

OSMAR MENEGOL

Índice de Sítio e Relação entre Altura Dominante e
Teores Nutricionais das Acículas em Povoamentos de
Pinus elliottii var. elliottii no Segundo Planalto
Paranaense.

Dissertação submetida à consideração da
Comissão Examinadora, como requisito par-
cial para a obtenção do título de "Mestre
em Ciências — M. Sc.", no Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal do
Setor de Ciências Agrárias da Universi-
dade Federal do Paraná.

CURITIBA

1991

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

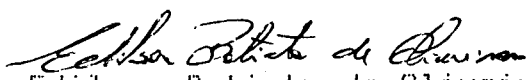
P A R E C E R

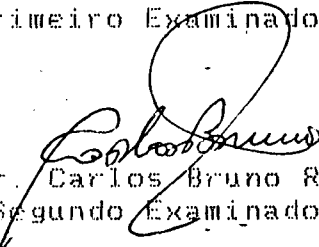
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato OSMAR MENEGOL, sob o título "ÍNDICE DE SÍTIO E RELAÇÃO ENTRE ALTURA DOMINANTE E TEORES NUTRICIONAIS DAS ACÍCULAS EM POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* var. *elliottii* NO SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais.

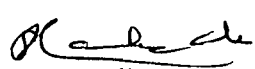
Observação:

O critério de aprovação da Dissertação e Defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas, APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 22 de abril de 1991


Prof. M.Sc. Edilson Batista de Oliveira
Primeiro Examinador


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann
Segundo Examinador


Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado
Presidente da Banca



A meus PAIS e IRMÃOS

A minha esposa RITA DE CASSIA
e ao meu filho MATHEUS

D E D I C O

AGRADECIMENTO

Ao orientador Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado e aos co-orientadores, Professor Dr. Carlos Bruno Reissmann e Professor Dr. Flávio Felipe Kirchner, pela orientação, sugestões, estímulo, compreensão e amizade.

Ao pesquisador Edilson Batista de Oliveira, do Centro Nacional de Pesquisas Florestais da EMBRAPA, pela colaboração.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, por possibilitar a realização do curso e deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

Ao projeto da Fundação da Universidade Federal do Paraná, pela utilização dos dados.

A Klabin Papel e Celulose S/A., a Serraria Irmãos Gomes e a Floresta Nacional de Três Barras, por possibilitar a coleta dos dados.

A COPENER - Copene Energética S/A., pela colaboração no processamento de dados, e estímulo dado pelo colega e amigo M.Sc Paulo Tarcísio Cassa Louzada.

A INPACEL - Indústria de Papel e Celulose Arapoti S/A., pela conclusão deste trabalho.

Aos demais Professores, Colegas do Curso e Funcionários que direta ou indiretamente colaboraram na execução do trabalho.

BIOGRAFIA

OSMAR MENEGOL, nasceu em Caxias do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, no dia 19 de dezembro de 1956.

Concluiu o primeiro grau em 1975 na Escola Estadual Vensão Eberle, Caxias do Sul e segundo grau em 1978 no Colégio Estadual Santa Catarina, Caxias do Sul - RS.

Em 1980 iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, graduando-se em 1983.

Em 1985 iniciou o Curso de Pos-Graduação em Engenharia Florestal, área de Manejo Florestal, na Universidade Federal do Paraná, concluindo os créditos exigidos para o grau de M.Sc. em 1986.

A partir de 1987 exerceu atividades na COPENER - Copene Energética S/A, Alagoinhas - BA, na área de Pesquisa Florestal até 1990, onde desempenhou funções nas áreas de Biometria e Inventário Florestal, Experimentação e Manutenção Florestal.

Atualmente exerce atividade na INPACEL - Indústria de Papel e Celulose (Grupo Bamerindus), Arapoti - PR., onde é responsável pela área de Pesquisa Florestal.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS	4
2.2 FORMAS DE EXPRESSAR O ÍNDICE DE SÍTIO	5
2.2.1 Altura dominante	6
2.2.2 Classe de sítio	7
2.3 FATORES QUE AFETAM O CRESCIMENTO EM ALTURA	7
2.4 PROCESSO DE ESTIMATIVA	8
2.5 CONFIABILIDADE DAS CURVAS	11
2.6 ASPECTOS NUTRICIONAIS E FISIOLÓGICOS DAS PLANTAS	12
2.7 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS	16
3 MATERIAL E MÉTODO	17
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS	17
3.2 AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DOS DADOS	18

3.2.1	Amostragem de acículas	18
3.2.2	Escolha e derrubada das árvores para análise de tronco	19
3.2.3	Preparo de fatias e medição de anéis de crescimento.....	19
3.2.4	Escolha da idade índice e intervalo de classe ..	20
3.3	SELEÇÃO DE MODELOS PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO POLIMÓRFICAS	21
3.3.1	Indicadores de ajuste.....	22
3.4	ELABORAÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS	22
3.5	ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE	23
3.6	ANÁLISE QUÍMICA DAS ACÍCULAS	23
3.7	SELEÇÃO PRELIMINAR DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES ..	24
3.8	MÉTODO DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	25
3.8.1	Análise dos componentes principais	26
3.8.2	Método BACKWARD	28
3.9	AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO.....	28
3.9.1	Acuracidade do modelo de regressão	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	SELEÇÃO DO MODELO PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO	32
4.2	ELABORAÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS	39
4.3	CONFIABILIDADE E ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE	45

4.4	ANÁLISE NUTRICIONAL DOS LOCAIS EM RELAÇÃO AO CRESCIMENTO	47
4.4.1	Níveis de nutrientes nas acículas	51
4.4.2	Processo estatístico para seleção de variáveis ..	52
4.4.3	Variáveis selecionadas por ACP e ajuste de equação de estimativa de alturas	54
4.4.4	Variáveis selecionadas por BACKWARD e ajuste de equação de estimativa de alturas	58
4.4.5	Análise de variância dos modelos ajustados por regressão	59
4.4.6	Acuracidade dos modelos de regressão	60
5	CONCLUSÃO	64
	SUMMARY	66
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	67
	APÊNDICE	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

01	Análise de resíduos do modelo 01	34
02	Análise de resíduos do modelo 02	34
03	Análise de resíduos do modelo 03	35
04	Análise de resíduos do modelo 04	35
05	Análise de resíduos do modelo 05	36
06	Análise de resíduos do modelo 06	36
07	Análise de resíduos do modelo 07	37
08	Conjunto de curvas polimórficas	44
09	Alturas reais por idade plotadas entre os limites das classes de sítio	46
10	Auto-valores dos 7 componentes principais	55
11	Variâncias acumuladas dos 7 componentes principais	55
12	Resíduos padronizados da variável de resposta em relação as alturas estimadas pelo modelo ACP	57
13	Resíduos padronizados da variável de resposta em relação as alturas estimadas pelo modelo BACKWARD	59

14	Relação das alturas observadas e estimadas para os treze locais através do modelo ACP	62
15	Relação das alturas observadas e estimadas para os treze locais através do modelo BACKWARD	62

LISTA DE TABELAS

TABELA

01	Teores médios de nutrientes em acículas para um bom crescimento de <i>Pinus spp</i> e <i>Pinus elliottii</i> ...	15
02	Coeficiente e medidas de precisão para os modelos testado	33
03	Coeficientes e medidas de precisão do modelo testado para cada árvore	40
04	Coeficientes e medidas de precisão para as equações auxiliares	41
05	índice de sítio e respectivas alturas gerados pela função original	42
06	Limites das alturas em metros por idade e classe de sítio	43
07	Correlação e valores de "F" dos nutrientes em relação a altura aos 15 anos	49
08	Relação de variáveis preliminarmente selecionadas	50
09	Matriz de correlação simples entre variáveis	53

10	Auto-valores e variâncias relativas e acumuladas dos componentes principais	54
11	Auto-vetores	56
12	ANOVA do ajuste do modelo de seleção ACP com as variáveis N1, Mg1, Zn1, K2 e Zn2	60
13	ANOVA do ajuste do modelo de seleção BACKWARD com as variáveis Mg1, K2, Zn1 e Cu1	60
14	Valores médios de hdom observados e estimados pelos modelos ajustados para os treze locais na idade 15 anos	61
15	Alturas reais de árvores utilizadas para teste de estabilidade das curvas de índice de Sítio	73
16	Resultados da análise química foliar	74

ÍNDICE DE SÍTIO E RELAÇÃO ENTRE ALTURAS DOMINANTES E TEORES NUTRICIONAIS DAS ACÍCULAS EM POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* var. *elliottii* NO SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE.

Autor: OSMAR MENEGOL

RESUMO

O objetivo do presente trabalho de pesquisa foi de comparar modelos usados para relacionamento entre alturas dominantes e idades, para determinar a melhor equação que represente as curvas de índice de Sítio para plantações de *Pinus elliottii* do Segundo Planalto do Estado do Paraná; relacionar teores de nutrientes das acículas que melhor se correlacionam com o crescimento em altura. Foram coletadas amostras de análise de tronco e acículas de treze locais diferentes, distribuídos em todas as classes de sítio com idades entre 16 e 18 anos. As estatísticas e a análise de resíduos mostraram que o modelo de Prodan foi o melhor entre os testados, para relação entre altura dominante e idade e por isso foi usado para construir Curvas de índice de Sítio. A estabilidade das curvas também foi testada, provando haver confiabilidade no uso das mesmas. Os efeitos dos teores de nutrientes das acículas sob o crescimento em altura foram estudados através de análise de regressão. A variável dependente foi a altura dominante aos 15 anos de idade. As variáveis independentes foram obtidas através de análise de teores de nutrientes das acículas, sendo consideradas apenas as variáveis que apresentaram significância do teste "F" a $P=0,95$ de probabilidade. Estas variáveis foram submetidas a dois métodos de seleção: Análise dos Componentes Principais (ACP) e "BACKWARD". A ACP selecionou as variáveis: teores de nitrogênio, magnésio, cobre, potássio e zinco foliares. O método "BACKWARD" selecionou as seguintes variáveis: teores de magnésio, potássio, zinco e cobre foliares. De acordo com as estatísticas os teores de magnésio e zinco foram os fatores mais limitantes ao crescimento em altura.

1 - INTRODUÇÃO

Um dos problemas enfrentados pela maioria das empresas florestais é a falta de informações fidedignas sobre o potencial do solo em produzir madeira. Estas informações são de elevada importância para a execução de um plano de manejo, o qual é essencial ao bom desenvolvimento de qualquer empreendimento florestal. Estudos de caracterização de sítios florestais permitem avaliações quantitativas do potencial do solo em produzir madeira.

Usualmente define-se um sítio florestal como uma fração do ecossistema florestal total, com características de crescimento semelhantes. A qualidade de sítio florestal é definida como a soma de todos os fatores climáticos, edáficos e biológicos que afetam este crescimento.

Para a pesquisa florestal, o problema restringe-se em integrar todos os fatores do sítio de maneira a estimar a sua qualidade. Esta, de maneira geral, é avaliada através de fatores que apresentam uma estreita correlação com o crescimento.

A caracterização de sítios florestais tem sido obtida principalmente através de medidas diretas de produtividade, em termos de volume/ha ou altura média de árvores dominantes e codominantes. Medidas do diâmetro não tem sido mais usadas, por serem mais

sensíveis à densidade do povoamento. A altura dominante é a variável menos influenciada pela concorrência e intervenções silviculturais na condução de povoamentos. Esta medida de crescimento tem demonstrado uma melhor correlação com as condições ambientais e é mais facilmente obtida que o volume, além de ter maior praticidade na aplicação.

Por outro lado, o conhecimento das relações dos fatores nutricionais com o crescimento da planta é de fundamental importância, pois permite ao manejador utilizar-se deste conhecimento para aumentar a produção florestal de um determinado local através de uma adubação adequada, propiciando melhores condições nutricionais a um determinado tipo florestal.

Com o desenvolvimento da informática e seu uso na área florestal, com tendências futuras de cada vez mais mecanizar atividades rústicas como a exploração, a qual requer um planejamento que justifique economicamente esta atividade, o conhecimento do crescimento e da produção da floresta pode ser obtido com maior rapidez e precisão, sendo de vital importância para estimar o desenvolvimento de um determinado tipo florestal.

O trabalho aqui desenvolvido para *Pinus elliottii* var. *elliottii*, teve os seguintes objetivos:

- Selecionar equações que melhor representassem o crescimento da espécie;
- Construir um conjunto de curvas de índice de sítio polimórficas para região do Segundo Planalto do Estado do Paraná;

- Estudar e utilizar técnicas estatísticas alternativas, como análise dos componentes principais, na seleção de variáveis que exerçam maior influência no crescimento em altura das árvores; e
- Selecionar variáveis nutricionais que possam servir como indicadores no manejo florestal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS

COILE ¹³⁹ define " sitio " como uma área de terras apresentando combinações características de fatores do solo, da topografia, do clima e biológicos. Refere-se a capacidade produtiva desta área como qualidade de sitio e a expressa por um índice de sitio através de uma relação da altura em função da idade.

TOBAR ⁴¹ afirma que, não sendo estática, a qualidade do sitio pode ser modificada, de acordo com os tratamentos silviculturais aplicados em um povoamento florestal.

SPURR ¹⁴⁰ define um sitio florestal através dos fatores climáticos e edáficos. Quanto mais destes fatores forem usados como indicadores da produtividade, melhor será a correlação. Baseado neste conceito, CASTAÑOS ¹⁴⁰ determina a qualidade do sitio correlacionando a altura e fatores climáticos, edáficos, topográficos e biológicos, observando para cada local estudado quais variáveis afetam mais significativamente a produção florestal.

Por outro lado, DE HOOG ¹⁴¹ estudando a relação de sitio, nutrição e crescimento da *Araucaria angustifolia* Bert O. Ktze,

ênfatiza que, a classificação de sítio deve ser menos baseada em tipos de solo e mais em características específicas de sítio.

De acordo com COILE ¹³ a altura das árvores dominantes é a melhor medida direta da produtividade de um solo.

No trabalho de HEIBERG & WRITE ²⁷, a classificação do sítio é feita através de considerações sobre os fatores que agem direta e indiretamente no desenvolvimento dos povoamentos.

2.2 FORMAS DE EXPRESSAR O ÍNDICE DE SÍTIO

BARNES & RALSTON ⁹² mencionaram que na floresta a capacidade de um sítio para produzir madeira é expressa em termos da média das alturas das árvores dominantes produzidas na área em um dado período de tempo.

De acordo com BRUM ⁹³ a qualidade do sítio tem sido analisada através de fatores do ambiente que tenham uma estreita relação com o crescimento, ou então medindo-se diretamente este crescimento como resultado das condições ambientais.

Segundo SOCIETY OF AMERICAN FORESTRY*, citado por ISOLAN ⁹⁴, sítio é a área considerada ao tocante a seus fatores ecológicos com relação à capacidade de produzir bosques ou outra vegetação; a combinação das condições bióticas, climáticas e edáficas de uma área; " índice de sítio " é a expressão da qualidade de sítio ou localidade florestal, baseada na altura dominante a uma idade arbitrariamente escolhida.

* SOCIETY OF AMERICAN FORESTRY - Terminologia forestal trab. para la Dirección Forestal - Caracas, Venezuela, Ministério de Agricultura y Ganadeira, 1950. s.p.

GOLFARI ⁸² ressalta a importância de tomar a altura como índice orientativo, considerando também que seu incremento não é dentro de certos limites, influenciado pela densidade do povoamento. Baseado neste conceito, HAGGLUND ⁸⁶ afirma que, a razão de se usar a altura dominante como indicador da produtividade do sítio, é por ser pouco influenciada pelo fator densidade.

Outros autores (SPURR & BARNES ⁸⁷, COILE ⁸⁸, HAGGLUND ⁸⁶ e CAMPOS & TURNBULL ⁹⁷), também mencionam que a altura total das árvores dominantes é a medida de crescimento mais indicativa da qualidade de sítio por ser menos influenciada pela densidade do povoamento.

2.2.1 Altura dominante

A altura dominante é definida como sendo a média das alturas das 100 árvores mais grossas e bem formadas, por hectare (BURKHART & TENNENT ⁹⁴, SCHNEIDER & SILVA ⁹⁴).

Segundo JONES JR ⁹³, em povoamentos de regeneração natural de *Pinus elliottii*, o efeito da densidade sobre a altura das árvores dominantes possui pouca importância, quando a densidade dos mesmos é inferior a 3000 árvores por ha, e normalmente isto ocorre em povoamentos implantados.

De acordo com CAMPOS & TURNBULL ⁹⁷ a relação entre idade e altura das árvores dominantes ou codominantes é um dos indicadores mais utilizados da capacidade produtiva de um povoamento florestal.

2.2.2 Classe de sítio

Segundo CHAPMAN & MEYER ¹¹ para facilitar o uso de tabelas de produção, os povoamentos florestais são distribuídos em classes de sítio. Estas tabelas devem ser específicas para cada local.

A primeira etapa para construção de modelos de crescimento e produção, consiste na elaboração de curvas de altura/idade correspondente a diversas classes de sítio, em que a altura dominante também é utilizada como índice de sítio (ALDER ¹²).

Segundo SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS ¹³ as classes de sítio são definidas como uma medida da capacidade relativa de produção de uma área de exploração ou povoamento em estudo, baseando-se sobre o volume, ou altura das dominantes, codominantes ou médias, ou o máximo de incremento médio anual (IMA) que é atingido numa determinada idade.

2.3 FATORES QUE AFETAM O CRESCIMENTO EM ALTURA

Para se estudar as relações do ambiente sobre o crescimento de um povoamento florestal, considera-se as características do clima, da topografia e as condições edáficas, além da capacidade fisiológica específica das árvores de extrair nutrientes.

Segundo SPURR ¹⁴, o clima de uma região está relacionado ao crescimento da árvore, uma vez que a copa e o tronco se desenvolvem no espaço aéreo.

SPURR ³⁰ e CASTAÑOS ⁴⁰, apresentaram os fatores topográficos, entre estes a altitude relativa local, como um dos critérios mais utilizados e mais significativos na classificação de sítios.

SPURR ³⁰, e posteriormente SALAS ⁵⁰, mostraram que a profundidade do horizonte do solo onde se desenvolve a maioria das raízes poderia ser limitada pela ocorrência de uma camada de impedimento próximo à superfície, uma vez que os processos químicos, físicos e biológicos que favorecem a nutrição ocorrem, principalmente, nesta região.

GOLFARI ⁶⁰, demonstrou que em situações de elevado excedente hídrico, o *Pinus elliotii* no Brasil, é quase indiferente às condições de profundidade de solo, pois, mesmo em solos pouco profundos, mantém uma boa produção.

COPELAND ⁴⁴ e LINNARTZ ⁴⁴, observando algumas espécies de *Pinus*, entre os quais o *Pinus elliotii*, verificaram que há uma correlação positiva entre o crescimento e a profundidade do horizonte de menor permeabilidade. Solos pouco profundos limitam a aeração, a umidade e a disponibilidade de nutrientes.

2.4 PROCESSO DE ESTIMATIVA

Para determinação de classes de índice de sítio, geralmente, são utilizadas informações de altura e idade. Essas informações podem ser obtidas de levantamentos temporários, parcelas permanentes ou análise de tronco.

Segundo CARMEAN ⁹⁰ a análise de tronco é o método atual mais favorável e usado para o desenvolvimento de curvas para

classes de produtividade. As curvas fundamentadas neste método tem confirmado que o crescimento em altura das árvores dominantes é geralmente polimórfico.

STAGE ¹⁹⁷⁷ trabalhando com *Abies grandis*, construiu curvas polimórficas, com dados obtidos por análise de tronco. Para a construção das curvas utilizou a seguinte função exponencial.

$$H = b_0 * e^{((-b_1/I)^{b_2})}$$

onde:

H = Altura total da árvore em metros

b₀, b₁ e b₂ coeficientes de regressão

I = idade em anos

e = base do logaritmo natural

GRANEY & BURKHART ¹⁹⁷⁸ em estudo realizado com *Pinus echinata*, comparando curvas polimórficas e anamórficas afirmaram que as curvas polimórficas produzem estimativas não tendenciosas para todas as idades e classes de qualidade de sítio. Segundo os autores estas curvas reduzem os erros de estimativa e são preferíveis às anamórficas para povoamentos com idades inferiores a 40 anos. Neste estudo foi selecionado a função não linear de Chapman-Richards, apresentada a seguir:

$$H = b_1 * ((1 - e^{(-b_2 * I)})^{b_3})$$

onde:

H = Altura total da árvore em metros

I = idade em anos

b1, b2 e b3 coeficientes da regressão

e = base do logaritmo natural

SCOLFORD & MACHADO ⁴³ em um estudo realizado com *Pinus elliottii*, nos estados do Paraná e Santa Catarina, testando várias equações, também selecionaram a função não linear de Chapman-Richards, como a de melhor ajuste.

MACHADO ⁴³ e, mais tarde, MARCOLIN ⁴⁴ selecionaram a equação linear de Prodan na construção de curvas de índice de sítio polimórficas para plantações de *Pinus taeda* no estado do Paraná, obtendo bons resultados com o emprego desta função. CAMPOS & TURNBULL ⁴⁷ utilizaram o mesmo modelo para *Pinus patula* na construção de curvas de índice de sítio para a região de Camanducaia em MG. A função é apresentada a seguir:

$$H = (I^{**2}) / (b0 + b1 * I + b2 * I^{**2})$$

onde:

H = Altura total das árvores em metros

I = idade em anos

b0, b1 e b2 coeficientes da regressão

BARNES & RALSTON ⁴⁸ estudando os fatores do sítio relacionados com o crescimento e a produção em *Pinus elliottii*, utilizaram o modelo proposto por Schumacher para estimar a altura, apresentada a seguir:

$$\log H = b0 + b1 (1/I)$$

onde:

$\log H$ = logaritmo da altura média dominante

I = idade em anos

b_0 e b_1 coeficientes da regressão

Segundo MACHADO ^{1º} gerar curvas de índice de sitio anamórficas é equivalente a assumir que diferenças em sítios resultam em diferenças similares na taxa de crescimento em altura para todas as idades.

Já as curvas polimórficas partem do princípio que o crescimento das árvores varia de sitio para sitio. Para construção de tais curvas é necessário a existência de dados provenientes de parcelas permanentes ou da reconstituição do desenvolvimento altura-idade das árvores dominantes através da análise de tronco.

Para a construção de curvas de índice de sitio anamórficas pode-se utilizar dados de altura-idade provenientes de parcelas temporárias, parcelas permanentes ou análise de tronco.

2.5 CONFIABILIDADE DAS CURVAS

KIRBY ^{2º} descreve que a "validade do modelo" usado para derivar a equação escolhida é dependente de uma relação linear entre índice de sitio e a altura das árvores dominantes para todas as idades em questão.

Segundo KING ^{3º}, MACHADO ^{1º}, SCOLFORD & MACHADO ^{4º} a estabilidade das curvas pode ser avaliada comparando-se alturas reais versus curvas de índice de sitio. Se as alturas das árvores

medidas para determinação de sítio, 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.

2.6 ASPECTOS NUTRICIONAIS E FISIOLÓGICOS DA ESPÉCIE

Segundo GALLO ³¹, existe uma relação direta entre o teor de nutrientes no solo e a concentração do mesmo nas folhas e o crescimento da planta.

LEYTON & ARMSON ³⁷ comprovaram que o balanço nutricional de uma conífera, poderia ser julgado pela análise foliar. LEYTON ⁴⁰ afirma existir uma boa correlação entre o crescimento e o peso médio das acículas, sendo esta correlação, um indicativo de vigor.

METZ et alii ⁴⁶ numa determinação de teores de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio em acículas de *Pinus taeda*, concluíram que apenas uma fração da variação destes nutrientes das acículas pode ser considerada na variação de níveis de nutrientes no solo. Segundo os autores, várias taxas de nutrientes podem ser usadas no diagnóstico nutricional.

DOLDAN ⁴⁶, em um estudo realizado com *Pinus taeda*, localizado no segundo Planalto do Estado do Paraná, com idade aproximada de 15 anos, encontrou forte correlação entre o crescimento em altura e os teores de Nitrogênio, Zinco e Cobre foliares, esqueleto e profundidade do horizonte superficial do solo, tendo considerado estas variáveis como as mais limitantes para o crescimento da espécie, na região.

GOODR ²³, estudando a relação entre a qualidade do sítio e o crescimento de *Pinus elliottii* em São Paulo, observou certa correlação entre o crescimento e os níveis de N, Mg, Fe, Cu, Zn e B das acículas, mas apenas o Mg correlacionou-se significativamente com a altura.

REISSMANN et alii. ⁴⁷ analisando o comportamento da *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* aos 15 anos de idade na região da Lapa - PR, onde foi avaliado o crescimento em altura, composição química das acículas, do litter e do solo, não observaram nenhuma relação do crescimento com os teores foliares de macro e micronutrientes.

REISSMANN & ZOTTL ⁵², num estudo realizado no sul do Brasil, encontraram correlações positivas entre o crescimento em altura das árvores de *Pinus taeda* e os teores de K, Ca, Mg e Zn de análises das acículas e do solo.

TRUMAN et alii ⁶² encontraram uma correlação positiva e significativa entre o índice de sítio e o Al foliar de *Pinus radiata*. Segundo os autores o elemento é considerado tóxico para as plantas e estranharam esta correlação.

Segundo WILL ⁶⁴ os sintomas visuais oferecem indicações razoáveis de deficiência de um nutriente. O autor afirma que, em muitos casos, as deficiências incipientes podem não apresentar sintomas, mas restringem o crescimento. A análise foliar tem a vantagem de identificar estas deficiências latentes.

A localização dos sintomas de deficiência de vários elementos parece estar relacionado com sua mobilidade relativa, segundo afirmação de KRAMER & KOZLOWSKI ⁶⁷. Os mesmos autores mencionaram

que os elementos móveis como N,P,K e Mg, manifestam o sintoma de deficiência nas folhas mais velhas, uma vez que, são rapidamente redistribuídas destes tecidos para os mais novos. Os elementos B e Ca apresentam sintomas nos extremos dos caules em crescimento e o Fe, Mn e S nas folhas mais novas, dado que estes elementos não são prontamente redistribuídas dos tecidos velhos para os mais novos.

Um dos meios mais eficazes para se identificar uma deficiência nutricional é feita através de experimentos com fertilizantes a campo, acompanhados de análise foliar combinada com uma avaliação visual do sintoma da deficiência nutricional presente a campo (WILL 44).

Muitos trabalhos publicados mencionam os níveis críticos de nutrientes principalmente para coníferas (WILL 44, GOOR 22, FOWELLS & KRAUSS 17, GOOR 24, BRUM 25, LA TORRACA 22, ZOTTL 45, PRITCHETT & LLEWELLYN 17, REISSMANN 20 e REISSMANN & ZOTTL 24). Na Tabela 01 são apresentados teores médios de alguns nutrientes essenciais, citados por ZOTTL 45, PRITCHETT & LLEWELLYN 17, GOOR 22, BRUM 25 e LA TORRACA 22, analisados em acículas para algumas espécies de *Pinus spp* e para *Pinus elliottii*.

TABELA 01: Teores médios de nutrientes em acículas para um bom crescimento de *Pinus spp* e *Pinus elliottii*.

Elemento	Faixa de bom suprimento <i>Pinus spp</i> (ZOTTL) (adultos)	Teor geral médio para <i>P. elliottii</i> (PRITCHETT & LLEWELLYN) (2 anos)	Teor médios e geral para <i>Pinus elliottii</i> (GOOR) ((10 anos)	Teores máximo e mínimos para <i>Pinus elliottii</i> (BRUN) (8 anos)	Teores médios para <i>Pinus elliottii</i> (LA TORRACA) (24 anos)	Níveis críticos aproximados para <i>P. elliottii</i> (PRITCHETT)
N %	1,5 - 2,2	1,29	1,38	1,29 - 1,55	1,29	1,0 - 1,2
P %	0,13 - 0,20	0,06	0,08	0,12 - 0,17	0,05	0,08 - 0,09
K %	0,60 - 1,20	0,27	0,49	0,50 - 0,83	0,22	0,25 - 0,30
Ca %	0,10 - 0,20	0,18	0,29	0,17 - 0,33	0,11	0,13 - 0,16
Mg %	0,10 - 0,20	0,13	0,09	0,10 - 0,13	0,09	0,04 - 0,08
Fe ppm	45 - 200	74	146	50 - 120	110	15 - 35
Mn ppm	20 - 800	65	524	270 - 1030	644	50 - 100
Cu ppm	4 - 6	5,0	3,9	6 - 15	3,2	2 - 4
Zn ppm	10 - 80	-	30	56 - 79	27	20 - 50

GALLO ²⁴ definiu "nível crítico", como sendo a faixa de um elemento na folha, abaixo da qual se tem grande probabilidade de aumentar a produção através de técnicas de adubação.

Segundo RICHARDS & BEVEGE* citados por PRITCHETT ⁴⁸, "nível crítico" de um elemento é definido como a concentração que é associada com 90% da produção máxima. Mencionaram ainda, a existência de interdependência com níveis de outros nutrientes. Os autores afirmam que, "nível crítico" deve ser considerado como uma variação entre limites da concentração, e não em um ponto bem definido, pois alguns nutrientes podem influenciar na resposta dos outros.

* RICHARDS, B.N. & BEVEGE, D.I. principles and practices of foliar analysis as a basis for crop - logging in pine plantations: 1. Basic considerations. Plant Soil, 36: 109 - 19, 1972.

2.7 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

A análise foliar consiste num dos métodos mais utilizados para avaliação do nível de nutrientes das plantas.

Alguns autores mencionam que a análise foliar tem recebido muita atenção como meio de diagnosticar deficiências de nutrientes e suas interrelações (HOYLE & MADER ³⁰, KRAMER & KOZLOWSKI ³⁷ e MEAD ⁴⁵). Segundo os autores a análise foliar tem vantagem sobre a análise de solo porque a absorção de nutrientes pela planta é medida diretamente. Afirmam ainda, que a época e o método de amostragem assumem grande importância no estudo de análise foliar, porque os níveis de nutrientes nas folhas da árvore variam com a estação, as espécies, as condições do solo, a idade e a localização das folhas na copa.

WHITE ³¹ encontrou níveis de nutrientes mais estáveis, em *Pinus minosa* nos E.U.A., no período de queda das acículas, recomendando a partir deste fato, que a amostragem fosse efetuada em novembro ou após, naquele país.

Segundo JENNY* citado por ULRICH ⁴⁸ a concentração de um dado nutriente (x), pode ser uma função do solo (s), clima (c), tempo (t), planta (p), manejo (m) e outras variáveis, representadas pela forma geral da equação:

$$X = f (S, C, T, P, M, \dots)$$

* JENNY, H. Factor of soil formation. NEW YORK, McGraw Hill, 1941.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS

Os dados para o presente estudo foram coletados em povoa-
mentos de *Pinus eliottii*, situados no Segundo Planalto do Estado
do Paraná e fazem parte de informações parciais do projeto:
"Classificação de Sitio para *Araucaria angustifolia* Bert O. Ktze,
Pinus eliottii Var. *eliottii* e *Pinus taeda* L. no Segundo
Planalto do Estado do Paraná (FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARANÁ ²⁰). A coleta dos dados foi realizada em povoaamentos com
idades entre 16 a 18 anos.

As três regiões de coletas de dados foram:

- a) Fazenda Monte Alegre de propriedade da Klabin Papel e Celulose
S/A., no município de Telêmaco Borba - Pr.
- b) Fazenda Água Quente de propriedade de Serraria Irmãos Gomes, no
município de Irati - Pr.
- c) Floresta Nacional de Três Barras, no município de Três Barras-SC.

3.2 AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DOS DADOS

A amostragem obedeceu critérios previamente fixados, conforme metodologia adotada pelo projeto: "Classificação de Sítios para *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda* L. no Segundo Planalto do Estado do Paraná (FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ ¹⁹⁸⁰), abrangendo toda a amplitude de crescimento em altura dos locais escolhidos, através de uma avaliação visual da floresta. Assim foram definidos os pontos amostrais para a coleta de dados. Em cada ponto foram instaladas parcelas temporárias de 600 m², em que foram medidos os diâmetros de todas as árvores, altura de 30 delas e marcadas as árvores dominantes. Através da análise de tronco de duas árvores de cada ponto amostral foram obtidos os pares de valor de altura e idade necessários para a definição das curvas de índice de sítio.

3.2.1 Amostragem de acículas

As acículas foram coletadas do primeiro e segundo lançamento, que correspondem ao crescimento da primavera e verão respectivamente, (DOLDÁN ¹⁹⁸⁴) do segundo verticilo superior com exposição norte (ZOTTL et alii ¹⁹⁸⁴), num total de cinco árvores por parcela, perfazendo uma amostra por local. As amostras foram coletadas das árvores dominantes e codominantes de cada parcela. As coletas se realizaram no mês de agosto/85.

3.2.2 Escolha e derrubada das árvores para a análise de tronco.

Seguiu-se a metodologia estabelecida pelo projeto da FUND. DA UFPR ¹⁰ que definiu como critério a derrubada de duas árvores dominantes por amostra, o mais próximo possível ao centro da parcela. As árvores escolhidas foram abatidas e seccionadas transversalmente ao longo do fuste, após marcação prévia dos locais de retirada dos discos. As fatias foram cortadas com espessura aproximada de 5cm e retiradas a 0,0m, 0,3, 0,7, 1,3, 2,0, 4,0, ... e a cada dois metros, até atingir o final do fuste. Não foram retiradas fatias sobre nós ou defeitos do fuste, efetuando-se um avanço de 20cm, nestes casos. Procedimento idêntico foi adotado por MACHADO ¹¹, CAMPOS & TURNBULL ¹² E MARCOLIM ¹³.

3.2.3. Preparo de fatias e medição dos anéis de crescimento.

Logo após a coleta e identificação das fatias, estas foram secas em estufa e lixadas na face superior, ficando, desta forma, em condições adequadas para efetuar as medições dos anéis de crescimento de cada disco. A medição dos anéis de crescimento foi realizada de acordo com a metodologia apresentada por BARRUSO ¹⁴.

Para a medição, assinalou-se o maior raio de cada fatia, após no sentido horário a 45^o marcou-se o primeiro raio de medição, em seguida a 90 graus em relação ao primeiro marcou-se o segundo raio e assim sucessivamente para o 3^o e 4^o raios. Após assinaladas as 4 direções efetuou-se a medição de todos os anéis de crescimento de cada fatia.

Cada disco medido forneceu 4 valores de anel de crescimento, onde foram calculadas as médias aritméticas para reconstituição de cada período de crescimento da árvore.

3.2.4. Escolha da idade índice e intervalo de classe

A idade índice é um ponto de referência para a determinação da qualidade de sítio para diferentes tipos florestais em idades distintas. STRAND ^{4º} recomendou utilizar-se uma idade o mais próximo do final da rotação. A idade índice, para o presente estudo, foi de 15 anos, pois a coleta do material nos povoamentos estudados apresentaram idades máximas de 18 anos. Como os povoamentos não se encontraram próximos do final da rotação, os dados podem ser aproveitados para elaboração de curvas provisórias e à medida que for se aproximando a idade de rotação novas curvas deverão ser obtidas.

A amplitude das classes de índice de sítio foi definida através de representação gráfica da ocorrência dos dados na idade de 15 anos. Sua largura foi definida de maneira a tornar prática sua utilização sem perda de precisão e confiabilidade. Adicionou-se ao intervalo valores nas extremidades para facilitar o número inteiro para as classes.

O número das classes está diretamente relacionado com o intervalo pretendido destas, e a amplitude dos valores observados na idade escolhida. Foram estabelecidas cinco classes de sítio com larguras de 2m na idade índice, ficando assim representado:

Classe I	23,01	-	25,00
Classe II	21,01	-	23,00
Classe III	19,01	-	21,00
Classe IV	17,01	-	19,00
Classe V	15,00	-	17,00

3.3 SELEÇÃO DE MODELOS PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS DE ÍNDICE DE SÍTIO.

No ajuste das curvas altura-idade foram testadas várias equações que expressam crescimentos. Esses modelos também foram testados por SCOLFERO & MACHADO ¹⁹⁸⁴ para *Pinus elliottii* e são apresentados a seguir:

$$1 - \ln h_{dom} = b_0 + b_1 (1/I)$$

$$2 - h_{dom} = b_0 + b_1 \ln (I)$$

$$3 - \ln h_{dom} = b_0 + b_1 (1/I) + b_2 (1/I^2)$$

$$4 - \ln h_{dom} = b_0 + b_1 (1/I) + b_2 (1/I^2) + b_3 (1/I^3)$$

$$5 - h_{dom} = I^2 / (b_0 + b_1(I) + b_2 (I^2))$$

$$6 - h_{dom} = b_0 (1 - \exp(+b_1(I)))$$

$$7 - h_{dom} = b_0 (1 - \exp(+b_1(I)))^{b_2}$$

sendo que $b_2 = 1/(1-m)$

onde:

hdom = altura das árvores dominantes

I = idade

I2 = I**2

I3 = I**3

exp = exponencial

ln = logarítimo natural

b_{1,m} = coeficientes de regressão

Os cinco primeiros modelos foram ajustados por meio de regressão linear simples ou múltipla, enquanto os dois últimos por meio de regressão não linear utilizando o procedimento proposto por Marquardt (DRAPER & SMITH ⁴⁷).

3.3.1 Indicadores de ajuste

Os critérios de escolha do modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados amostrados foram o coeficiente de determinação (R²), o erro padrão de estimativa (EPE), e principalmente a análise gráfica dos resíduos, distribuídos em relação à idade.

3.4 ELABORAÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS

Estas curvas foram utilizadas com bastante sucesso e mostraram-se sem tendenciosidade conforme descrito por KING ³³ MACHADO ⁴³ ⁴² e MARCOLIN ⁴⁴.

Para se construir curvas de sítio polimórficas, conforme descrito por CLUTTER et alii ⁴⁵ o processo requer dados básicos de

parcelas remedidas ou análise de tronco. Tendo-se disponível estes dados, o passo seguinte foi ajustar a função matemática para cada árvore ou parcela.

3.5 ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE

A estabilidade das curvas de índice de sitio é de fundamental importância para o seu uso com precisão em povoamentos florestais conforme afirmado por KING ³³, MACHADO ⁴², SCOLFORD & MACHADO ³⁵. Seguindo o procedimento destes autores, para testar a estabilidade das curvas foi efetuada a reconstituição do crescimento em altura de 5 árvores dominantes, por meio de análise de tronco. Foram escolhidas uma árvore para cada classe, na idade índice. Nestas árvores também foi feito acompanhamento do crescimento para verificar se, ao longo do tempo, ocorreu mudança de classe.

3.6 ANÁLISE QUÍMICA DAS ACÍCULAS

As acículas foram secas em estufa a 70 °C até peso constante sendo em seguida trituradas a pó. Seguiu-se a metodologia proposta por HILDEBRAND ³⁴ e utilizada por DOLDÁN ⁴⁶ para as análises e obtenção de teores N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn.

As análises do primeiro e do segundo lançamento foram feitas separadamente, com a finalidade de verificar com qual dos segmentos estacionais os dados obtidos melhor se correlacionam com o crescimento em altura das árvores.

A quantificação dos elementos acima, seguiu as seguintes metodologias:

Nitrogênio: Pelo método de Kjeldahl e destilação em aparelho Buchi.

Fósforo: Pelo método colorimétrico, com vanadato-molibdato de amônia - cor amarela e leitura em espectrofotômetro UV/VIS - 554 P.E.

Potássio: Através da emissão de chama em espectrofotômetro de absorção atômica - 2380 P.E.

Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês, Cobre e Zinco - por espectrofotometria de absorção atômica - 2380 P.E.

Obs.: Com excessão do N, a digestão para determinar os teores dos demais elementos foi o processo via seca a 550 °C com posterior solubilização em HCl 10% (FINK ¹⁶).

As análises para obtenção dos teores de nutrientes das acículas foram realizadas pelo laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

3.7 SELEÇÃO PRELIMINAR DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Usou-se como metodologia preliminar de descarte de variáveis, as regressões lineares simples entre as variáveis consideradas de importância com os valores da altura total (variável de resposta) aos 15 anos de idade (DOLDÁN ¹⁶), determinando-se também o coeficiente de correlação entre as duas variáveis. Assim, permaneceram para serem submetidas a outros métodos de seleção,

todas aquelas variáveis cujo valor de "F" da regressão apresentou significância ao nível $P = 0,95$ de probabilidade.

3.8 MÉTODOS DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

Dentre os métodos mais utilizados de seleção de variáveis em análise de regressão múltipla estão incluídas; BACKWARD, STEPWISE e variáveis técnicas combinadas. Inclui-se também uma técnica de análise multivariada, conhecida como análise dos componentes principais - ACP (CARMEAN ²⁷, DRAPER & SMITH ¹⁷, ISEBRANDS & CROW ³¹). Segundo os autores a maioria destes métodos não dão resultados satisfatórios quando a correlação entre variáveis independentes é alta, porque quanto maior a correlação tanto menos ortogonais são os dados. Os métodos de seleção comumente utilizados, como o "Backward" e "Stepwise", ajudam a encontrar uma equação aceitável, mas não necessariamente a melhor.

COX* , citado por ISEBRANDS e CROW ³¹, propôs a técnica da análise dos componentes principais, cuja metodologia permite sugerir as variáveis independentes que tem menos correlação entre elas e que ao mesmo tempo absorvem a maior parte de variação total dos dados.

A análise dos componentes principais pode ser usada para condensar o número de variáveis totais em um número reduzido de variáveis linearmente independentes, como também relacionar

* COX, D.R. Notes on some aspects of regression analysis. J. Roy. Stat. Soc. Serv. A 131 (Pt.3): 265- 279. 1968.

fatores que operam para reduzir as medidas das variáveis sob teste (HOLLAND ³³, KENDALL ³⁴ e ISEBRANDS & CROW ³¹).

3.8.1 Análise dos componentes principais

ISEBRANDS & CROW ³¹, definem os componentes principais como as combinações lineares das variáveis originais (X_i), que tem como rotação E_i , para $i = 1$ até p , onde p é o número de variáveis aleatórias consideradas independentes no estudo da regressão.

$$E_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ip}x_p$$

O vetor formado pelos coeficientes a_{ij} , onde o subíndice indica o número do vetor latente e o subíndice j o número de variáveis x_i , é chamado "eigenvector" ou vetor latente e designado λ . Cada vetor latente tem uma variância associada com ele denominada "eigenvalue" ou auto-valor e sua rotação é T_i , onde $i = 1$ até p (ISEBRANDS & CROW ³¹).

Segundo os autores, os dados observados são pontos dispersos em p dimensões. A análise dos componentes principais é uma rotação de eixos tal que a variância total das projeções dos pontos sobre o primeiro dos eixos é máxima (Ex. primeiro componente principal). O segundo eixo (segundo componente principal) é escolhido ortogonalmente ao primeiro e tem o máximo possível de variância remanescente. Cada eixo a mais é ortogonal e tem o máximo possível de variância remanescente.

A soma das variâncias de cada componente principal é igual a soma das variâncias de cada uma das variáveis independentes.

$$I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_p = T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 \dots + T_p^2$$

A somatória de I_1 é a variância total das variáveis independentes ou seja a somatória da diagonal principal de uma matriz de correlações.

$$I_1 / \text{Soma de } I_1 \times 100$$

é a porcentagem da variância total explicada pelo componente principal i .

Para a análise dos componentes principais é possível trabalhar com a matriz covariância ou a matriz correlação. Devido às unidades de medida das variáveis serem diferentes, utilizou-se na análise a matriz correlação para a seleção das variáveis, pois é necessário a normalização dos dados. Os auto-valores associados com um auto-vetor de uma matriz de correlação é a variância padronizada (ISEBRANDS & CROW ¹⁴).

Para o cálculo dos vetores e seus auto-valores utilizou-se o pacote estatístico SAEG (Sistema de Análise Estatística), desenvolvido pela FUNARBE - FUNDAÇÃO ARTUR BERNARDES. Uma vez calculados os vetores e seus auto-valores, eles foram interpretados segundo a metodologia proposta por ISEBRANDS & CROW ¹⁴.

Em primeiro lugar, calculou-se a porcentagem acumulada de variância total para os vetores latentes e depois escolheu-se os primeiros vetores que explicaram acima de 95% da variância total das variáveis independentes.

Em seguida, escolheu-se dentro de cada vetor a variável mais importante: Aquela com maior módulo do coeficiente a_{ij} .

Quando o maior módulo do a_{ij} correspondeu a uma variável escolhida em um vetor anterior, procurou-se o seguinte maior a_{ij} .

Após a pre-seleção de variáveis ajustou-se a equação para a estimativa dos parâmetros correspondentes.

3.8.2 Método BACKWARD

Este método se caracteriza por retirar em passos uma a uma as variáveis cujos coeficientes de regressão sejam estatisticamente iguais a zero a um nível de significância requerido.

Dentro de um passo o sistema escolhe o coeficiente de regressão que apresentou menor valor no teste "t". Se o mesmo não for significativo a variável será retirada do modelo e uma nova regressão será processada.

O procedimento da regressão é interrompido quando o menor valor de "t" para os coeficientes da regressão for significativo ao nível estabelecido ou quando resta uma única variável (DRAPER & SMITH 17).

3.9. AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO

O ajuste da regressão para estimar alturas foi feito pelo método dos mínimos quadrados, como segue:

$$Y_i = B_0 + B_1x_{i1} + B_2x_{i2} + \dots + B_{p-1}x_{i,p-1} + e_i$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$, que colocado na forma matricial resulta

$$\tilde{Y} = \tilde{X} \tilde{B} + \tilde{e}$$

onde:

\tilde{Y} é o vetor das respostas (alturas das árvores).

$$\tilde{Y}' = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n);$$

x é a matriz do modelo, de ordem $n \times p$

$$x = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p-1} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p-1} \\ 1 & x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np-1} \end{pmatrix}$$

que agrupa a $p-1$ variáveis independentes do modelo; \tilde{B} é o vetor de parâmetros, de dimensão p ,

$$\tilde{B}' = (B_0, B_1, \dots, B_p);$$

e \tilde{e} é o vetor de erros, de dimensão n ,

$$\tilde{e}' = (e_1, e_2, \dots, e_n)$$

No modelo tem-se que \tilde{e} é conhecido também como termo de perturbação estocástica, daí é uma variável aleatória. Por outro lado, dado que \tilde{Y} é função de \tilde{e} , tem-se que \tilde{Y} é também uma variável aleatória. Para se estimar os parâmetros do modelo usou-se o método dos mínimos quadrados ordinário, pois é natural supor que e_i tem a mesma variância T^2 , V_i , e conseqüentemente.

$$\text{COV}(\tilde{e}) = E(\tilde{e}\tilde{e}') = T^2 \text{In},$$

dado que e_i é i -dependente de e_j para j diferente de i .

Por este método o estimador não viciado do vetor \tilde{B} é

$$\tilde{B} = (x'x)^{-1} x'\tilde{Y},$$

que constitui o melhor estimador linear de \tilde{B} , de acordo com o teorema de GAUSS-MARKOV.

Os parâmetros desta estatística são:

$$E(\hat{B}) = B$$

$$V(\hat{B}) = T^{-1} (x'x)^{-1}$$

Sendo que a variância pode ser estimada por

$$V(\hat{B}) = S^2 (x'x)^{-1}, \text{ onde}$$

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

onde:

SM = Somatório

$\hat{y}_i = x_i B$ e $y_i - \hat{y}_i$ é conhecido como resíduo.

3.9.1. Acuracidade do modelo da regressão

Para verificar os índices de ajuste dos modelos aos dados, foram calculados os valores dos coeficientes de determinação (R^2), valores de "F" da regressão múltipla, S_{xy} , $S_{xy}\%$.

A tendenciosidade dos ajustes dos modelos foi verificada através da análise gráfica dos resíduos padronizados (RP).

Assim:

$$R^2 = \frac{SQ. \text{ Reg}}{SQ. \text{ total}}$$

$$F = \frac{QM. \text{ Reg}}{QM. \text{ erro}}$$

$$S_{xy} = \text{Raiz quadrada (QM. erro)}$$

$$S_{xy}\% = \frac{S_{xy}}{\bar{y}} \times 100$$

$$RP = \frac{y - \hat{y}}{S_{xy}}$$

Onde:

SQ. Reg = Soma de quadrados devido à regressão;

SQ. total = Soma de quadrados total;

QM erro = quadrado médio do erro;

Sxy = erro padrão de estimativa absoluta;

Sxy% = erro padrão da estimativa relativa ou coeficiente de variação;

\bar{y} = Valor médio observado da variável dependente;

y = Variável de resposta observada;

\hat{y} = Variável de resposta estimada;

RP= Resíduos padronizados.

- Análise dos resíduos

Fez-se a plotagem gráfica dos resíduos individuais padronizados (RP), com os valores das alturas estimadas correspondentes através dos dois modelos ajustados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem foi efetuada em 13 locais de estudo. Em todas essas unidades de amostras foram coletados dados. Para a análise de tronco, foram derrubadas duas árvores dominantes por parcela, e as amostras de acículas foram coletadas do primeiro e segundo lançamentos de cinco árvores para cada local, constituindo uma amostra composta para análise química.

4.1 SELEÇÃO DO MODELO PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

Na Tabela 02 são apresentados os coeficientes dos modelos testados, assim como as medidas de precisão utilizadas para a seleção do melhor deles.

O coeficiente de determinação R^2 foi corrigido para que possa haver base de comparação entre todos os modelos. O erro padrão de estimativa (EPE), que para os modelos logaritmizados são obtidos em $\ln m$, foram transformados para metros (m). Os valores de "t" foram significativos para todos os modelos, ao nível de 5% de probabilidade. O valor de R^2 , que expressa o quanto das variações da variável dependente é explicada pelas independentes,

e do EPE que expressa o quanto os valores observados variam em torno dos estimados, para todos os modelos, apresentaram valores relativamente próximos, com superioridade para o modelo 5.

TABELA 02: Coeficientes e medidas de precisão para os modelos testados.

MODELO	COEFICIENTES				R2(%)	EPE(m)
	b0	b1	b2	b3		
1	3,26523	-5,377080			92,48	1,19
2	-6,68878	9,636550			92,20	1,73
3	3,51331	-8,490310	6,0997400		94,59	1,16
4	3,67062	-11,460600	20,1539000	-17,6921	94,73	1,26
5	1,12806	0,315710	0,0242241		95,22	0,85
6	43,00000	0,041772			94,16	1,23
7	29,72470	0,092258	1,3553490		94,52	1,19

Pela visualização dos resíduos distribuídos em função da variável de interesse hdom (altura dominante), o modelo 5 apresentou melhor distribuição.

No presente trabalho verificou-se a distribuição dos resíduos em relação a idade, através das Figuras 1 a 7 para os sete modelos testados.

É prática comum no meio florestal escolher o melhor modelo de regressão observando as medidas de precisão, no caso R2 e EPE. Este procedimento em determinadas situações, pode levar a resultados absolutamente incorretos, pela falta de visualização da distribuição dos resíduos. Pela análise gráfica dos resíduos verificou-se claramente a existência ou não de tendenciosidade (SCOLFERO & MACHADO ¹⁹⁸⁸).

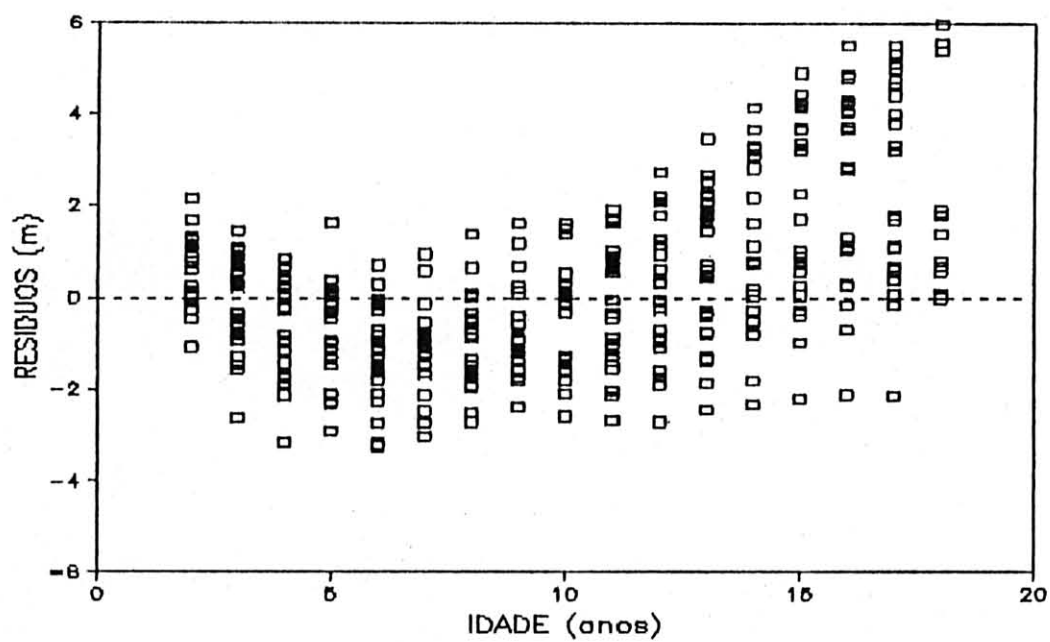


FIGURA 01: Distribuição de resíduos do modelo 01.

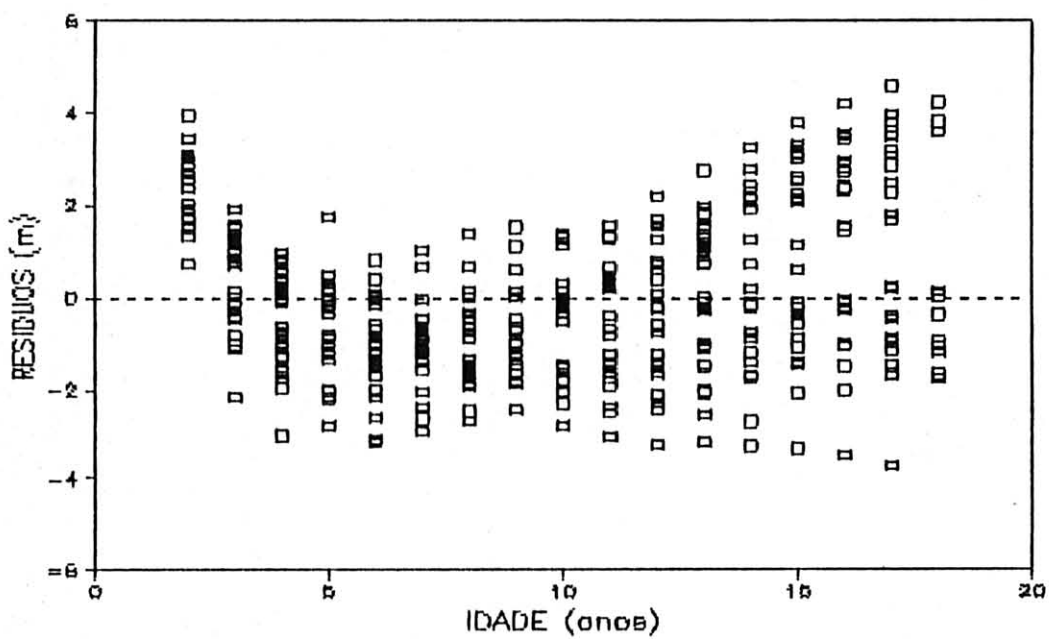


FIGURA 02: Distribuição de resíduos do modelo 02.

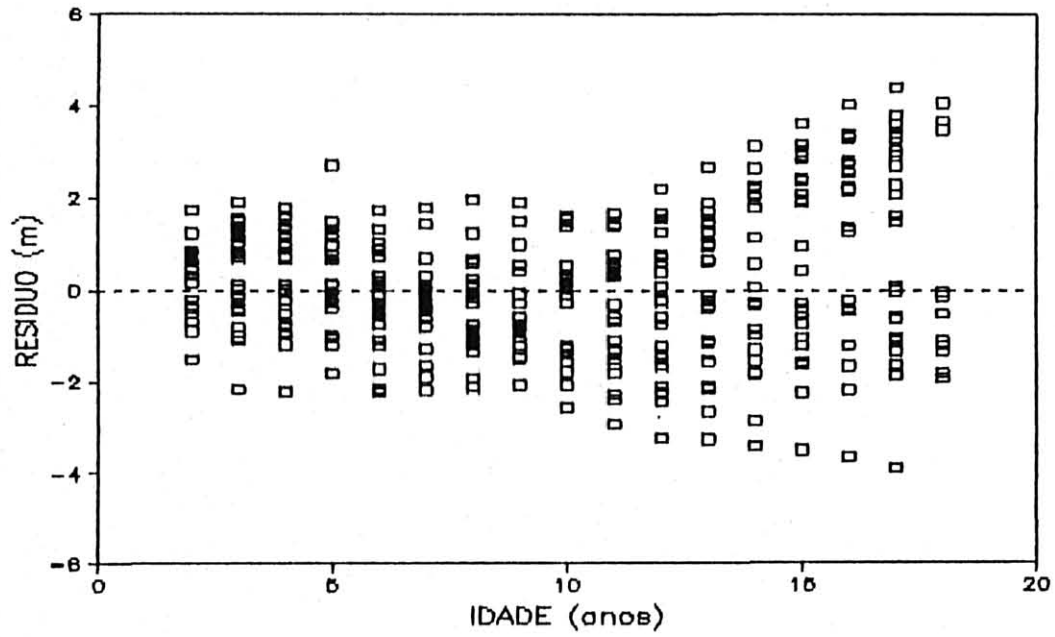


FIGURA 03: Distribuição de resíduos do modelo 03.

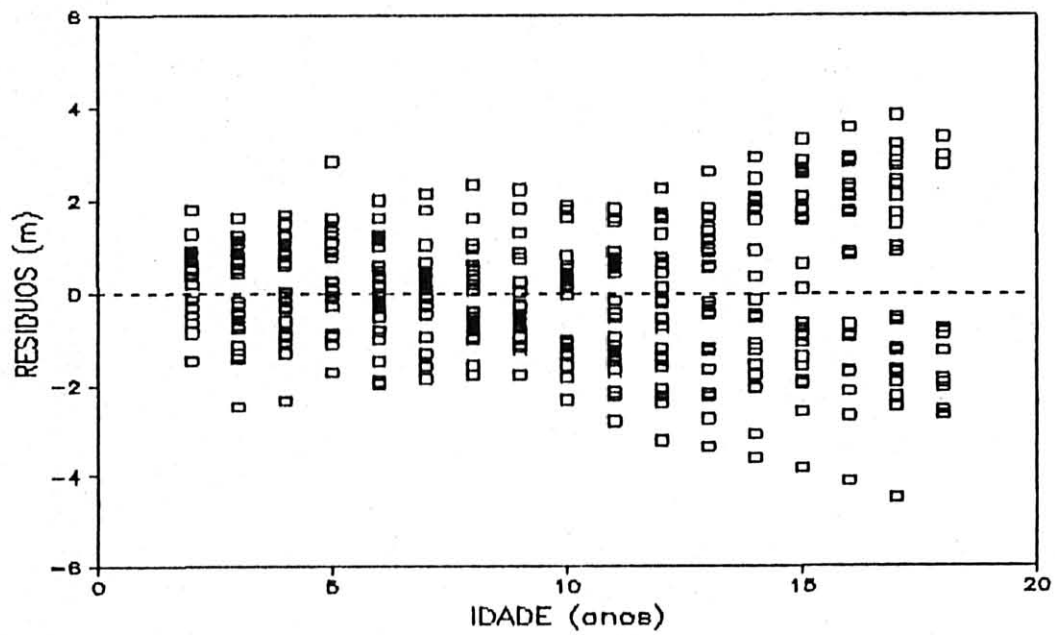


FIGURA 04: Distribuição de resíduos do modelo 04.

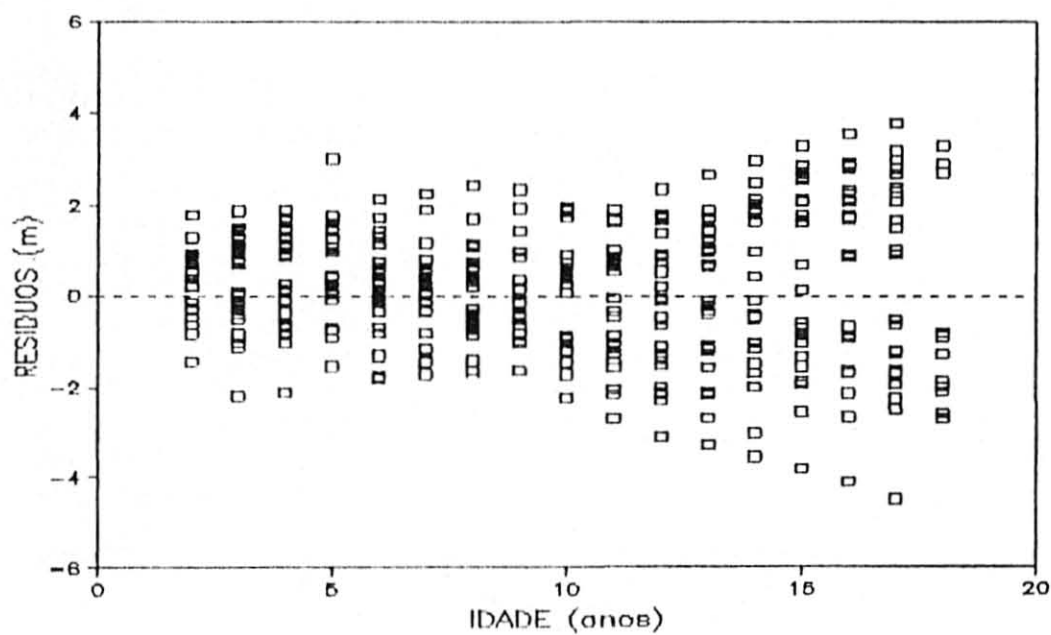


FIGURA 05: Distribuição de resíduos do modelo 05.

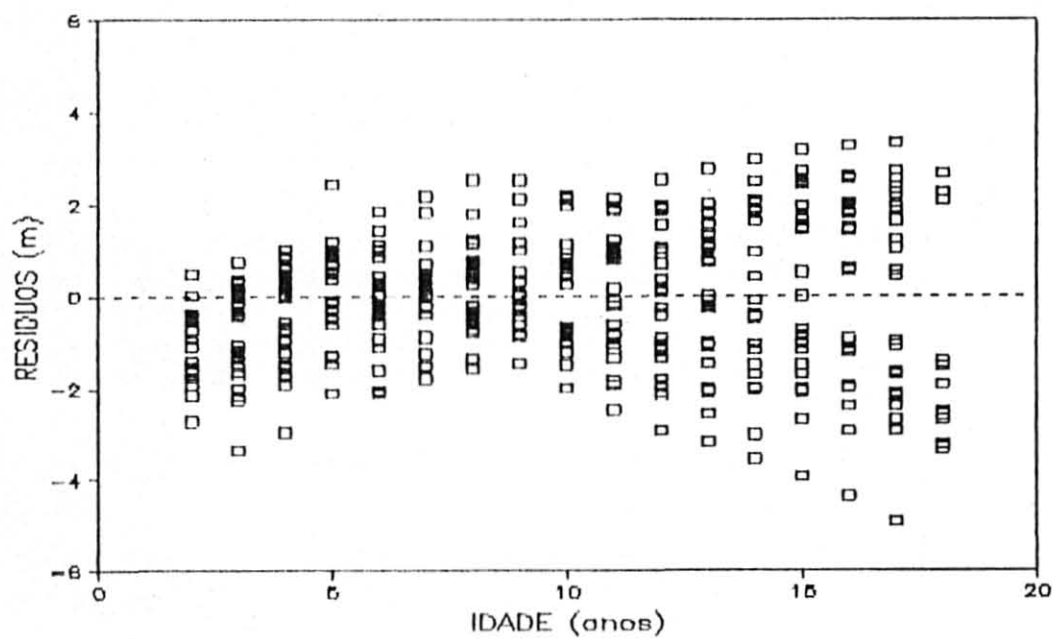


FIGURA 06: Distribuição de resíduos do modelo 06.

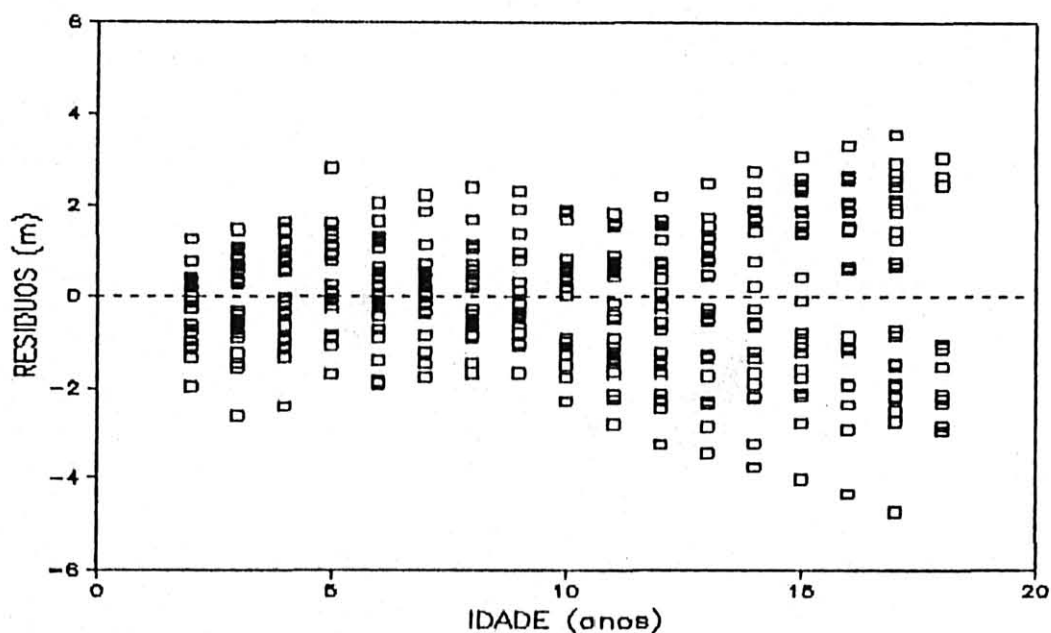


FIGURA 07: Distribuição de resíduos do modelo 07.

No presente trabalho, observando apenas os valores de R^2 e EPE como mostra a Tabela 02, qualquer um dos modelos poderia ser utilizado, pois todos eles apresentaram valores relativamente altos para fins de índice de sítio, conforme pode ser observado na literatura florestal. No entanto observando-se a distribuição dos resíduos em relação a altura (Figuras 1 e 2), verificou-se que os modelos 1 e 2 apresentaram uma grande tendenciosidade e não poderiam ser utilizados. Observa-se nestes casos a existência de uma superestimativa dos valores das alturas das menores idades, uma subestimativa nas idades intermediárias e uma superestimativa nas maiores idades.

Assim para a escolha do modelo que melhor se ajusta ao conjunto de dados, além da observação de R^2 e EPE, efetuou-se também uma avaliação da distribuição dos resíduos.

As Figuras 5 e 7 são as que apresentam melhores distribuições de resíduos ao longo do tempo.

Analisando-se o R^2 , o EPE e a distribuição dos resíduos, selecionou-se o modelo 5. Neste modelo a soma dos desvios em relação a curva ajustada ficou mais próximo de zero do que os demais modelos, o que também contribuiu para a decisão de sua escolha. Assim o modelo escolhido para expressar as curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* do Segundo Planalto do Estado do Paraná foi o modelo 5, discordando com o modelo escolhido por SCOLFERO & MACHADO ¹⁹⁸³ para todo o estado, que foi o modelo de Chapman-Richards. Este modelo também poderia ser utilizado pois apresentou ajustes bem próximos ao modelo escolhido.

O modelo selecionado foi:

$$H_{don} = I^{**2}/(1,12806+0,315710*I+0,0242241*I^{**2})$$

$$R^2 = 95,22$$

$$EPE = 0,85$$

Onde o valor 1,12806 corresponde ao intersepto que é expresso pela curva média para as alturas dominantes das árvores de *Pinus elliottii*. O valor 0,315710 correspondente ao coeficiente b_1 que expressa a taxa de crescimento que define a inclinação média da curva de crescimento e o valor 0,024224 corresponde ao coeficiente b_2 que expressa a localização do ponto de inflexão na curva de crescimento e determina a forma da curva.

4.2 ELABORAÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS

Para construir curvas de sítio polimórficas, conforme descrito por CLUTTER et alii ¹⁹⁸², o processo requer dados básicos de ajuste de função matemática para cada árvore. Efetuados estes ajustes é necessário ajustar as equações auxiliares a seguir:

$$a = a_1 + a_2 * z$$

$$b = b_1 + b_2 * z$$

$$c = c_1 + c_2 * z$$

onde:

a, b e c são as variáveis dependentes das equações auxiliares para a estimativa das alturas e a₁, a₂, b₁, b₂, c₁ e c₂ coeficientes das equações auxiliares.

$$Z = I ** 2 / IS.$$

sendo:

Z = variável transformada

I = idade

IS= índice de sítio

A altura para cada classe e idade é obtida pela substituição das equações auxiliares na função original, resultando:

$$H = (I**2)/((a_1+a_2*z)+(b_1+b_2*z)*I+(c_1+c_2*z)*I**2)$$

Após a escolha do modelo ajustou-se a função matemática para cada árvore e os resultados são apresentados na Tabela 03.

TABELA 03: Coeficientes e medidas de precisão do modelo testado para cada árvore.

ÁRV	ALTURA	Z-15	B0	B1	B2	R2	EPE	F
1	18,2	12,36	1,35469	0,261324	0,0310727	0,996	0,261	2114
2	19,3	11,65	1,58135	0,242336	0,0286124	0,998	0,184	3617
3	16,1	13,97	1,36580	0,438905	0,0404999	0,998	0,192	4247
4	17,9	12,56	1,34981	0,280758	0,0314571	0,998	0,203	3687
5	18,0	12,50	0,91582	0,471316	0,0204789	0,999	0,121	9514
6	18,0	12,50	1,14617	0,257653	0,0313258	0,998	0,158	5804
7	17,3	13,00	0,99175	0,377793	0,0280234	0,997	0,264	2297
8	18,5	12,16	1,53716	0,299855	0,0340484	0,996	0,278	1882
9	18,8	11,90	1,33370	0,302664	0,0271255	0,998	0,189	3671
10	19,2	11,71	1,16448	0,174497	0,0325396	0,995	0,283	1592
11	22,6	9,95	1,82450	0,150496	0,0259144	0,992	0,315	842
12	22,0	10,22	1,86245	0,163257	0,0254222	0,995	0,238	1479
13	22,5	10,00	1,34810	0,250268	0,0162752	0,996	0,217	1733
14	21,5	10,46	1,43632	0,289865	0,0215215	0,995	0,243	1244
15	19,0	11,84	1,23261	0,375794	0,0226052	0,999	0,127	6003
16	20,5	10,97	1,43002	0,313969	0,0215289	0,997	0,169	2747
17	21,5	10,46	1,45451	0,282926	0,0209756	0,994	0,256	1062
18	21,7	10,36	1,54701	0,281058	0,0212152	0,996	0,190	1946
19	20,0	11,25	1,16301	0,283472	0,0302437	0,997	0,158	2980
20	23,2	9,69	1,67929	0,165834	0,0180490	0,996	0,167	1888
21	22,0	10,22	1,49532	0,307503	0,0186478	0,997	0,166	2372
22	22,0	10,22	1,46233	0,316967	0,0182406	0,997	0,154	2768
23	22,7	9,91	1,88690	0,153744	0,0258847	0,993	0,262	936
24	22,0	10,22	1,29929	0,374680	0,0145238	0,997	0,163	2335
25	22,0	10,22	1,29406	0,437222	0,0116728	0,994	0,247	1029
26	22,5	10,00	1,36086	0,386763	0,0132128	0,997	0,150	2057

sendo:

Z₁₅ = Variável transformada a idade de 15 anos

B0, B1 e B2 = Coeficientes da função

R2 = Coeficiente de determinação

EPE = Erro padrão de estimativa

F = Valor do teste "F"

De posse dos coeficientes de cada árvore procedeu-se o ajuste das equações auxiliares. Os resultados são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04: Coeficientes e medidas de precisão para as equações auxiliares

EQUAÇÃO	B0	B1	R2	EPE	F
a	2,704780	-0,1204050	0,3268	0,2010	11,65
b	-0,085644	0,0352073	0,1232	0,0869	3,37
c	-0,006717	0,0026557	0,5738	0,0047	32,32

sendo:

B0 e B1 coeficientes do modelo

R2 = coeficiente de determinação ajustado

EPE = erro padrão de estimativa

F = valor para o teste " F "

Na análise da Tabela 04 pode-se verificar que as funções lineares apresentam um coeficiente de determinação baixo, sendo que todos os valores de "F" foram significativos, ao nível de 95% de probabilidade.

Estas equações auxiliares foram substituídas na função original para gerar as alturas para as classes de índice de sítio seguindo-se metodologia utilizada por MARCOLIN ⁴⁴. Os resultados obtidos na idade índice apresentaram uma pequena tendenciosidade, pois os valores das alturas fornecidos pela equação original resultaram em valores sensivelmente acima de cada valor esperado. Para as estimativas serem exatas as alturas geradas na idade índice devem ser iguais ao índice de sítio, e por isso diz-se que a altura na idade índice é o próprio índice de sítio.

Na Tabela 05 são apresentados os índices de sítio e as alturas geradas pela função original.

TABELA 05: índices de sítio e respectivas alturas geradas pela função original.

ÍNDICE DE SÍTIO (metros)	IDADE (anos)	ALTURAS GERADAS (metros)	DIFERENÇA (%)
15	15	15,01	0,07
17	15	17,03	0,18
19	15	19,05	0,26
21	15	21,07	0,33
23	15	23,09	0,39
25	15	25,12	0,48

Embora as estimativas apresentem uma pequena tendenciosidade, pode-se afirmar que a função estima com boa precisão as alturas, uma vez que, as superestimativas máximas observadas foram inferiores a 1%, onde esta tendência poderia ser resultante da transformação da equação original. Tais tendenciosidades foram constatadas também por MARCOLIM ¹⁴, encontrando pequenas subestimativas de índice de sítio para *Pinus taeda*. Para corrigir os desvios na estimativa das alturas foi ajustada uma função matemática. A função destina-se a corrigir as alturas estimadas em função do índice de sítio e é apresentada a seguir.

$$I_{Sc} = 0,151014 + 0,989398 * I_S$$

Sendo:

I_{Sc} = índice de sítio corrigido

I_S = índice de sítio

Para o ajuste da função foram utilizadas 30 observações, obtendo-se como indicadores de ajuste R^2 de 0,9999 e EPE 0,0004. Após corrigir as alturas para cada curva de sítio, elaborou-se o conjunto de curvas de sítio polimórficas apresentados na Tabela 06.

TABELA 06: Limite das alturas em metros por idade e classes de sítio.

IDADE EM ANOS	CLASSES DE QUALIDADE				
	V	IV	III	II	I
4	5.1 - 5.3	5.3 - 5.4	5.4 - 5.6	5.6 - 5.7	5.7 - 5.8
5	6.4 - 6.8	6.8 - 7.1	7.1 - 7.4	7.4 - 7.6	7.6 - 7.9
6	7.7 - 8.2	8.2 - 8.7	8.7 - 9.2	9.2 - 9.6	9.6 - 10.0
7	8.8 - 9.5	9.5 - 10.2	10.2 - 10.9	10.9 - 11.5	11.5 - 12.0
8	9.8 - 10.8	10.8 - 11.6	11.6 - 12.5	12.5 - 13.3	13.3 - 14.0
9	10.7 - 11.9	11.9 - 12.9	12.9 - 14.0	14.0 - 14.9	14.9 - 15.9
10	11.6 - 12.9	12.9 - 14.2	14.2 - 15.4	15.4 - 16.5	16.5 - 17.7
11	12.4 - 13.9	13.9 - 15.3	15.3 - 16.7	16.7 - 18.0	18.0 - 19.3
12	13.1 - 14.7	14.7 - 16.3	16.3 - 17.9	17.9 - 19.4	19.4 - 20.9
13	13.8 - 15.5	15.5 - 17.3	17.3 - 19.0	19.0 - 20.7	20.7 - 22.4
14	14.4 - 16.3	16.3 - 18.2	18.2 - 20.0	20.0 - 21.9	21.9 - 23.7
15	15.0 - 17.0	17.0 - 19.0	19.0 - 21.0	21.0 - 23.0	23.0 - 25.0
16	15.5 - 17.6	17.6 - 19.8	19.8 - 21.9	21.9 - 24.0	24.0 - 26.2
17	16.0 - 18.3	18.3 - 20.5	20.5 - 22.7	22.7 - 25.0	25.0 - 27.3
18	16.5 - 18.8	18.8 - 21.2	21.2 - 23.5	23.5 - 25.9	25.9 - 28.4
19	16.9 - 19.4	19.4 - 21.8	21.8 - 24.3	24.3 - 26.8	26.8 - 29.4
20	17.4 - 19.8	19.8 - 22.4	22.4 - 25.0	25.0 - 27.6	27.6 - 30.3

A apresentação gráfica do conjunto de curvas polimórficas, aqui estudadas, estão representadas na Figura 08.

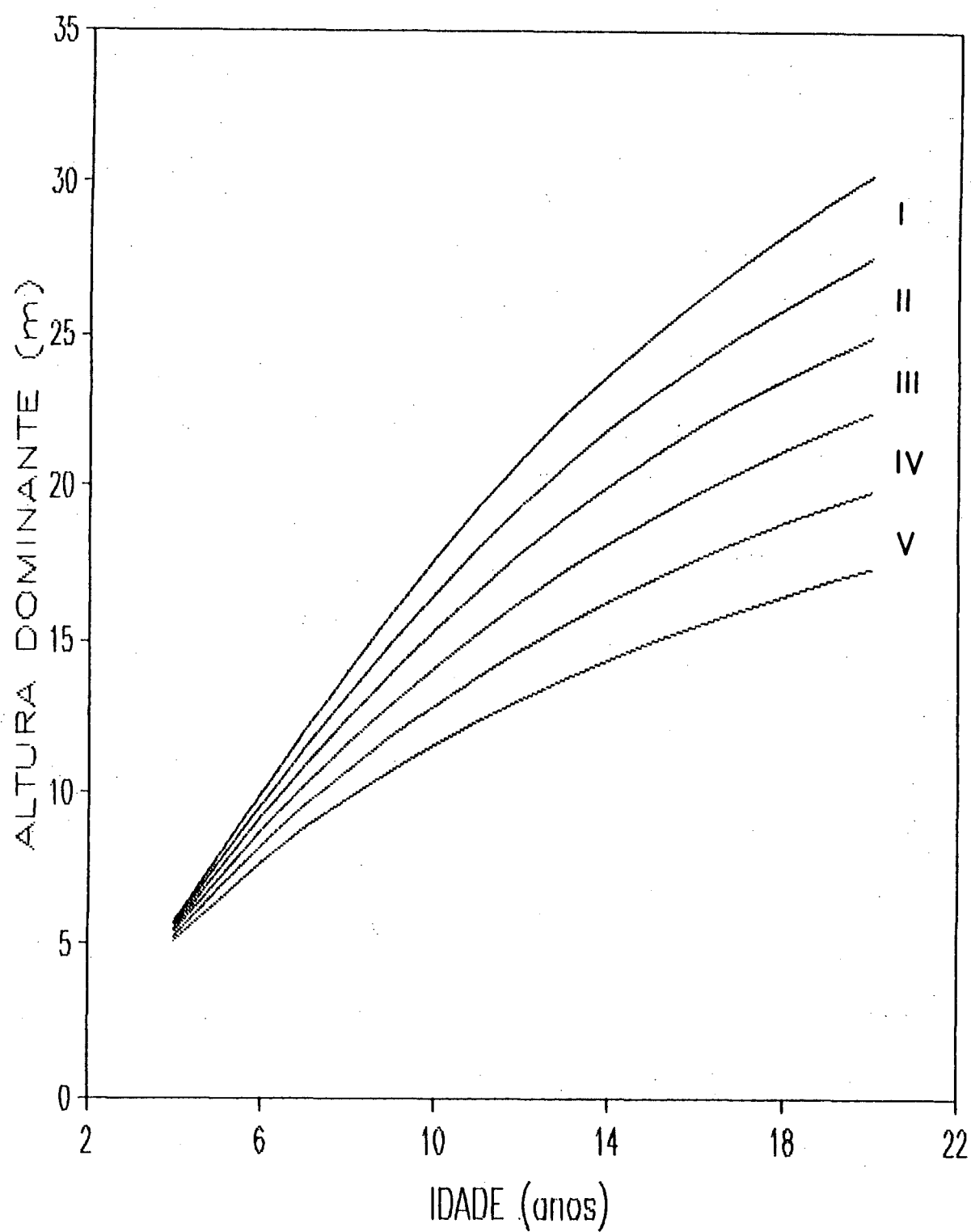


FIGURA 08: Conjunto de curvas polimórficas.

4.3 CONFIABILIDADE E ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE

Após construídas as curvas de classe de produtividade verificou-se a validade da classificação de IS através da estabilidade dos índices de Sítio ao longo do tempo. Através da reconstituição de dados de análise de tronco de cinco árvores, uma em cada classe, testou-se a estabilidade comparando-se a relação altura idade com as curvas de índice de sítio, conforme metodologia adotada por SCOLFRO & MACHADO ¹⁹⁸⁸. Se as alturas reais das árvores medidas para a determinação de sítio coincidirem com as alturas estimadas, através da equação de índice de sítio, é porque há evidência de que as curvas de índice de sítio não são tendenciosas. Assim quando as curvas indicarem estabilidade é porque não há indicativos de erros de classificação da qualidade de local.

Na Figura. 09 são apresentados as alturas reais das idades, obtidas de análise de tronco, localizadas entre os respectivos limites das classes de sítio. Através desta figura pode-se verificar que as curvas representam, com elevada precisão, o crescimento em altura das árvores testadas, pois todas as classes apresentam boa estabilidade ao longo do tempo. Os valores reais das árvores escolhidas para teste de estabilidade de curvas, estão na tabela 15 (Apêndice 01).

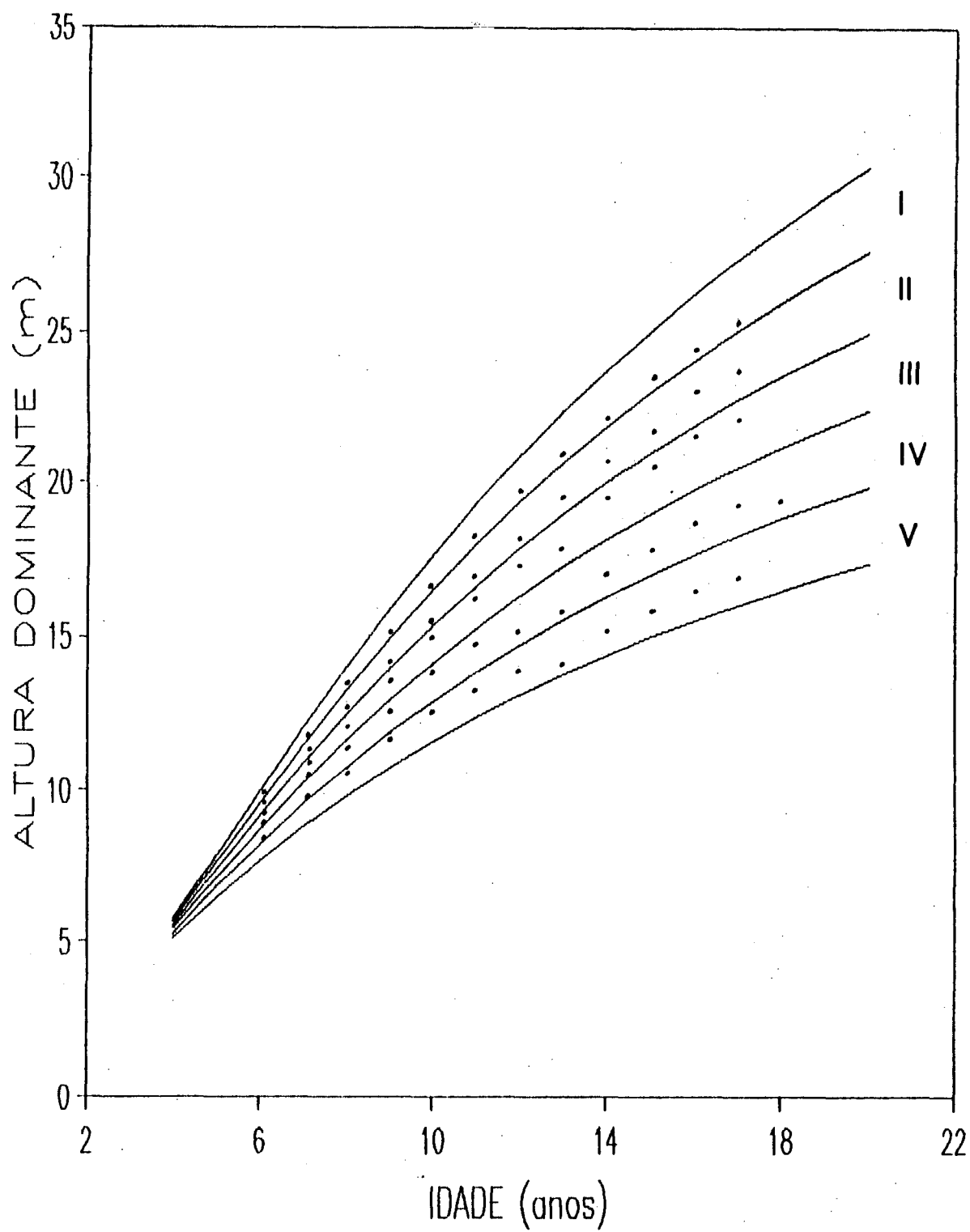


FIGURA 09: Alturas reais por idade plotadas entre os limites de classes de sítio

4.4 ANÁLISE NUTRICIONAL DOS LOCAIS EM RELAÇÃO AO CRESCIMENTO

Os dados da análise química foliar do primeiro e segundo lançamentos, estão contidos na Tabela 16 (Apêndice 01).

Na análise foliar foram encontradas melhores correlações com os dados do primeiro lançamento (Tabela 07), com exceção ao Potássio e Zinco, devido a maior estabilidade dos teores dos nutrientes observados neste lançamento (Tabela 16 do Apêndice 01). Esta maior relação também foi encontrada por DOLDÁN ¹⁴. Segundo o autor, os níveis de nutrientes variam com a localização das folhas.

As maiores correlações com o crescimento foram encontradas com os teores de Magnésio do primeiro lançamento e teores de Zinco do segundo lançamento. Foram encontradas ainda correlações significativas para os teores de Nitrogênio, Cálcio, Cobre e Zinco do primeiro lançamento e Potássio do segundo lançamento (Tabela 07).

Os teores de Fósforo, Potássio, Ferro e Manganês do primeiro lançamento e teores de Nitrogênio, Fósforo, Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês e Cobre do segundo lançamento, apresentaram correlações não significativas com o crescimento (Tabela 07).

Os teores de Fósforo, Ferro e Manganês não apresentaram correlações significativas em nenhum dos lançamentos, mostrando ser, esta espécie, pouco exigente a estes nutrientes.

Os resultados da seleção preliminar das variáveis dependentes em relação às variáveis independentes estão apresentados na Tabela 07. Na tabela 08 pode-se observar que,

comparando-se as diferentes regiões, Três Barras foi a que apresentou crescimento mais uniforme, entre os locais estudados.

Dos treze locais estudados observou-se uma amplitude de variação de crescimento relativamente baixa. Conforme apresentado na Tabela 08, o melhor padrão de crescimento foi observado no local 06 chegando a uma altura média dominante de 25,2 m aos 18 anos de idade. Neste local observou-se altos teores de Mg nas acículas, nutriente este que apresenta a maior correlação com o crescimento em altura (Tabela 07). O menor crescimento foi observado no local 02, com altura média dominante de 18,2 m aos 18 anos. Este local apresentou baixos teores de Magnésio.

Na tabela 16 (Apêndice 01), nos locais 2, 3, 4 e 5 da região de Telêmaco Borba, pode-se observar teores baixos de Cálcio e Magnésio nas acículas do primeiro lançamento, sendo que, nos locais 2 e 3 também foram encontrados teores muito baixos de Zinco nas acículas do primeiro e segundo lançamentos. Estes baixos teores de nutrientes podem ter comprometido o crescimento em altura das árvores.

TABELA 07: Correlacao e valores de "F" dos nutrientes em relação a altura aos 15 anos

Nutriente	1. lançamento			2. lançamento		
	R	R2	F	R	R2	F
N	-0,4978	0,2478	6,62	-0,0094	0,0001	0,01
P	0,1434	0,0205	0,23	0,1631	0,0266	0,30
K	0,2897	0,0839	1,01	0,4132	0,1707	5,26
Ca	0,6577	0,4326	8,39	0,0326	0,0011	0,01
Mg	0,8570	0,7345	30,43	0,1819	0,0331	0,38
Fe	0,2147	0,0461	0,53	-0,3257	0,1061	1,31
Mn	0,2163	0,0467	0,54	0,2109	0,0444	0,51
Cu	-0,4132	0,1707	5,26	-0,2391	0,0572	0,67
Zn	0,6795	0,4617	9,44	0,8117	0,6588	21,24

Valor de "F" tabulado

$$F(1,11; 0,05) = 4,84$$

TABELA 08: Relação de variáveis preliminarmente selecionadas.

Região Local		N1	Ca1	Mg1	Cu1	Zn1	K2	Zn2	H-15	Hdom
		(%) X2	(%) X3	(%) X4	(ppm) X5	(ppm) X6	(%) X7	(ppm) X8	(m) Y	(m)
Telêmaco Borba	01	1,79	0,13	0,06	14	18	0,35	26	18,8	20,7
	02	1,74	0,10	0,04	11	13	0,31	13	17,0	18,2
	03	1,79	0,07	0,05	10	15	0,38	12	18,0	20,0
	04	1,52	0,10	0,04	11	21	0,55	25	17,9	18,9
	05	1,57	0,10	0,04	13	20	0,46	28	19,0	21,1
	06	1,50	0,20	0,12	13	21	0,32	28	23,3	25,2
Irati	07	1,52	0,20	0,09	10	45	0,46	56	22,0	23,9
	08	1,59	0,20	0,11	10	38	0,37	51	19,8	21,3
	09	1,45	0,25	0,09	11	55	0,38	50	21,1	23,2
Três Barras	10	1,49	0,16	0,09	08	24	0,75	54	21,6	23,8
	11	1,48	0,10	0,10	08	41	0,61	64	22,0	23,8
	12	1,50	0,15	0,09	09	40	0,50	49	22,4	24,2
	13	1,82	0,19	0,12	09	31	0,64	53	22,2	23,3

onde:

X2 = Teores de nitrogênio (1º lançamento)

X3 = Teores de cálcio (1º lançamento)

X4 = Teores de magnésio (1º lançamento)

X5 = Teores de cobre (1º lançamento)

X6 = Teores de zinco (1º lançamento)

X7 = Teores de potássio (2º lançamento)

X8 = Teores de zinco (2º lançamento)

Y = Altura em metros aos 15 anos

4.4.1 Níveis de nutrientes nas acículas

Comparando-se os teores determinados na Tabela 16 (Apêndice 01) em relação ao balanço nutricional, para *Pinus elliottii*, determinado por PRITCHET ^{4º} (Tabela 01), observa-se que:

Os teores de nitrogênio nas acículas apresentam-se adequados em todos os locais em ambos os lançamentos; os teores de fósforo nas acículas apresentam-se dentro da faixa crítica para os locais 4,5,7,8,9 e 12 do primeiro lançamento, e para os locais 1,5,7,8,9 e 11 do segundo lançamento, nos demais locais apresentam-se acima dos níveis críticos em ambos os lançamentos; os teores de potássio nas acículas apresentam-se acima do nível crítico para todos os locais e para ambos os lançamentos, com exceção ao local 10 do primeiro lançamento onde o teor de potássio apresenta-se dentro do nível crítico; os teores de cálcio nas acículas apresentam-se dentro do nível crítico para os locais 1,10 e 12 do primeiro lançamento, e para os locais 1,2 e 5 do segundo lançamento, teores abaixo do nível crítico para os locais 2,3,4,5 e 11 do primeiro lançamento e para o local 4 do segundo lançamento, teores acima do nível crítico para os demais locais em ambos lançamentos; os teores de magnésio nas acículas apresentam-se dentro do nível crítico para os locais 1,2,3,4 e 5 do primeiro lançamento, e para os locais 1,2,4 e 5 do segundo lançamento, teores acima do nível crítico para os demais locais em ambos os lançamentos; os teores de ferro, manganês e cobre nas acículas, apresentam-se acima do nível crítico para todos os locais e em ambos os lançamentos; os teores de zinco nas acículas apresentam-se dentro da faixa crítica

para os locais 4,5,6,7,8,10,11,12 e 13 do primeiro lançamento e para os locais 1,4,5,6,9 e 12 do segundo lançamento, teores abaixo do nível crítico para os locais 1,2 e 3 do primeiro lançamento e para os locais 2 e 3 do segundo lançamento, teores acima do nível crítico para o local 5 do primeiro lançamento e para os locais 7,8,10,11 e 13 do segundo lançamento.

De acordo com a avaliação química em relação ao crescimento (Tabela 08), provavelmente, o Magnésio do primeiro lançamento e o Zinco do segundo lançamento foram os elementos limitantes ao crescimento, uma vez que, foram encontrados teores relativamente baixos para estes elementos nos piores sítios (região de Telêmaco Borba), conforme consta em literatura consultada. Nos estudos realizados por DOLDAN ¹⁴, para *Pinus taeda*, o zinco foi um dos fatores limitantes do crescimento.

Os teores dos elementos da análise foliar correlacionam-se com o crescimento em altura das árvores (Tabela 09), e a ordem decrescente das correlações lineares simples se descreve como segue: Mg1, Zn2, Zn1, Ca1, N1, K2 e Cu1.

4.4.2 Processo estatístico para seleção das variáveis

Constituiu os métodos de análise e relação de variáveis já detalhadas, para obtenção de modelos adequados para a estimativa das alturas.

Como foi mencionado no item 3.7 todas as variáveis selecionadas apresentaram significância pelo teste F ao nível de 95% (Tabela 07), obtidos através de regressão linear simples, onde

foram testadas cada variável da análise foliar, do primeiro e do segundo lançamento (variáveis independentes), com a variável dependente (altura dominante aos 15 anos de idade).

Na Tabela 09 é apresentada a matriz de correlação entre variáveis independentes (selecionadas preliminarmente) e a variável de resposta, em relação aos treze locais estudados.

Como foi mencionado, os teores de Mg1 e Zn2 apresentaram as maiores correlações com o crescimento em altura. Os teores de nutrientes de algumas variáveis como por exemplo: Zn1 e Zn2, Mg1 e Ca1, Zn2 e Mg1, apresentaram altas correlações entre si. Estas correlações explicam as interações entre as variáveis.

TABELA 09: Matriz de correlação simples entre variáveis.

N1 (%) X2	Ca1 (%) X3	Mg1 (%) X4	Cu1 (ppm) X5	Zn1 (ppm) X6	K2 (%) X7	Zn2 (ppm) X8	H-15 (m) Y	
1	-0,34943	-0,26255	0,20668	-0,56031	-0,23051	-0,50010	-0,49781	X2 (N1)
	1	0,72865	-0,03206	0,67720	-0,05915	0,55625	0,65771	X3 (Ca1)
		1	-0,37703	0,56559	0,23016	0,72304	0,85702	X4 (Mg1)
			1	-0,40846	-0,69364	-0,62929	-0,41315	X5 (Cu1)
				1	0,15534	0,81351	0,67949	X6 (Zn1)
					1	0,58441	0,41318	X7 (K2)
						1	0,81167	X8 (Zn2)
							1	Y (H-15)

4.4.3 Variáveis selecionadas por ACP e ajuste de equação de estimativa de altura

Pela análise dos componentes principais selecionou-se entre as variáveis, aquelas que apresentaram menor multicolinearidade e ao mesmo tempo absorviam a maior quantidade da variação total.

Na Tabela 10 são apresentados os auto-valores ou "eigenvalues" (Y_i) de cada componente principal, a variância relativa do vetor em relação à variância total e acumulada.

TABELA 10: Auto-valores e variâncias relativas e acumuladas dos componentes principais.

Vetor	Auto-valores (Y_i)	Variância relativa	Variância acumulada
1	3,7627	0,5375	0,5375
2	1,5610	0,2230	0,7605
3	0,8206	0,1172	0,8778
4	0,4066	0,0581	0,9359
5	0,2595	0,0371	0,9729
6	0,1596	0,0228	0,9957
7	0,0299	0,0043	1,0000

Segundo a metodologia proposta por ISEBRANDS & CROW ²⁴, foram selecionadas as variáveis com maior valor absoluto de seus auto-vetores (Coeficientes com asterísticos na tabela 11), e que não fossem correlacionados entre si (ausência de colinearidade). Isto foi feito através da matriz de correlação simples entre variâncias (Tabela 09). Segundo os autores, quando os auto-vetores das variâncias X_i estão próximos a zero, existe colinearidade entre variáveis (alta correlação) e nessa situação uma variável pode ser expressa em termos de outra.

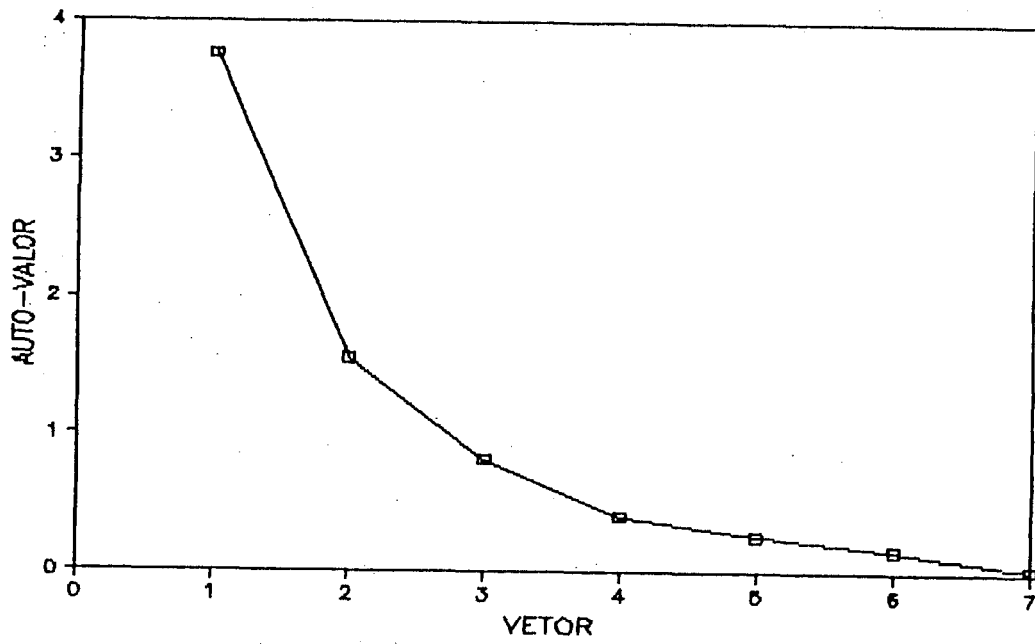


FIGURA 10: Auto-valores dos 7 componentes principais.

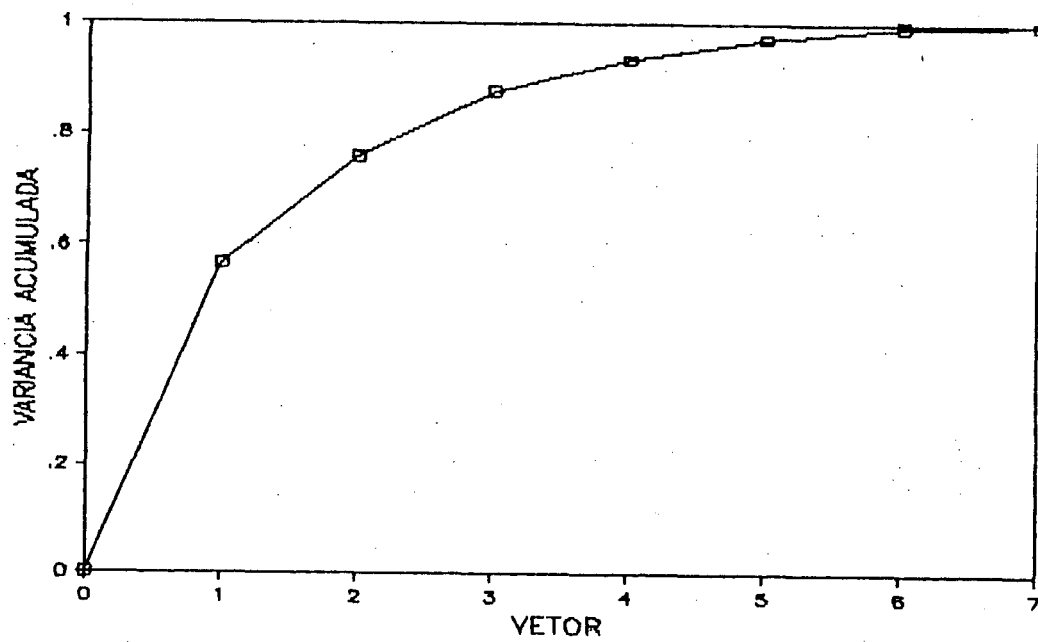


FIGURA 11: Variâncias acumuladas dos 7 componentes principais.

TABELA 11: Auto-vetores.

Variável	Vetor 1 \hat{e}_1 ~	Vetor 2 \hat{e}_2 ~	Vetor 3 \hat{e}_3 ~	Vetor 4 \hat{e}_4 ~	Vetor 5 \hat{e}_5 ~
X2 (N1)	0,3085	-0,0895	0,8273*	0,2969	0,3481
X3 (Ca1)	-0,3523	0,5043	0,2024	-0,1893	0,2268
X4 (Mg1)	-0,4082	0,1914	0,4729	-0,3411	-0,4943*
X5 (Cu1)	0,3266	0,4189	-0,1382	-0,4324*	0,4742
X6 (Zn1)	-0,4409	0,2111	-0,1735	0,5893	0,2912
X7 (K2)	-0,2634	-0,6156*	0,0108	-0,4729	0,4392
X8 (Zn2)	-0,4936*	-0,0908	0,0393	0,0426	0,2838

* Variáveis selecionadas

De acordo com CARMEAN ¹⁹⁸⁹ as interações entre as variáveis foram analisadas na matriz de correlação linear simples (Tabela 09). O mesmo autor destacou a importância dos estudos das interações e mencionou que se pode melhorar a precisão das equações de regressão, identificando e expressando aproximadamente, essas possíveis interações. De acordo com o método foram selecionados, para um nível de "F" de 95% de probabilidade, as variáveis: teores de nitrogênio (X2), teores de magnésio (X4), teores de cobre (X5) do primeiro lançamento, teores de potássio (X7) e teores de zinco (X8) do segundo lançamento da análise foliar.

A seguir é apresentado o modelo ajustado para estimar as alturas com as cinco variáveis selecionadas pela ACP, segundo a Tabela 11, e os resíduos padronizados são apresentados na Figura 12.

$$h = b_0 + b_1 * N_1 + b_2 * Mg_1 + b_3 * Cu_1 + b_4 * K_2 + b_5 * Zn_2$$

$$b_0 = 17,8718$$

$$b_1 = -2,98816$$

$$t_1 = -1,28 \text{ n.s.}$$

$$b_2 = 43,4045$$

$$t_2 = 4,38 **$$

$$b_3 = 0,148533$$

$$t_3 = 2,48 **$$

$$b_4 = 2,76768$$

$$t_4 = 3,02 **$$

$$b_5 = 0,0235436$$

$$t_5 = 3,32 **$$

n.s. = não significativo

Valores de t tabulado

$$t(7; 0,05) = 2,36$$

Indicadores de ajuste da regressão

$$F = 8,71 **$$

$$R^2 = 0,8587$$

$$S_{xy} = 0,9765$$

$$S_{xy}\% = 4,80$$

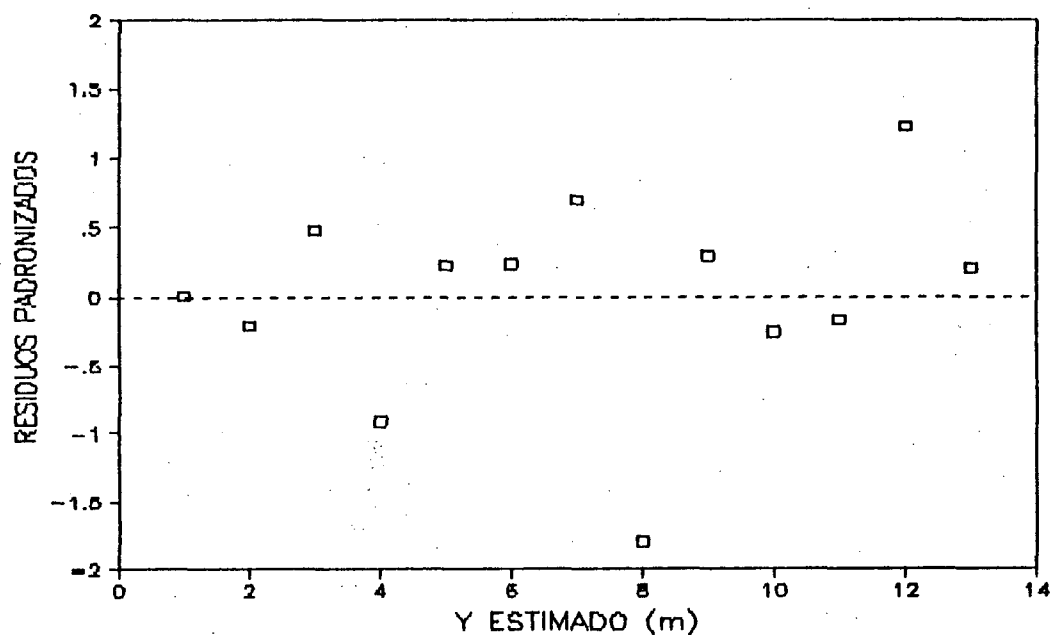


FIGURA 12: Resíduos padronizados (RP) da variável de resposta em relação as alturas estimadas pelo modelo ACP.

4.4.4 Variáveis selecionadas por BACKWARD e ajuste das equações para estimativa das alturas

Foram selecionadas as variáveis teores de magnésio (X4), teores de cobre (X5) e teores de Zinco (X6) do primeiro lançamento, e teores de potássio (X7) do segundo lançamento da análise foliar, pelo método de seleção "Backward", para um "F" de 95 % de probabilidade.

A seguir é apresentada a equação de ajuste de variáveis selecionadas por BACKWARD, para estimativa de alturas.

$$h = b_0 + b_1 * Mg_1 + b_2 * K_2 + b_3 * Zn_1 + b_4 * Cu_1$$

$$b_0 = 10,2770$$

$$b_1 = 43,7899 \quad t_1 = 5,48 **$$

$$b_2 = 5,35980 \quad t_2 = 3,64 **$$

$$b_3 = 0,0511056 \quad t_3 = 3,72 **$$

$$b_4 = 0,243412 \quad t_4 = 2,96 **$$

n.s. = não significativo

Valores de t tabulado $t(8; 0,05) = 2.31$

Indicadores de ajuste da regressão

$$F = 12,20 **$$

$$R^2 = 0.8592$$

$$S_{xy} = 0.9123$$

$$S_{xy\%} = 4,48$$

Os resíduos padronizados do modelo são apresentados na figura 13.

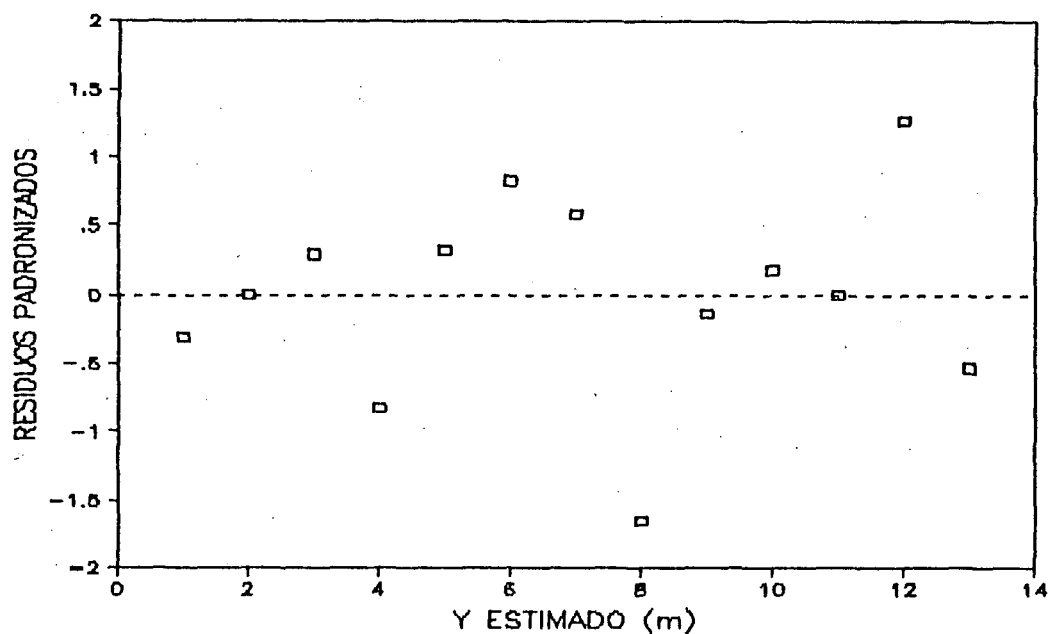


FIGURA 13: Resíduos padronizados (RP) da variável de resposta em relação as alturas estimadas pelo modelo BACKWARD.

Em nenhum dos modelos foram observadas tendências conforme análise gráfica de resíduos.

4.4.5 Análise de variância dos modelos ajustados por regressão.

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os resultados para o teste "F" dos ajustes dos modelos selecionados pelos métodos de seleção de variáveis anteriormente citados.

TABELA 12: Análise de variância do ajuste do modelo de seleção ACP com as variáveis Ni, Mg1, Cu1, K2 e Zn2.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Regressão	5	40,69964	8,139929	8,67
Erro	7	6,572678	0,938954	
Total	12	47,272318		

Valor de "F" tabulado:

$$F(5,7; 0,05) = 3,97$$

TABELA 13: Análise de variância do ajuste do modelo de seleção BACKWARD com as variáveis Mg1, K2, Zn1 e Cu1.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Regressão	4	40,61429	10,153579	12,20
Erro	8	6,658033	0,8322542	
Total	12	47,272323		

Valor de "F" tabulado:

$$F(4,8; 0,05) = 3,81$$

4.4.6 Acuracidade dos modelos de regressão.

Através dos índices de ajuste de cada modelo e da análise de distribuição dos resíduos foi analisada a acuracidade de ajuste dos modelos de estimativa da altura a partir das variáveis observadas.

Na Tabela 14 são apresentados os dados observados e estimados através dos modelos ajustados.

TABELA 14: Valores médios de hdom observados e estimados pelos modelos ajustados para os treze locais na idade 15 anos.

Local	Altura observada (m)	Alturas estimadas (m)			
		Modelo ACP	Resíduos padronizados	Modelo BACKWARD	Resíduos padronizados
1	18,8	18,8	0,00	19,1	-0,31
2	17,0	17,2	-0,21	17,0	0,00
3	18,0	17,5	0,48	17,7	0,29
4	17,9	18,8	-0,91	18,7	-0,83
5	19,0	18,9	0,22	18,7	0,32
6	23,3	22,1	0,23	21,5	0,82
7	22,0	21,3	0,69	21,4	0,58
8	19,8	21,6	-1,80	21,4	-1,65
9	21,1	21,3	0,29	21,7	-0,14
10	21,6	21,9	-0,26	21,4	0,18
11	22,0	22,2	-0,17	22,0	0,00
12	24,4	21,2	1,22	21,1	1,27
13	22,2	22,0	0,20	22,7	-0,54

Nas Figuras 14 e 15 são apresentados as relações entre as alturas observadas e estimadas, aos 15 anos de idade, dos treze locais de estudo.

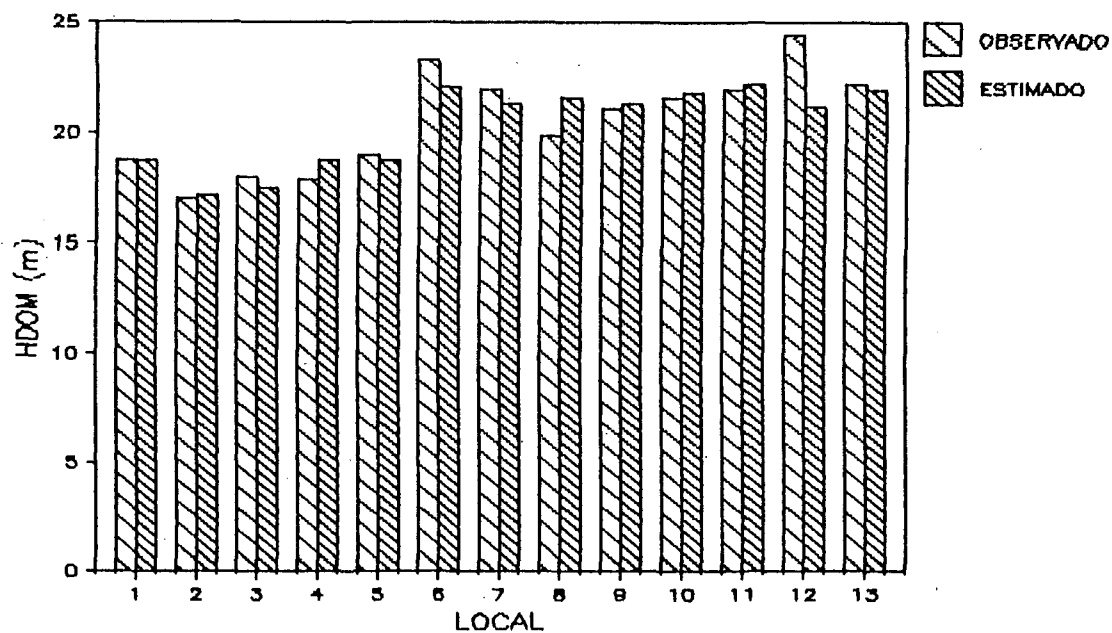


FIGURA 14: Relação das alturas observadas e estimadas para os treze locais através do modelo ACP

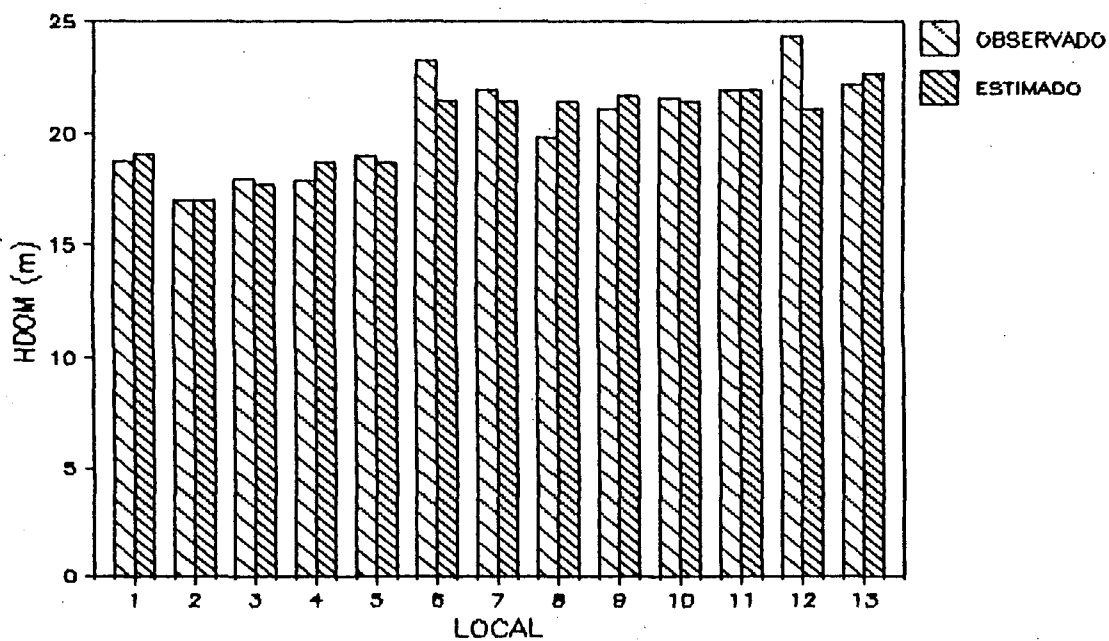


FIGURA 15: Relação das alturas observadas e estimadas para os treze locais através do modelo BACKWARD

Os dois modelos apresentaram bons ajustes, sendo que, as variáveis Magnésio e Zinco foram as que mais contribuíram para a explicação do crescimento, conforme a significância dos coeficientes nos testes t parciais, respectivos.

5 CONCLUSÕES

O modelo de Prodan foi o escolhido porque apresentou uma superioridade na análise visual de resíduos, R2 e EPE, sendo por isso usado para classificação de sítio, não invalidando o uso do modelo biológico de Richards.

A classificação de sítio deve ser efetuada a partir de 6 anos de vida do povoamento, pois o mesmo já se encontra estabelecido, uma vez que, não foram encontradas diferenças significativas nas idades inferiores. Em todas as classes de sítio nas idades mais jovens, até 8 anos, observou-se pouca estabilidade das curvas nas árvores testadas. Nas idades maiores esta estabilidade torna-se mais evidente, conferindo confiabilidade as curvas produzidas.

O *Pinus elliottii* apresentou-se com uma pequena amplitude na diferença da altura dominante, entre o melhor e o pior sítio, mostrando ser pouco exigente a aspectos nutricionais, pois mesmo onde foram encontrados baixos teores de nutrientes foliares, a espécie apresentou um bom crescimento.

No selecionamento de variáveis, as metodologias aqui empregadas, tanto o método de "BACKWARD" como a ACP, mostraram-se adequadas para esta pesquisa, através do selecionamento de poucas variáveis limitantes ao crescimento local.

De acordo com a literatura consultada, quando o *Pinus elliotii* é comparado com outras espécies, na mesma região, este apresenta maior resposta ao crescimento mesmo nos piores sítios. Isto pode ocorrer pelo fato de que o *Pinus elliotii* apresenta uma maior eficiência na absorção de nutrientes e/ou maior eficiência na taxa de conversão nutriente X matéria seca, o que merece uma investigação mais aprofundada.

Os teores de nutrientes das acículas do primeiro lançamento apresentaram melhores correlações com as alturas, que os do segundo lançamento. Este fato pode ser observado na relação de variáveis que foram selecionadas e incluídas nas regressões ajustadas. Destaca-se de maior importância os elementos Magnésio e Zinco, como limitantes ao crescimento, muito embora em menor escala os elementos Nitrogênio, Cobre e Potássio foliares também ajudam a explicar a variação do crescimento em altura.

SITE INDEX AND RELATIONSHIP BETWEEN DOMINANT HEIGHT AND NUTRIENTS CONTENT IN *Pinus elliottii* var. *elliottii* NEEDLES IN THE SECOND PLATEAU OF THE PARANA STATE.

Author: Osmar Menegol

SUMMARY

The objectives of this research work were: to compare used models for the relationship between dominant heights and ages, and to chose the better equation to represent site index curves for *Pinus elliottii* plantations in the second plateau of the Parana State; to relate the nutrient contents of the needles with height growth. The data came from stem analysis and needles from 13 different places, covering all site classes. Ages ranged from 16 to 18 years old. Statistics and residual analysis showed that the Prodan model was the best one to relate dominant height over age, thus being used to construct site index curves. The stability of the curves was also tested, proving there be confiability in using such curves. The effects of nutrient contents of needles on height growth were studied through regression analysis. The dependent variable was dominant height at 15 years of age. The independent variables were obtained through analysis of nutrient content of the needles, being considered only those nutrients variables which presented significant "F" test for $P=0,95$ of probability. These variables were submitted to 2 methods of variables selection: Principal Component Analysis (PCA) and BACKWARD. The PCA selected the following variables: nitrogen content, magnesium, copper, potash and zinc. The BACKWARD method selected the following variables: magnesium, potash, zinc and copper in decreasing order. According to statistic analysis, magnesium and zinc content were the most limiting factors to the height growth.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ALDER, D. Forest volume estimation and yield prediction. Rome, FAO, 1980. v.2. FAO Forestry Paper, 22/2. 194 p.
- 02 BARNES, R. L. & RALSTON, C.W. Soil factors related to growth and yield of slash pine plantation. Florida Agric. Exp. Stations, 559, 1955. 23 p.
- 03 BARRUSO, A. P. A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco. UFPR. Dissertação. Mestrado. Curitiba 1977. Dissertação não defendida.
- 04 BASSON, W. D; BOHMER, R. G. & STANTON, D. A. An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. Analyst, 94: 1135-41, 1969.
- 05 BRUM, E. T. Relações entre a altura dominante e fatores do sítio de Ponte Alta do Norte, SC. Curitiba, 1979. 179 p. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- 06 BURKHART, H.E & TENNENT, R.B. Site index equations for radiata pine in New Zealand. New Zealand J. For. Sci. 2(3), p. 408-16, 1977.
- 07 CAMPOS, J.C & TURNBULL, K.J. Um método de estimar índice de local utilizando a análise de tronco. R. Árvore 4(1). p.47-61, 1980.
- 08 CARMEAN, W. H. Site index curves for upland oaks in the central states. For. Sci. 18(2) p. 109-20, 1972.
- 09 CARMEAN, W. H. Forest site quality evaluation in the United States. Advances in Agronomy, 27: 208-69, 1975.
- 10 CASTAÑOS, M. L. Evaluation de la calidad de estacion de Pino patula en el norte de Oaxaca. B. téc INIE, México, 2, 1962. 32 p.
- 11 CHAPMAN. H. H. & MEYER, W. H. Forest mensuration. New York, McGraw Hill, 1949. 522 p.

- 12 CLUTTER, J. L. et alii. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 1983. 333 p.
- 13 COILE, T.S. Soil and growth of forests. Advances in Agronomy, 4. p. 329-59, 1952.
- 14 COPELAND Jr., D. L. Soil-site index studies of western white pine in North Rocky Mountain Region. In: Soil. Sci. Soc. Amerc. Proc., 3(22):268-9, 1958.
- 15 DE HOOG, R. J. Site - nutrition - growth relationships of Araucária angustifolia (BERT) O. KTZE, in southern Brazil. Freiburg I. Br. Germany. PH.D.Thesis, 1981. 161 p.
- 16 DOLDÁN, M. E. O. Desenvolvimento da altura dominante de Pinus taeda L. como resposta ao estímulo dos fatores do meio, na Região de Ponta Grossa. Curitiba, 1987. 119 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
- 17 DRAPER, N. K. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York. John Wiley, 1981, 708p.
- 18 FINK, A. Pflanzenernahrung in stichworten. Kiel, F. Hirt, 1969. 200p.
- 19 FOWELLS. H. A. & KRAUSS, R. W. The inorganic nutrition of loblolly pine and Virginia pine with special reference to Nitrogen and Phosphorus, For. Sci., 5(1):95-111, 1959.
- 20 FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. PROJETO: "Classificação de sítio para Araucaria angustifolia, Pinus elliotti e Pinus taeda no Segundo Planalto do Estado do Paraná". Relatório Técnico Final. V.1, p. 1-286. Não publicada. 1990.
- 21 GALLO, J. R. Análise foliar como meio de caracterização de propriedades químicas do solo. In MONIZ, A. C. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p. 251-6.
- 22 GOLFARI, L. Coníferas aptas para reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. B. Téc. IBDF, 1, 1971. 71p.
- 23 GOODR, C. P. van. Reflorestamento com coníferas no Brasil. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Departamento de Recursos Renováveis, 1965. 58 p. (Boletim n. 9).
- 24 ----- A nutrição de alguns pinheiros tropicais. Silvicultura em São Paulo, 4: 313-39, 1965.
- 25 GRANEY, D. & BURKHART, H. E. Polymorphic site index curves for shortleaf pine in the Ouchinate Mountains. USDA. For. Service. Res. Pap. SO=85 p. 01-12, 1973.

- 26 HAGGLUND, B. Evaluation of forest site productivity. Forestry Abstr., 42(11):515-27, 1981.
- 27 HEIBERG, G. & WHITE, D. A site evaluation concept. J. For., 54(1):7-10, 1956.
- 28 HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solo e planta. Curitiba, Setor de ciêncis Agrária, 1976/7. 225p.
- 29 HOLLAND, D. A. Component analysis: an aid to the interpretation of data. Exp. Agric., 5:151-64, 1969
- 30 HOYLE, M. C. & MADER, D. L. Relationships of foliar nutrients to growth of red pine in Western Massachusetts. For. Sci., 10(3):337-47, 1964.
- 31 ISEBRANDS, J. G. & CROW, T. R. Introduction to uses and interpretation of principal component analysis in forest biology. North Central Forest Experiment Station. USDA Forest Service, 1975. 18p. (General Technical Report 17).
- 32 ISOLAN, F.B. Estudo da qualidade de sitio para Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barrett e Golfari no Cantão de Turialba, Costa Rica. Turialba, Costa Rica, 1972. Dissertação. Mestrado. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA.
- 33 JONES JR, E. P. Precommercial thinning of naturally seeded shash pine increases volume and monetary returns. USDA. For. Sci. Res. SE =164, p.01-10, 1977.
- 34 KENDALL, M.G. A course in multivariate analysis. New York, Hafner, 1957. 185p.
- 35 KING, J.E. Site index curves for Douglas fir in de Pacific Northwest. Weyerhaeuser Forestry Paper B. 1966. 49 p.
- 36 KIRBY, C.L. Site index equations for lodgepole pine and white pine in Alberta. Canadian Forest Service. Northern Forest Research Center. Information Report NOR-142.1975. 12 p.
- 37 KRAMER, P. J. & KOZLOWSKI, T. Fisiologia das árvores. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.
- 38 LA TORRACA, S. M. et alii Recrutamento e exploração de nutrientes por Pinus ellioti var. ellioti em latossolos vermelho escuro na região de Agudos, SP. IPEF, 27. 41-47,1984.
- 39 LEYTON, L. & ARMOSON, K. A. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of scots pine. For. Sci. 1(3):210-18, 1965.

- 40 ----- The relationship between the growth and mineral nutrition of conifers. In: THIMANN, K. V. ed. The physiology of forest trees. New York, Ronald Press, 1958. p. 323-47.
- 41 LIMMARTZ, M. E. Relation of soil and topographic characteristics to site quality for southern pine in the Florida Parishes Louiriana. J. For., 61(6): 434-37, 1963.
- 42 MACHADO S.A. Curvas de índice de sitio para plantações de *Pinus taeda* na região central do Estado do Paraná: Revista Floresta. 11(2) p. 04-18, 1980.
- 43 ----- Studies in growth and yield estimation for *Pinus Taeda* plantations in the state of Paraná - Brasil - University of Washington. Ph.D. Dissertation. 1978, 170 p.
- 44 MARCOLIN, M. Polimorfismo e tamanho de amostra para construção de curvas de índice de sitio para *Pinus Taeda* L. No segundo planalto paranaense. Curitiba. 1990. 64 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação e Engenharia Florestal.
- 45 MEAD, D. J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantation. In: G. D. BOWENJNE. K. S. NAMBIAR (ad.) Nutrition of Plantation Forests. Academic Press. London. 259-93. 1987.
- 46 METZ, L. J. et alii. Sampling soil and foliage in pine plantation Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3(30):397-99, 1966.
- 47 PRITCHETT, W. L. & LLEWELLYN, W. P. Response of slash pine to phosphorus in Sandy soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 4(30):p.509-12, 1966.
- 48 PRITCHETT, W.L. Properties and management of forest soils. New York, J.Wiley, 1979. 500 p.
- 49 REISSMANN, C. B. et alii. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sob solos derivados do grupo Itararé (Carbonífero). Rev. Ciênc. Agr. 9:113-119, 1987.
- 50 REISSMANN, C.B. Nahulementversorgung und Wuchsleistung von Kiefernbeständen in Sudbrasilien. Freiburg, 1981. 159 p. Dissertation. Universitat Freiburg.
- 51 REISSMAN, C.B. & ZOTTL H.W. Problemas nutricionais em povoamentos em *Pinus taeda* em área de arenito da formação Rio Bonito - Grupo Guatá. Rev. Set. Ciênc. Agr. 9 p.75-80, 1987.
- 52 REISSMANN, C. B. & ZOTTL, H. W. Stoffernahrung und Wuchsleistung von Kiefernauforstungen in Sudbrasilien. In: IUFRO Symposium on site and productivity of fast growing plantation, Pretoria, Proceedings. vol 2:647-658. 1984.

- 53 SALAS, W. Factores edáficos e climáticos en la clasificación de sitios forestales. Bosques de Colombia, 1:15-30, 1974.
- 54 SCHNEIDER, P.R. & SILVA, J.A. índice de sitio para acasia negra, Acasia mearnsii de Wild. Brasil Florestal 10(42), p. 53-58, 1980.
- 55 SCOLFORD, JR. S. & MACHADO, S.A. Curvas de índice de sitio para plantações de Pinus elliotti na Estado do Paraná e Santa Catarina. Revista Floresta. vol XVIII, Nº. 1-2 - 1988.
- 56 SOCIETY OF AMERICAN FORESTRY. Terminology of forest science, technology, practice and products. Society of American Forests, Washington, 1971. 349 p.
- 57 SPURR, S.H. & BARNES, B.V. Forest ecology. 2 ed. New York, The Ronald Press, 1973. 572 p.
- 58 SPURR, S.H. 16 - Forest ecology. New York, Ronald Pres, 1964. 354 p.
- 59 STAGE, A. R. A mathematical approach to polymorphic site index curves for grand fir. For. Sci. 9(2). p.167-80. 1963.
- 60 STRAND, L. Numerical construction of site index curves. For. Sci. 10(4) p. 410-414 - 1964.
- 61 TOBAR, V. A. Calidad de sitio con referencia especial a la altura mayor. Esmeraldas, Universidad Técnica Luis Vargas Torres. Facultad de Ciências Agropecuárias, 1976. 31 p.
- 62 TRUMAN, R. et alii. Prediction of site index for Pinus radiata at Milliom Range State Forest, New South Wales. Aust. For. Res., 13:207-15, 1983.
- 63 ULRICH, A. Plant analysis as a diagnostic procedure, Soil Sci., 55:101-11, 1943.
- 64 WILL, G. M. Nutrient deficiencies in Pinus radiata in New Zealand. N. Z. J. of For. Sci., 8(1):4-14, 1978.
- 65 ZOTTL, H. W. Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands. In:FAO-IUFRO. SYMPOSIUM OF FOREST FERTILIZATION. Proceedings. Paris, 1973. p.75-95.
- 66 ZOTTL, H. W.; TSCHINKEL, H. & SPEIDEL, G. Nutrición y fertilización forestal: una guia práctica. Medellin, Universidad Nacional da Colombia, 1971. 116 p.

APÊNDICE 01

TABELA 15: Alturas reais de árvores utilizadas para teste de estabilidade das curvas de índice de Sítio.

IDADE	CLASSES DE ÍNDICE DE SÍTIO				
	I	II	III	IV	V
4	6,0	5,8	5,7	5,4	5,2
5	7,9	7,6	7,4	7,4	7,2
6	9,8	9,4	9,1	9,0	8,8
7	11,5	11,2	10,6	10,5	9,6
8	13,2	12,7	12,0	11,5	10,8
9	14,8	14,0	13,5	13,0	11,8
10	16,4	15,5	15,3	13,9	12,6
11	18,0	16,9	16,0	14,5	13,3
12	19,5	17,9	17,1	15,1	14,0
13	20,8	19,6	18,0	15,9	14,8
14	22,0	20,9	19,5	17,0	15,4
15	23,2	21,9	20,5	17,9	16,0
16	24,3	23,0	21,6	18,5	16,6
17	25,2	23,7	22,2	19,1	16,9
18				19,5	

TABELA 16: Resultados da análise química foliar

teores dos elementos - 1. lançamento									
Local	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
01	1,79	0,10	0,32	0,13	0,06	106	487	14	18
02	1,74	0,10	0,35	0,10	0,04	84	249	11	13
03	1,79	0,10	0,38	0,07	0,05	61	216	10	15
04	1,52	0,09	0,54	0,10	0,04	91	412	11	21
05	1,57	0,09	0,47	0,10	0,04	73	456	13	20
06	1,50	0,10	0,38	0,20	0,12	104	906	13	21
07	1,52	0,08	0,47	0,20	0,09	103	494	10	45
08	1,59	0,09	0,46	0,20	0,11	103	194	10	38
09	1,45	0,09	0,47	0,25	0,09	111	800	11	55
10	1,49	0,10	0,21	0,16	0,09	90	212	8	24
11	1,48	0,10	0,66	0,10	0,10	66	179	8	41
12	1,50	0,08	0,50	0,15	0,09	94	261	9	40
13	1,82	0,16	0,63	0,19	0,12	71	211	9	31

teores dos elementos - 2. lançamento									
Local	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
01	1,79	0,09	0,35	0,14	0,08	91	460	11	26
02	1,66	0,10	0,31	0,13	0,06	65	325	11	13
03	1,82	0,10	0,38	0,54	0,33	271	664	7	12
04	1,56	0,10	0,55	0,11	0,07	103	575	11	25
05	1,54	0,09	0,46	0,13	0,05	84	663	13	28
06	1,44	0,10	0,32	0,23	0,13	103	1625	13	28
07	1,49	0,08	0,46	0,25	0,14	96	669	9	56
08	1,68	0,09	0,37	0,30	0,14	96	375	9	51
09	3,02	0,09	0,38	0,22	0,13	75	662	11	50
10	1,71	0,10	0,75	0,17	0,14	79	306	6	54
11	1,39	0,09	0,61	0,18	0,17	74	350	8	64
12	1,48	0,10	0,50	0,21	0,13	96	431	9	49
13	1,58	0,15	0,64	0,30	0,20	76	375	8	53