V e Mostardas III.

Após a definição dos grupos fez-se, com o uso dos coeficientes médios A, K e M, uma curva média para cada grupo com o objetivo de visualizar melhor as tendências de crescimento entre os grupos (Figura12).

A análise desta figura, novamente permite a comprovação da diferença significativa de inclinação detectada pela análise de covariância (Tabela 9), onde pode se observar um certo paralelismo entre os grupos 1, 2 e 3, porém com nítida diferença de tendência em relação ao grupo 4.

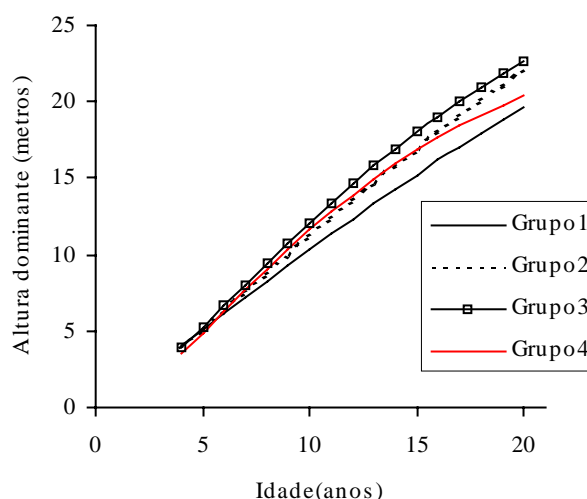


FIGURA 12 - Tendências de crescimento observadas entre os grupos formados nos Projetos Banrisul V e Mostardas III (Palmares do Sul e Mostardas).

4.4 Procedimento para a construção das curvas de índice de sítio

Primeiramente, buscou-se determinar funções auxiliares, obtidas por regressão para os coeficientes A, K e M através do método stepwise, conforme apresentado por CLUTTER et al. (1983), STERBA & OBERKOFER (1988), e SELLE (1993).

Com o auxílio deste método procurou-se correlacionar os coeficientes com o índice de sítio, ou seja a altura da árvore aos 18 anos, e esta altura em sua forma quadrática, cúbica e inversa. Também para o coeficiente M, foi feita uma tentativa em função do coeficiente K, em sua forma quadrática e inversa.

Como a correlação entre as variáveis testadas não foi significativa, para os coeficientes K e M, foram feitas curvas do tipo monomórficas partindo-se da análise das tendências de crescimento observadas entre os grupos formados para cada local (apresentados nas Figuras 6, 9 e 12). Estas curvas foram construídas com a utilização dos coeficientes médios (K e M.) para as árvores dentro de cada grupo, sendo o coeficiente A calculado em função do índice de sítio e a idade índice (18 anos).

Para o projeto Forjasul I, em Encruzilhada do Sul, como não houve diferença gráfica de inclinação entre os grupos 1, 2 e 3 os coeficientes K e M, foram calculados pela média aritmética em relação as árvores 2, 3, 4, 5, 8, 9, 13, 14 e 16. Para o grupo 4, que apresentou diferença de inclinação em relação aos demais, foram feitas curvas separadas, sendo os coeficientes K e M calculados pela média aritmética em relação as árvores 1, 6,7, 10, 11, 12 e 15.

Para o Projeto Geral III, em Piratini, como houve diferença de inclinação entre os três grupos formados, foram feitas curvas separadas para cada grupo.

Para os Projetos Banrisul V e Mostardas III, localizados em Palmares do Sul e Mostardas, como não houve diferença de inclinação entre os grupos 1, 2 e 3, os coeficientes foram calculados pela média aritmética em relação as árvores 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12 e 13. Para o grupo 4 foram feitas curvas independentes.

Os grupos, árvores e coeficientes médios calculados para a construção das curvas são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – Grupos, árvores e coeficientes médios utilizados para a construção de curvas monomórficas entre grupos de mesma tendência de crescimento por local de coleta dos dados.

Local	Grupo(s)	Árvores	K	M
Encruzilhada	1,2 e 3	2, 3, 4, 5, 8, 9, 13, 14, 16	0,09637	0,35249
Encruzilhada	4	1, 6, 7, 10, 11, 12, 15	0,09482	0,42625
Piratini	1	1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13	0,06205	0,23577
Piratini	2	2 e 11	0,02773	0,15379
Piratini	3	3 e 5	0,04985	0,23065
Palmares/Mostardas	1,2 e 3	1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13	0,04527	0,24972
Palmares/Mostardas	4	6, 7, 8	0,10405	0,46038

4.4.1 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio

Os testes de confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio feitos plotando-se as alturas reais sobre as curvas de índice de sítio, permitiram avaliar graficamente o comportamento das árvores quanto a uma eventual mudança de índice ao longo do tempo, bem como avaliar a confiabilidade de se efetuar classificações em idades mais jovens.

O número de curvas utilizadas neste teste foi determinado em função dos valores reais de altura atingidos pelas árvores amostras aos 18 anos, sendo os resultados apresentados nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17.

A análise indicou que para todos os grupos houve uma instabilidade das árvores até a idade dos 8 anos, provavelmente ocasionada pela adaptação da planta ao local de crescimento nas idades mais jovens.

Este resultado vem de encontro aos resultados obtidos por SCOLFORO & MACHADO (1988), MARCOLIN (1990), e SELLE (1993). No entanto, para estes autores a estabilização no padrão de desenvolvimento em altura ocorreu um pouco mais cedo, por volta dos cinco anos. Isto, provavelmente, é resultado das melhores condições de crescimento encontradas naquelas áreas de estudo, onde devido a uma taxa de crescimento inicial mais acelerada, a definição e estabilização no crescimento em altura ocorreu mais cedo.

Portanto, deve-se observar que o uso destas curvas, se os povoamentos forem muito jovens, pode trazer alguma imprecisão na classificação de sítio, porém para idades acima de 8 anos, verifica-se uma boa estabilidade, uma vez que apenas uma árvore analisada (Figura 17) saltou ou baixou nitidamente de curva, indicando que as mesmas tendem a permanecer em um mesmo índice de sítio, o que é desejável nos estudos de crescimento e produção.

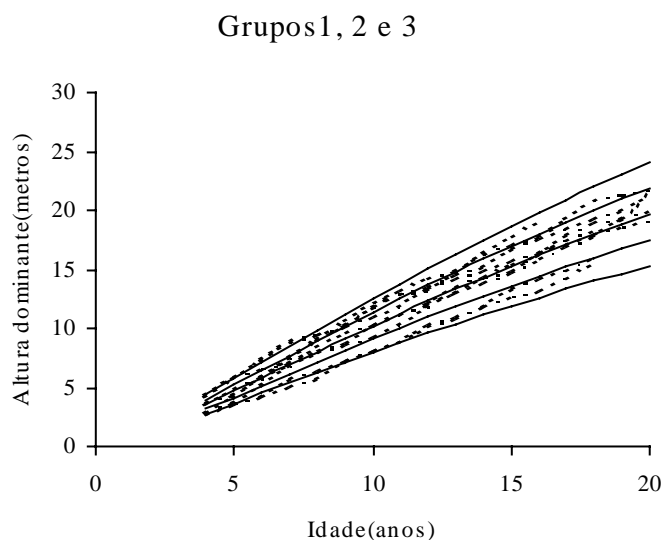
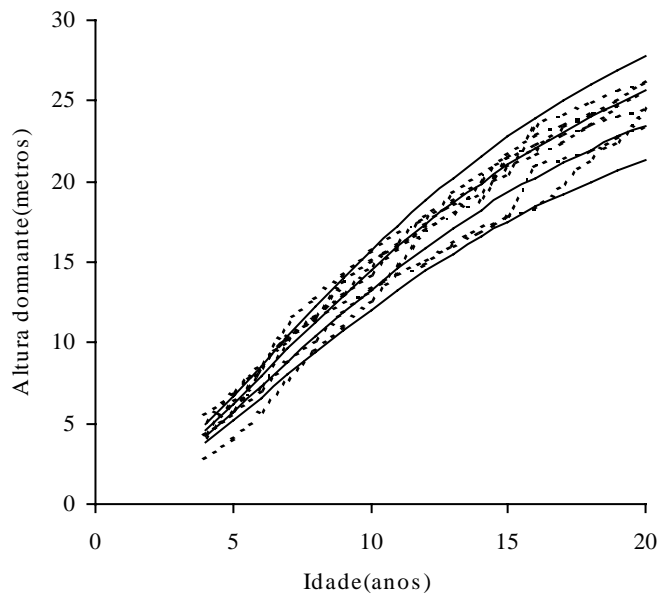


FIGURA 13 – Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 1, 2 e 3, formados no Projeto Forjasul I.

Grupo 4 (a)



Grupo 1 (b)

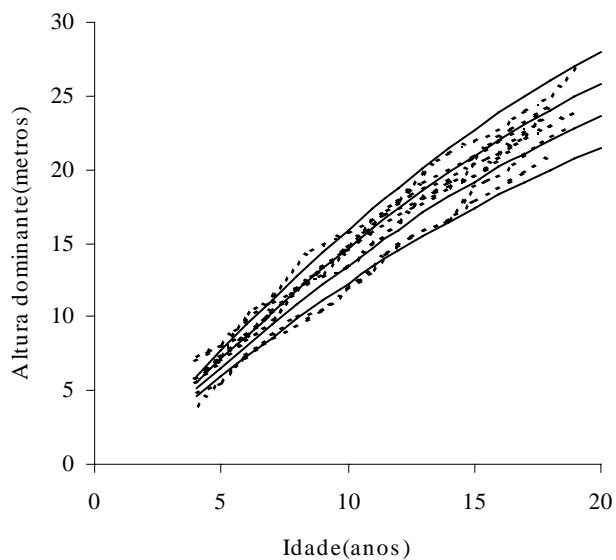
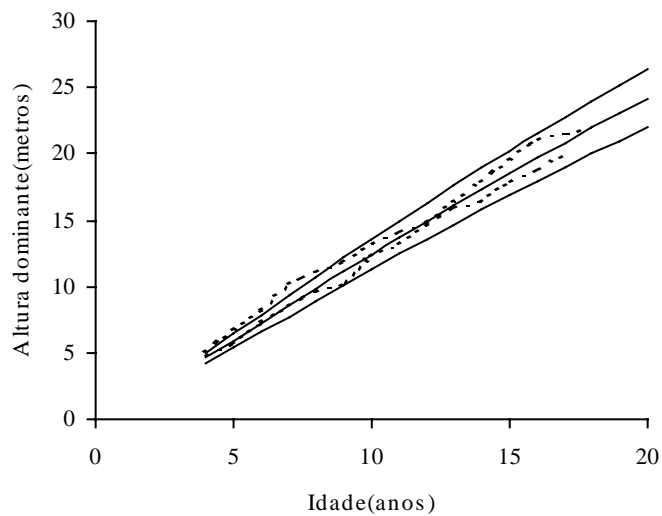


FIGURA 14 – Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 4 (a) e 1(b) formados no Projeto Forjasul I e Geral III.

Grupo 2 (a)



Grupo 3 (b)

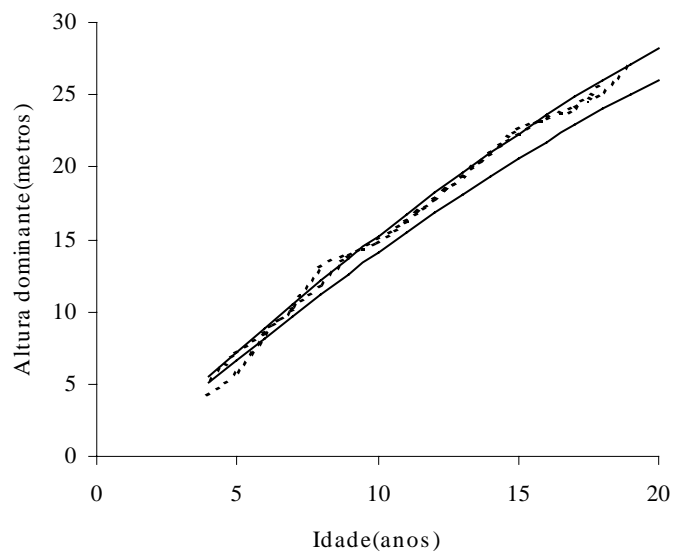


FIGURA 15 – Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 2 (a) e 3 (b), formados no Projeto Geral III.

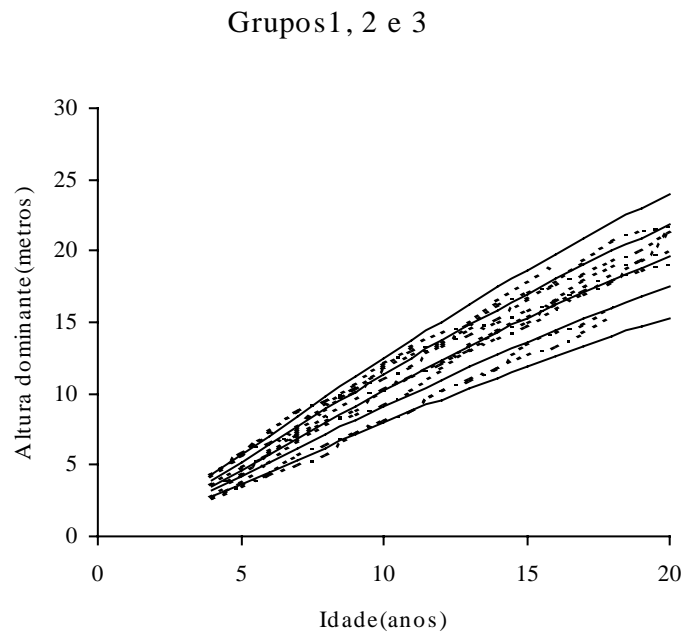


FIGURA 16 – Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para as árvores dos grupos 1, 2 e 3, formados nos projetos Banrisul V e Mostardas III.

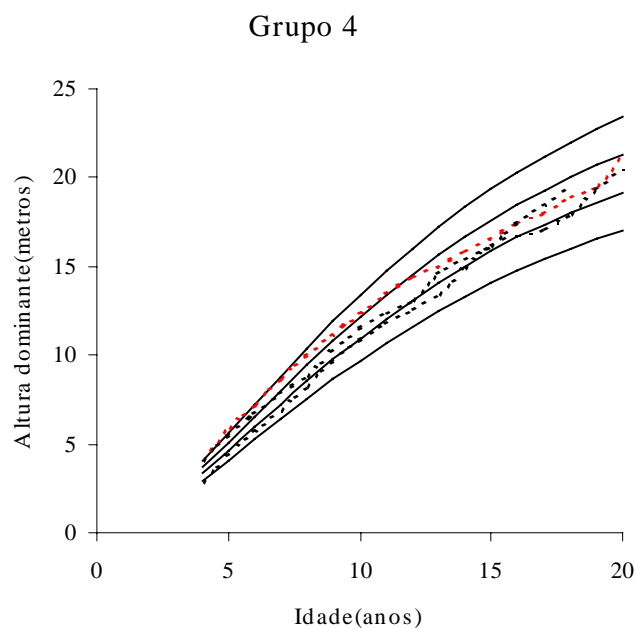


FIGURA 17 - Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio para o grupo 4 formado nos Projetos Banrisul V e Mostardas III.

4.4.2 Comparações das curvas de índice de sítio monomórficas entre grupos com mesma tendência de crescimento.

Como o teste de confiabilidade e estabilidade indicou que os grupos foram formados de forma eficiente, a comparação entre as curvas monomórficas construídas para cada grupo por local de coleta dos dados fez-se necessária. Desta forma, pôde - se conhecer a magnitude dos erros de prognose em altura cometidos ao se adotar um sistema único de curvas, uma vez que por razões práticas não teria sentido adotar mais de um sistema para um mesmo local, pois não houve uma relação nítida entre o relevo e a tendência de crescimento.

Esta comparação foi feita utilizando-se um mesmo índice de sítio por grupo de tendência de crescimento que podem ser visualizadas nas Figuras 18, 19 e 20.

A análise da Figura 18, que mostra o desenvolvimento da curva de índice de sítio 22 para os grupos com mesma tendência de crescimento formados para o Projeto Forjasul I em Encruzilhada do Sul, indica que o erro máximo em altura cometido ao se adotar um sistema único de curvas será de 0,85 m, sendo que esta diferença tende a diminuir com o aumento da idade chegando a valores insignificantes para idades superiores a 16 anos.

A análise da Figura 19, que mostra o desenvolvimento da curva de índice de sítio 22 para os grupos com mesma tendência de crescimento formados no Projeto Geral III, em Piratini, indica que a adoção de um sistema único poderia ser perfeitamente viável para os grupos 2 e 3 , uma vez que não existem diferenças gráficas significativas de prognose entre estes dois grupos. Entre os grupos 1 e 3 o erro máximo de prognose em

altura seria de 1,1 metros, tendendo a diminuir com a idade chegando a valores nulos próximo aos 17 anos.

A Figura 20 demonstra que a adoção de um sistema único de curvas monomórficas para os Projetos Bannisul V e Mostardas III seria viável. A comparação entre as curvas de índice de sítio para os grupos 1, 2 e 3 mostra que na comparação com o grupo 4, o erro máximo cometido será 1 metro.

Como as tendências de crescimento entre as curvas não diferiram graficamente de forma significativa e, uma vez que nas medições de altura feitas à campo, são esperados erros de até 0,60 metros em condições ideais de trabalho, o erro cometido ao se adotar um sistema único de curvas para cada local torna-se aceitável. Assim, optou-se por um único sistema de curvas do tipo monomórfico para descrever o crescimento em cada um dos três locais estudados.

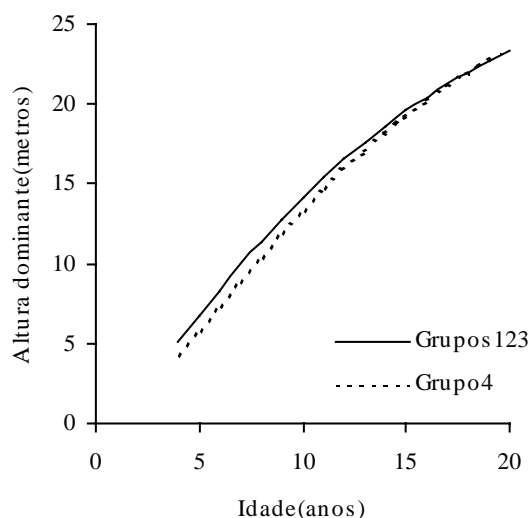


FIGURA 18 – Comparação entre curvas de índice de sítio construídas para grupos de mesma tendência de crescimento no Projeto Forjasul I em Encruzilhada do Sul.

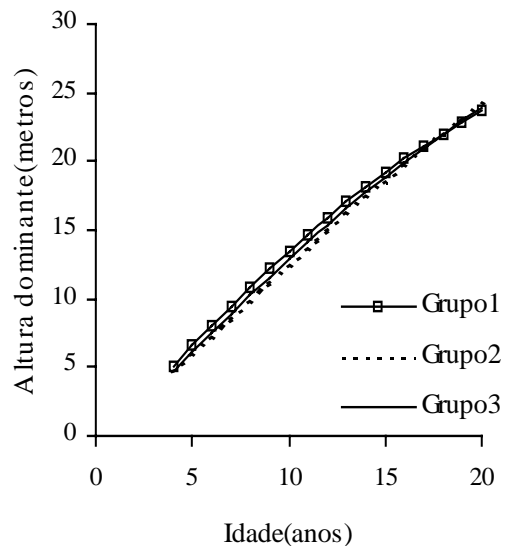


FIGURA 19 – Comparação entre curvas de índice de sítio construídas para grupos de mesma tendência de crescimento no Projeto Geral III em Piratini.

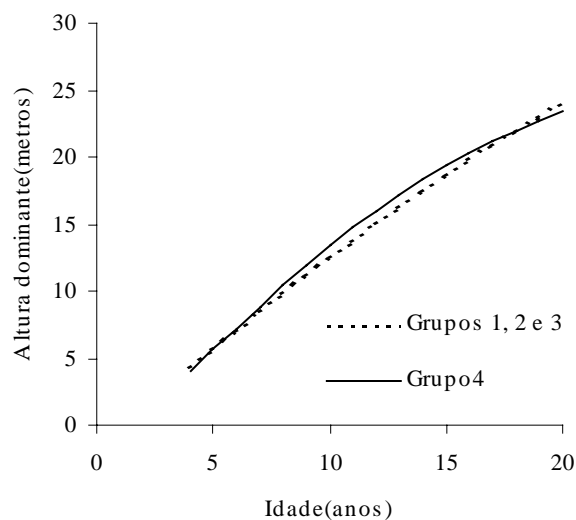


FIGURA 20 – Comparação entre curvas de índice de sítio construídas para grupos de mesma tendência de crescimento nos Projetos Banrisul V e Mostardas III.

4.4.3 Comparação do crescimento entre locais

A comparação das curvas de crescimento em altura quanto ao paralelismo nos três locais em estudo foi realizada pela análise de covariância, com a utilização de todas as árvores amostras.

O resultado da análise de covariância mostrou que a hipótese de igualdade de inclinação das curvas de crescimento é rejeitada em nível de 5% de erro (idade*arvore), nos diferentes locais, indicando a não ocorrência de paralelismo entre as curvas de crescimento em altura das árvores (Tabela 11).

TABELA 11 - Análise de covariância para os três locais em estudo, para testar o paralelismo das curvas de crescimento da altura dominante em função da idade.

F.V	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Coefficientes	3	25495.6021	8498.5340	3880.07	0.0001
Local	2	1631.0575	815.5287	372.34	0.0001
Idade*Local	2	185.7916	92.8958	42.4123	0.0001
Erro	725	1587.9688	2.1903		
Total	732	28900.42			

Sendo: FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados
QM: Quadrado médio; F: Valor de F calculado.

Os resultados obtidos com o teste de Tukey, ao se comparar médias entre os diferentes locais para 95% de probabilidade, indicaram que não poderia ser feito um sistema de curvas único, existindo diferenças significativas entre os três locais estudados.

As comparações significativas ao nível de 0,05 são indicadas pelo asterisco na Tabela 12.

TABELA 12 – Teste de Tukey para comparação de médias.

Local	Diferença entre médias
Encruzilhada – Piratini	0.995*
Encruzilhada – Litoral	3.544*
Litoral – Piratini	2.549*

Embora a análise estatística tenha mostrado significância, indicando diferenças entre a inclinação das curvas, esta diferença é pequena, resultando em curvas muito próximas, conforme verifica-se ao se analisar as tendências de crescimento em altura obtidas através das curvas de índice de sítio construídas separadamente para os três locais. (Figura 21).

A análise desta figura, mostra que a tendência de crescimento entre os três locais foi semelhante, sendo que para um mesmo índice de sítio, existe uma leve superioridade no crescimento em altura para as árvores de Encruzilhada do Sul. No entanto, a diferença máxima encontrada entre estas curvas foi de 0,64 m, estando dentro dos erros cometidos ao se medir as alturas no campo, justificando o emprego de um único conjunto de curvas monomórficas para os três locais estudados. Desta forma, a nova classificação constitui-se de curvas construídas utilizando a média dos coeficientes K e M para todas as árvores amostradas (Tabela 13).

TABELA 13 – Valores dos coeficientes K e M, para a construção e comparação das curvas de índice de sítio.

Local	K	M
Encruzilhada do Sul	0.0956994	0.3847663
Piratini	0.0566597	0.2352537
Palmares e Mostardas	0.0588359	0.2983365
Média para todas as árvores	0.0706713	0.3018185

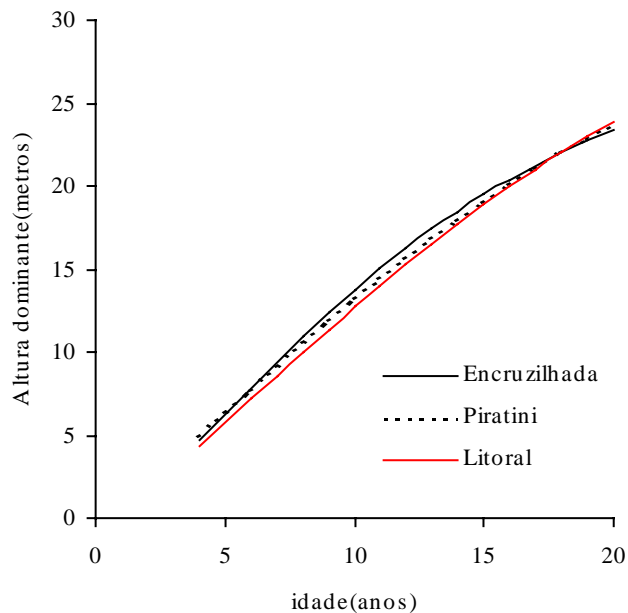


FIGURA 21 - Comparação entre as curvas de índice de sítio (IS 21) construídas individualmente para cada local em estudo.

4.4.4 Determinação do número de curvas necessárias para cobrir a variação de sítios

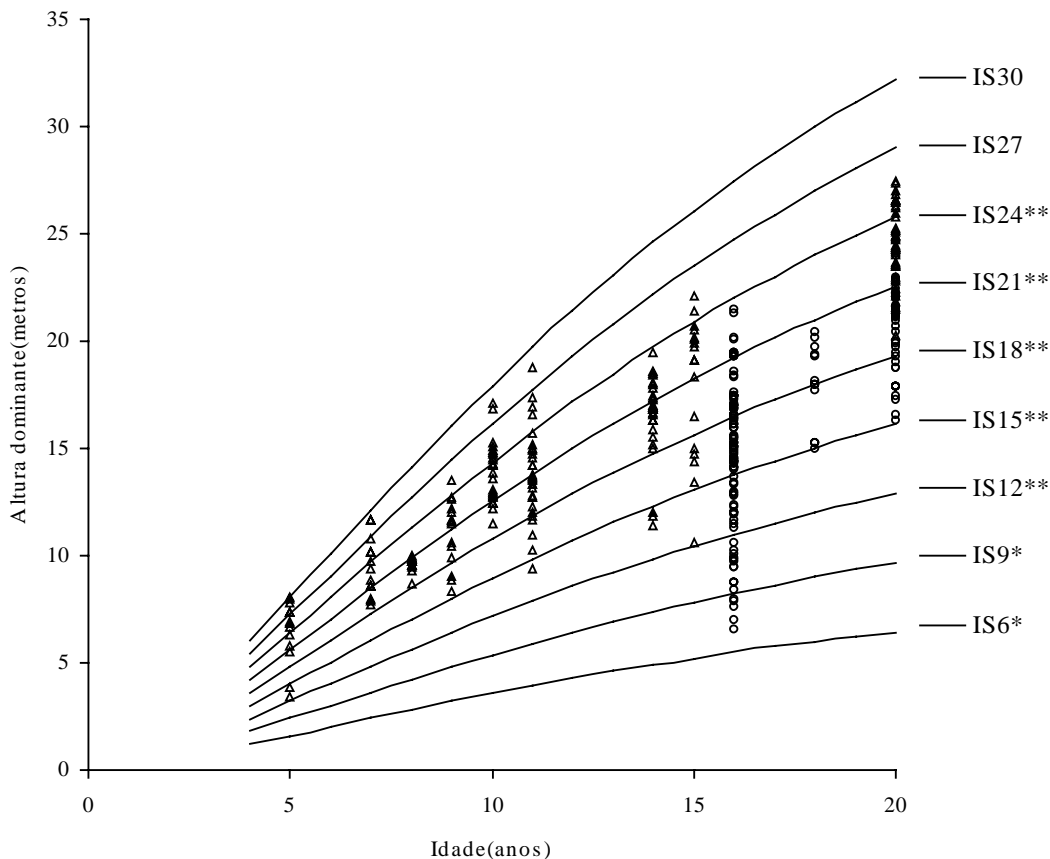
Os pares de dados altura dominante e idade, obtidos de medições de parcelas temporárias feitas na região em estudo foram plotados sobre as curvas de índice de sítio e indicaram a necessidade de construir um sistema com 9 curvas com intervalo de 3 metros, abrangendo índices de sítio de 6 a 30 metros (Figura 22).

TABELA 14 – Valores das curvas de índice de sítio entre as idades de 4 a 20 anos.

Idade	Índice de sítio								
	6	9	12	15	18	21	24	27	30
4	1,20	1,81	2,41	3,01	3,62	4,23	4,82	5,42	6,02
5	1,61	2,41	3,21	4,02	4,83	5,63	6,43	7,24	8,04
6	2,01	3,02	4,03	5,04	6,05	7,06	8,06	9,07	10,09
7	2,42	3,63	4,84	6,06	7,27	8,48	9,69	10,91	12,12
8	2,82	4,23	5,64	7,06	8,47	9,87	11,29	12,70	14,11
9	3,21	4,81	6,42	8,03	9,63	11,24	12,84	14,45	16,05
10	3,58	5,38	7,16	8,96	10,80	12,55	14,34	16,13	17,92
11	3,94	5,91	7,88	9,86	11,80	13,81	15,78	17,75	19,72
12	4,28	6,43	8,57	10,72	12,90	15,01	17,15	19,29	21,44
13	4,61	6,92	9,22	11,54	13,80	16,15	18,46	20,77	23,07
14	4,92	7,38	9,84	12,31	14,80	17,24	19,70	22,16	24,62
15	5,21	7,82	10,43	13,04	15,70	18,26	20,87	23,48	26,09
16	5,49	8,24	10,98	13,74	16,50	19,23	21,98	24,72	27,47
17	5,75	8,63	11,51	14,39	17,30	20,14	23,02	25,90	28,78
18	6,00	9,00	12,00	15,00	18,00	21,00	24,00	27,00	30,00
19	6,23	9,34	12,46	15,57	18,70	21,80	24,92	28,03	31,15
20	6,44	9,66	12,89	16,11	19,30	22,56	25,78	29,00	32,23

Pela análise da Figura 22, observa-se uma grande variação de sítios nas regiões em estudo, sendo que os piores sítios foram observados no litoral, onde aparecem exclusivamente os índices de sítio 6 e 9. Estes sítios são comuns em planossolos, onde o relevo permite o excesso permanente de água, fazendo com que a má drenagem seja um fator limitante para a produção nestas áreas; a presença de sítios médios (IS 21 e 24) no litoral, é um indicativo de que solos arenosos com baixa profundidade do lençol freático podem ser produtivos para a espécie estudada.

Na Serra do Sudeste, (representada pelos municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini), mesmo com a predominância de solos litólicos com baixa profundidade de perfil e presença de afloramentos rochosos, percebe-se a presença de sítios melhores na comparação com o litoral, uma vez que os índices de sítio 27 e 30 ocorrem exclusivamente nesta região, o que comprova as conclusões de VAN GOOR (1967), ao afirmar que a profundidade do solo não é um fator limitante em clima sem inverno muito seco, onde então, esta profundidade deve ser maior do que 70 cm..



* - IS encontrado apenas no litoral ** - IS encontrado no Litoral e Serra do Sudeste
 0 - altura dominante observada no litoral Δ - altura dominante observada na Serra do Sudeste.

FIGURA 22 – Curvas de índice de sítio para a Serra do Sudeste e o Litoral

4.4.5 Comparação com curvas de índice de sítio de outros Estados e regiões.

A comparação entre as curvas construídas para a região em estudo com as curvas construídas para os Estados do Paraná e Santa Catarina, São Francisco de Paula (RS), Passo Fundo (RS), Segundo Planalto Paranaense e Cambará do Sul (RS), podem ser observadas nas Figuras 23, 24, 25, 26 e 27.

A análise da figura 23, mostra que embora tenha sido utilizada a

a mesma idade índice, a comparação entre os sistemas feitos para a Serra do Sudeste e o Litoral, e para os estados do Paraná e Santa Catarina não apresentaram o mesmo desenvolvimento. Nesta figura pode-se perceber cruzamentos, que ocorrem em idades mais jovens nos piores sítios e em idades um pouco mais avançadas nos melhores, sendo as curvas feitas por SCOLFORO & MACHADO (1988), mais inclinadas em idades jovens, porém com a tendência de serem mais achatadas na medida em que a idade avança.

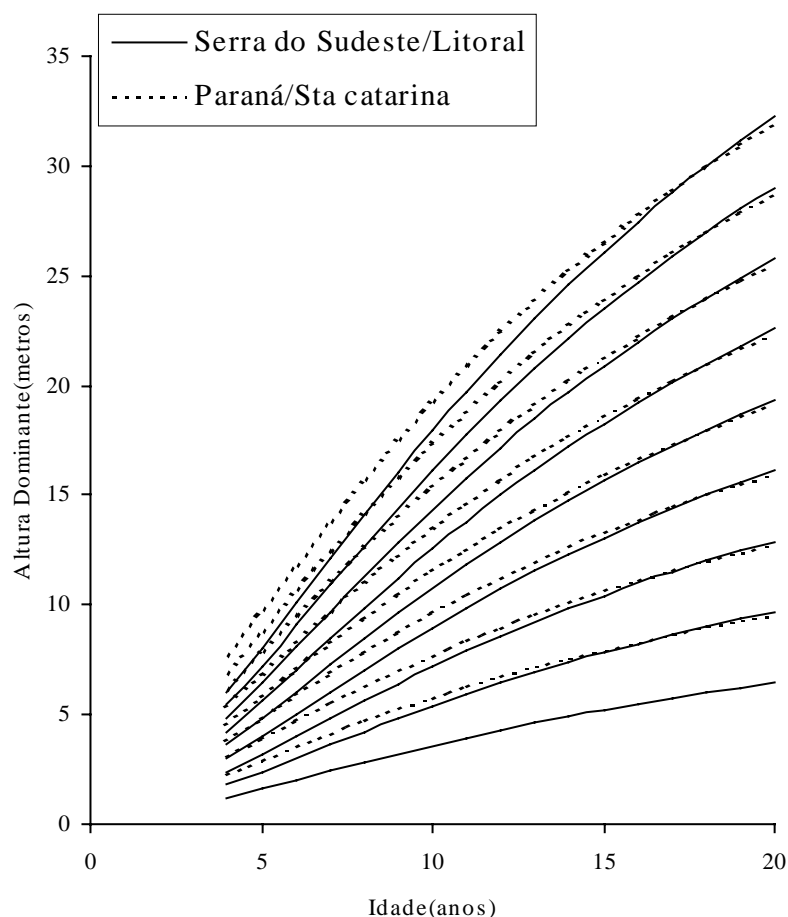


FIGURA 23 – Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, elaboradas por SCOLFORO & MACHADO (1988), recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral.

A Figura 24 mostra que o sistema feito para a Serra do Sudeste e o Litoral, apresenta, de forma geral, a mesma tendência de crescimento que o sistema feito por BRASIL (1989) para a região de São Francisco de Paula, existindo apenas uma pequena diferença quanto ao nível de crescimento nas menores idades. Este resultado indica que pode-se utilizar as tabelas de produção feitas para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula como base para prognosticar a produção na Serra do Sudeste e o Litoral, com a restrição de que estas tabelas não abrangem todos os índices de sítio encontrados na Serra do Sudeste e o Litoral.

A análise das Figuras 25, 26 e 27 mostram que as curvas de índice de sítio feitas para a Serra do Sudeste e o Litoral, não apresentam o mesmo desenvolvimento em altura quando comparadas com as curvas feitas para Passo Fundo (RS), o Segundo Planalto Paranaense e Cambará do Sul (RS).

Na comparação com as curvas feitas, para a região de Passo Fundo (RS), percebe-se que estas são mais inclinadas em idades jovens, o que indica uma taxa maior no crescimento inicial. Na medida em que aumenta a idade, estas curvas tendem a ser mais achatadas, ocorrendo cruzamentos a partir do oitavo ano para os piores sítios analisados e do décimo segundo ano para os melhores sítios.

Em comparação com o Segundo Planalto Paranaense, as diferenças no desenvolvimento das curvas de altura dominante em função da idade, são bastante acentuadas, existindo vários cruzamentos entre as curvas. Nota-se que o crescimento em altura para o *Pinus taeda* no Segundo Planalto Paranaense é bastante superior, sendo no entanto estas curvas bem mais achatadas quando comparadas as árvores da Serra do Sudeste e o Litoral.

Este resultado já era esperado por se tratarem de espécies diferentes, e quanto a este tipo de comparação, PAIT et al. (1991), afirmaram que o

Pinus taeda por ser menos tolerante a sombra é mais agressivo que o *Pinus elliottii* nos primeiros anos de vida, conseqüentemente cresce mais em altura

na idade jovem. Em relação as curvas de crescimento, SCOLFORO & MACHADO (1988), constataram que apesar de apresentarem a mesma inclinação, o ponto de inflexão ocorre mais tarde para o *Pinus elliottii*, em comparação com o *Pinus taeda*, o que confere a esta espécie, curvas mais achatadas.

Para as curvas construídas por SELLE (1993), a comparação mostra que o crescimento em altura para o *Pinus taeda* na região de Cambará do Sul também é bastante superior. Esta superioridade tende a aumentar para os melhores sítios e diminuir para as maiores idades, sendo as curvas construídas para a região de Cambará do Sul, mais achatadas do que as curvas construídas neste estudo.

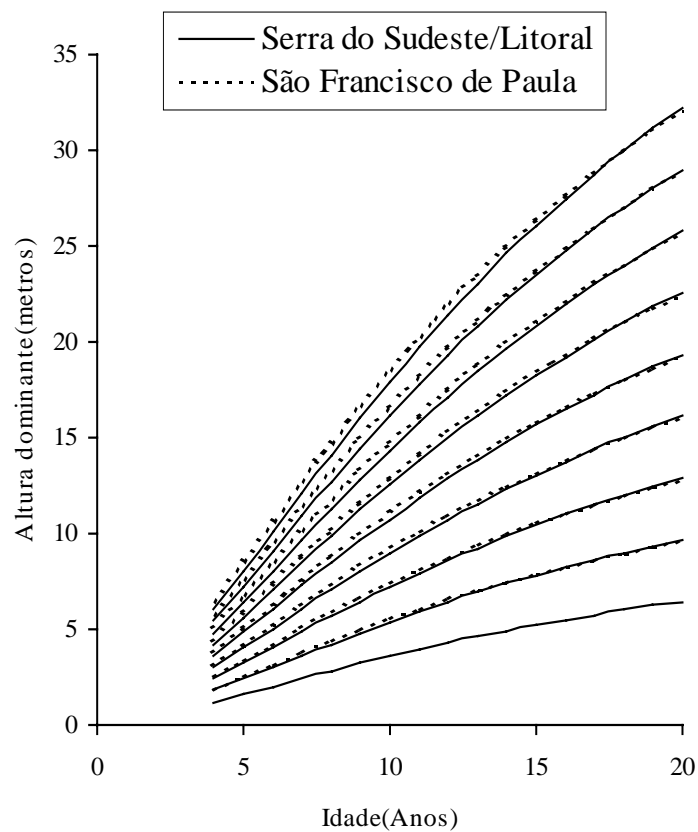


FIGURA 24 – Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, elaboradas por BRASIL (1989), para a região de São Francisco de Paula, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral

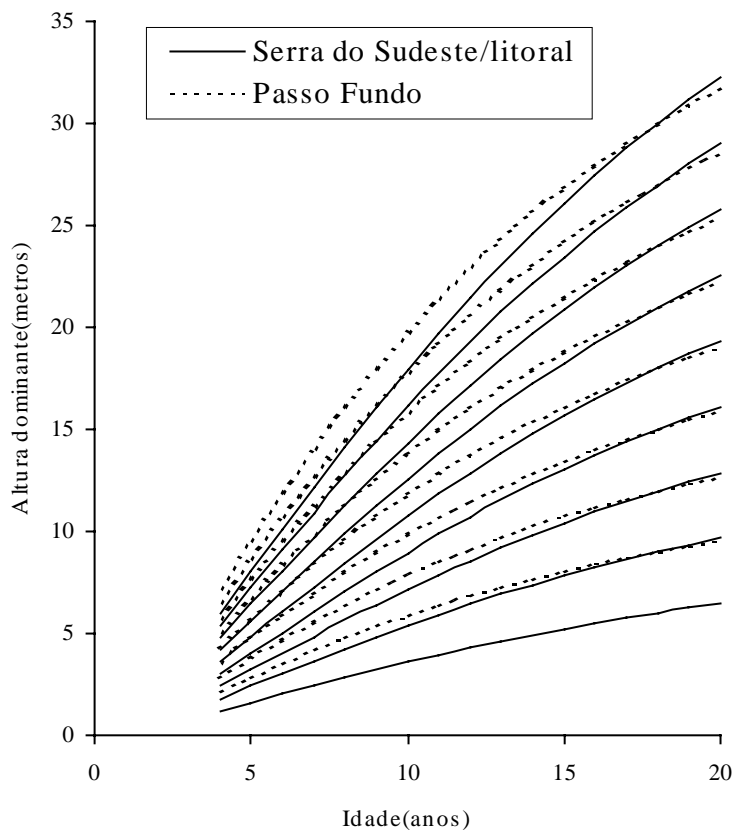


FIGURA 25 – Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii*, elaboradas por BRASIL (1989), para a região de Passo Fundo, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral.

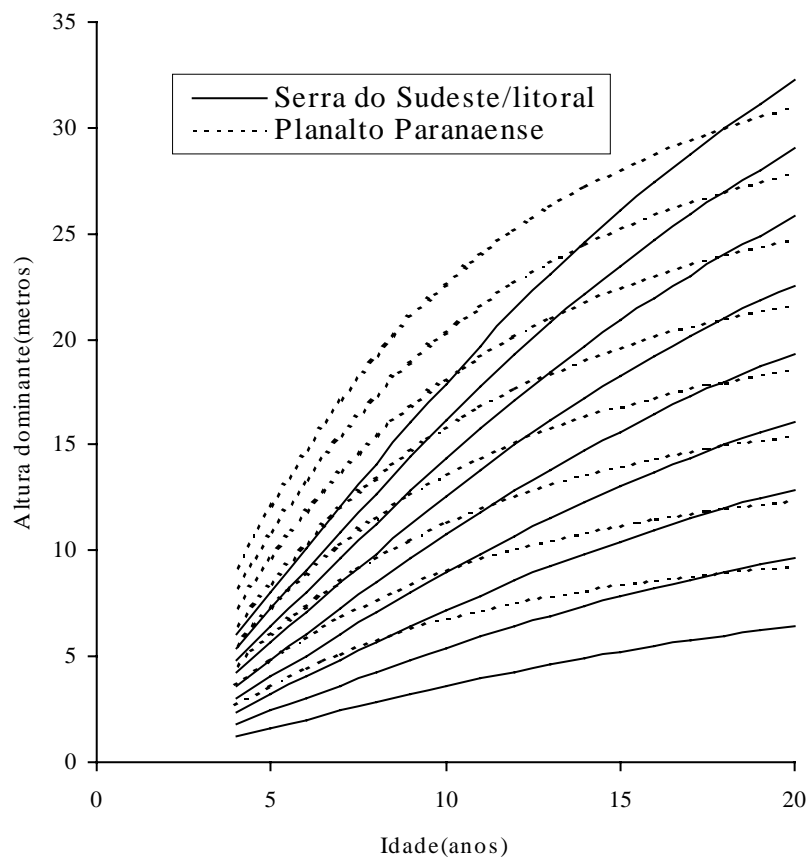


FIGURA 26 – Curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* elaboradas por MARCOLIM (1990), para a região do Segundo Planalto Paranaense, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral.

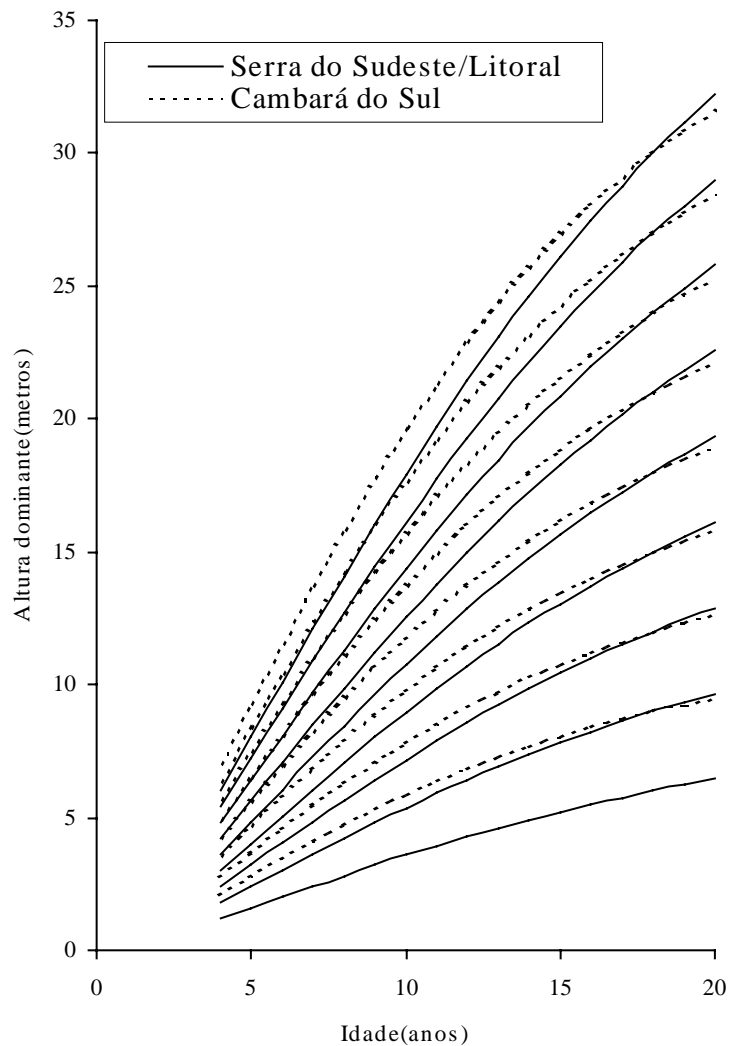


FIGURA 27 – Curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* elaboradas por SELLE (1993), para a região de Cambará do Sul, recalculadas para a idade índice de 18 anos, sobrepostas as curvas construídas para a região da Serra do Sudeste e o Litoral.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo pode-se concluir que:

- a) A função de Richards com 3 coeficientes, descreveu com precisão o crescimento em altura dominante em função da idade para todas as árvores analisadas, dentro da amplitude dos dados observados, embora o valor da assíntota estimado para algumas árvores tenha sido elevado.
- b) A posição do relevo, de uma forma geral, não foi um bom indicador de sítio, uma vez que houveram cruzamentos entre árvores localizadas na mesma posição topográfica.
- c) O agrupamento gráfico visual, mostrou ser eficiente na formação de grupos com semelhantes tendências de crescimento.
- d) Os coeficientes K e M, não apresentaram correlação significativa com o índice de sítio, de forma que foram utilizados os coeficientes médios como estimadores na construção das curvas de índice de sítio.
- e) Apesar da análise de covariância indicar a existência de diferenças de inclinação entre árvores coletadas em um mesmo local e unidade de mapeamento, não foram encontradas evidências que justificassem a elaboração de um conjunto de curvas polimórficas.

- f) A tendência do crescimento em altura dominante mostrou-se semelhante para as três unidades de mapeamento estudadas, o que justificou a construção de um único sistema de curvas monomórficas.
- g) Os piores sítios foram encontrados na Unidade de Mapeamento Curumim, localizada no Litoral, e os melhores na Unidade de Mapeamento Ibaré em Encruzilhada do Sul.
- h) Para descrever a variação da altura dominante em função da idade, foram necessárias 9 curvas de índice de sítio monomórficas de 6 a 30 metros, na idade índice de 18 anos e com um intervalo de 3 metros entre as curvas.
- .
- i) A comparação do sistema de curvas de índice de sítio elaboradas neste trabalho, com outras 5 regiões, indicou que as curvas feitas por BRASIL (1988) para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula, apresentaram desenvolvimento em altura dominante muito semelhantes ao encontrado neste estudo, o mesmo não acontecendo com os demais sistemas analisados.

5.2 Recomendações

Após a realização deste trabalho sugere-se em pesquisas futuras:

- a) Trabalhos desta natureza, deve-se procurar informações prévias (observações práticas), sobre o crescimento em altura nos dois primeiros anos na região em estudo. Desta forma pode se evitar incertezas na determinação da idade das árvores.
- b) Trabalhos desta natureza, devem preferencialmente ser feitos em áreas onde já existam inventários florestais contínuos e onde se tenha um perfeito controle sobre a idade e o histórico dos povoamentos.
- c) Uma vez que somente a posição do relevo não foi capaz de explicar o crescimento em altura nas árvores analisadas neste estudo, sugere-se que fatores topográficos como declividade e comprimento do declive, e de solo, como profundidade, estrutura, textura e umidade também sejam analisados.
- d) Estudos de longo prazo, em que fatores de sítio dinâmicos sejam analisados e relacionados ao desenvolvimento em altura, mostram-se necessários, pois somente através destes será possível entender e justificar o crescimento de forma completa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, S. **Modelos de crescimento e produção**. Curitiba: UFPR, 1990. 46 p.
- ANDRAE, F. H. **Ecologia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1978. 230 p.
- ARES, A, MARLATS, R. M. Site factors related to growth of coniferous plantations in a temperate, hilly zone of Argentina. **Australian Forestry**, v. 60, n. 3, p. 118-127, 1995.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS-AGEFLOR. Florestas plantadas privadas. In: **Seminário sobre a situação florestal do Rio Grande do Sul. 1º**, Santa Maria: UFSM, 1991. 179 p. p16-20.
- BARROS, N. F, NOVAIS, R. F, CARMO, D. N. et al. Classificação nutricional de sítios florestais- Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p.112-120, 1986.
- BARUSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. Curitiba: UFPR, 1977. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, 1977.

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 *Eucaliptus sp*, no Estado de São Paulo. **Revista do IPEF**, Piracicaba, v. 32, 33-42 p,1996.

BRENA, D. A, BOM, P. B. **Modelos de crescimento e produção florestal** Curitiba: [s.n], 1991. 111p.

BRASIL **Plano de Manejo para a Floresta Nacional de Passo Fundo-RS**. Santa Maria, 1989 a.

____. **Plano de Manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula**. Santa Maria, 1989 b.

BRUM, E. T. **Relações entre altura dominante e fatores de sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC**. Curitiba: UFPR, 1979. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, 1979.

BUFORD, M. A., MCKEE, W. H. Relating site index of natural Loblolly Pine on the Lower Coastal Plain to some enviromental factors. In: **Proceedings of Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference**. Menphis,Tennessee, v.1,1988 p.495-498.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal I**, 2.ed. Curitiba: UFPR, 1976 v. não paginado.

CAMPOS, J. C. C. **Estudo sobre índice de sítio e tabelas de volume e produção para *Pinus elliotii* Engelm, no Estado de São Paulo, Brasil.** Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1970, 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1970.

CARLOS, R. M. R. Índice de sítio para *Pinus patula* Schl. Et Cham, en la region de Huayacocotla, Estado de Veracruz. **Revista Forestal en México**, v.21, n. 80, p.58-75. 1996.

CARMEAN, W. H. Tree-Growth patterns in relation to soil and site. In: **Tree growth and forest soils.** Oregon State University, USA, 1970. 527p.

CHEN, H. Y. H, KLINKA, K, KABZEMS, R. D . Height growth and site index models for trembling aspen (*Populus tremuloides* MICHX.) in northern British Columbia. **Forest Ecology and Management.**v 102, p. 157-167,1998.

CLUTTER, J. L, FORTSON, J. C, PIENAAR, L.V. **Timber Management: A quantitative Approach.** USA: John Wiley & Sons. Inc, 329.p, 1983.

DAUBENMIRE, R . Vegetative indicators of rate of height growth in Ponderosa Pine. **Forest Science.** v.7, n.1, p 24-34, 1961.

DAVIS, K. P. **Forest managment, regulation and valuation.** USA: Mc Graw Hill, 1966. 519 p.

- DE HOOGH, R. J, DIETRICH, A. B. Relação crescimento-sítio de *Araucaria angustifolia* (Bert) O .Ktze em povoamentos plantados. In: Congresso Florestal Brasileiro, 3^o. v.3, 1976, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1976. 500 p.p.34-40.
- DO COUTO, H. T. Z, BASTOS, N. L. M. Curvas de crescimento em volume para *Eucalyptus sp*, em segunda rotação no Estado de São Paulo. **Revista do IPEF**, Piracicaba, v. 34, p.15-18, 1986.
- DOLDAN, M. E. Q. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa.** Curitiba: UFPR, 1987, 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, 1987.
- DO VALE, A. B, PAIVA, A . N, FELFILI, J. M **Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal.** Viçosa: UFV, 1982. 20.p. (Boletim técnico n^o4).
- EMERENCIANO, D. B. **Avaliação de métodos de prognose da altura aplicados em *Pinus elliottii* da Floresta Nacional de Capão Bonito – SP.** Curitiba: UFPR, 1981, 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, 1981.
- FINGER., C. A.G. **Ein Beitrag zur ertragskunde von *Eucalyptus grandis* und *Eucalyptus saligna* in südbrasilien.** Wien, Austria: Universität für Bodenkultur, 1991. 136p. Tese (Doutorado) – Universität für Bodenkultur, 1991.

____. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, 1992. 269p.

____. **Crescimento e produção florestal**. 1998. (notas de aula na disciplina de crescimento e produção florestal- Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal).

FISHWICK, R. W. **Uso do percentual de espaçamento relativo de Hart-Becking para o controle dos desbastes**. Brasília, PRODEPEF-IBDF, 1975. 10 p.

____. **Resultados preliminares de parcelas experimentais de desbastes baseado no parâmetro área basal, com *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii*, no sul do Brasil**. Curitiba: PRODEPEF –IBAMA, 1976.

____. **Determinação de curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii***. Brasília: PRODEPEF, 1977. 11p. (comunicação Técnica N^o 6).

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Geografia do Brasil, Região Sul, v.2**. Rio de Janeiro, 1990. 300 p.

GERDING, V, SCHLATTER, J. E. Variables Y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D.Don en Chile. **Bosque**, v.16, n.2, p.39-56, 1995.

- GIRARDIN, J. L, BROQUEN, P. El crecimiento de *Pinus ponderosa* Dougl. Y *Pseudotsuga menziessii* Mirb. En diferentes condiciones de sitio. **Bosque**, v. 16, n. 2, p.57-67. 1995.
- GOLFARI, L. R. Coníferas aptas para repobaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**.v .6, p. 7-62, 1967.
- GONÇALVES. J, L, M. Interpretação de levantamento de solo para fins silviculturais. **Revista do IPEF**, Piracicaba, v. 39, p.65-72. 1988.
- GREY, D. C. The evaluation of site factor studies. **South African Forestry Journal**. Georgetown, p. 19-22.1983.
- GULDIN, J. M., BAKER, J. B, LOCKHART, B. R. Evaluation of four soil-site index estimators for Lobolly Pine in The West Gulf Region. In: **Proceedings of Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference**. Memphis,Tennessee, v.1, 1988 p.489-493.
- HOLGRIDGE, L. R . **Ecologia basada em zonas de vida**. San José: II CA, 1982. 216 p.
- JOHNSTON, D. R, GRAYSON. A, J, BRADLEY. R, T. **Forest planning**. London: Russel Square, 1967. 529 p.
- LAMPRECHT, H . **Silvicultura nos trópicos**: Ecosistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. [Tradução de Guilherme de Almeida Sedas e Gilberto Calcagnotto].-Rossdorf: TZ-Verl.-Ges, 1990. 343 p.

LEMOS et al. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p.

LENHART, J. D , HUNT, E. V, BLACKARD, J. A .Site index equations for Loblolly and Slash Pine plantations on non old fields in east Texas.Washington: **Southern Journal of Applied Forestry**, v.10, n. 2, p.109-112, 1986.

LONG, Y. Assessment of plantation productivity in first and second rotations of *Pinus radiata* in New South Wales. **Australian Forestry**, v.60, n.3, p169-177, 1997.

MACHADO, S. A. Curvas de índice de sitio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v.11. n.2, p.4-17, 1980.

MARCOLIN, M. **Polimorfismo e tamanho da amostra para construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L., no Segundo Planalto Paranaense**.Curitiba: UFPR, 1990. 57 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná,1990.

MARIO, A. R. Estudio del crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínes Y *Pinus lawsonii* Roetzl em la región central de Michoacán. **Revista Ciência Florestal en México**, v .22, n. 81, p.42-70,1997.

- MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* Var. *Elliottii* no Segundo Planalto Paranaense** Curitiba: UFPR, 1991, 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, 1991.
- MEYER, A. H, RECKNAGEL, B. A, STEVENSON, D. D. et al. **Forest managment**. New York: Ronald Press Company,1961. 277 p.
- MIROV, N. T. **The Genus Pinus**. New York: Ronald Press Company,1967. 602 p.
- MONSERUD, R. A. Height growth and site index curves for Inland Douglas-fir, based on stem analysis data and forest habitat type. **Forest Science**, v.30, n.4, p.943-965,1984.
- NETO, F. R. C, SCOLFORO, J. R. S, OLIVEIRA, A. D. et al. Uso da diferença algébrica para construção de curva de índice de sítio para *Eucaliptus grandis* e *Eucaliptus urophylla*, na região de Luiz Antonio-SP. **Cerne**, Lavras , v.2, n.2, p.119-141,1996.
- NOGUEIRA, A. C., KUNIYOSHI, Y. S., SOARES, R.. V. Zonas de vida para o Estado de Santa Catarina segundo a classificação das formações vegetais de Holdridge. **Revista Floresta**. Curitiba: UFPR, v 18, n.1/2, 1987. p103-112.
- OLIVEIRA, Y. M. M ., AHRENS, S. **Curvas de índice de sítio para povoamentos de *Pinus elliottii* Var. *elliottii* Engelm. E *Pinus taeda* L.**

Estabelecidos no sul e sudeste do Brasil: Resultados preliminares. Curitiba: EMBRAPA, 9 p, 1987.(Circular técnica nº 14).

PAIT, J. A, FLINCHUM, D. M, LANTZ, C. W. Species variation, allocation, and tree improvement. In: **Forest Regeneration Manual**. London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 207-231.

PFISTER, R. D, ARNO, S. F. Classifying forest habitat types based on potential climax vegetation. **Forest Science**, v. 26, n.1, p.52-70. 1980.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **J. Agr. Pres**, v.46, n.7 p.62-638, 1959.

RIGHTMEYER, R. D. Developing a site suitability guide for management type recommendations on the Chattahoochee National Forest. In: **Proceedings of Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference**. Memphis, Tennessee, v.1,1988.p.513-517.

SANQUETTA, C. R. Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal. Curitiba: UFPR, 1996. 49 p.

SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM : Programa de computador, ambiente VM. Cary, 1993.versão 6.08.

SCHEEREN, L. W. **Efeito dos elementos químicos do solo e da copa no crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze., Na região de Canela –RS**. Santa Maria: UFSM, 1998. 122 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 1998.

SCHLATTER, J. E, GERDING, V. Método de clasificación de sítios para la producción forestal, ejemplo em chile. **Bosque**, v.16, n2, p.13-20, 1995.

SCHNEIDER, P. R, FINGER, C. A. G. Influência da Intensidade do desbaste Sobre o Crescimento em Altura de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**.. Santa Maria, v.3, n. 1, p. 171-184, 1993.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348 p.

____. **ANATRO**: Programa de computador, ambiente MS-DOS. Santa Maria, 1984.

____. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/ UFSM, 1997. 217 p.

SCOLFORO, J. R. Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Revista do IPEF**, Piracicaba , v. 45, p.40-47,1992

SCOLFORO, J. R. S, MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v.17, p.140-158, 1988 a.

____. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v.17, p.159-173, 1988 b.

SELLE, G. L . **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L, na região de Cambará do Sul, RS, Brasil.** Santa Maria: UFSM, 1993. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 1993.

SMITH, W. D, STRUB, M. R. Initial spacing: How many trees to plant. In: **Forest Regeneration Manual.** London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 281-320.

SPSS- STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES:
Programa de computador, ambiente windows. Chicago, 1996. Versão 7.5.1

SPURR, S. H, BARNES, B. V. **Forest ecology.** Ronald Press Company, 1973. 571p.

STEELE, B. M, COOPER, S. V. **Predicting site index and height for select tree species of Northern Idaho.** United States: Forest Service, 16.p, 1986.

STERBA, H, OBERKOFER, H. **Das Wachstum der Fichte im Pustertal Forstliche Ertragslehre der Universität für Bodenkultur.** Wien, n.2, 1988. 55p.

STORCK, L, LOPES, S. J. **Experimentação II.** Santa Maria: UFSM, 1997. 196 p.

TEIXEIRA, B, M, NETO, A, B, C, PASTORE, U. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: **Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1986. v .33, 791p.

VAN GOOR, C. P. Reflorestamento com coníferas no Brasil, aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 4, n . 4/5. P.349-366, 1967.

ZARNOCH, S. Z, FEDUCCIA, D. P. Slash Pine plantation site index curves for The West Gulf. Washington: **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 8, n. 4, p. 223-225,1984.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest science**, v. 39, n.3, p. 594-616, 1993.