

INTERAÇÕES GENÓTIPO - AMBIENTE E RELAÇÕES ENTRE A
PRODUTIVIDADE DE SÍTIOS FLORESTAIS DE *Eucalyptus grandis* E
Eucalyptus saligna COM AS PROPRIEDADES DE ALGUNS SOLOS DE
TEXTURA ARENOSA E MÉDIA NO ESTADO DE SÃO PAULO

JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Orientador: PROF. DR. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1990

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

G635i Gonçalves, José Leonardo de Moraes
Interações genótipo-ambiente e relações entre a produtividade
de sítios florestais de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna
com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média
no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1990.
135p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Eucalipto - Genótipo-ambiente - Interação 2. Eucalipto -
Produtividade - São Paulo (Estado) 3. Eucalipto - Variação fe-
notípica 4. Relação solo-planta 5. Solo - Propriedade física 6.
Solo - Propriedade química I. Escola Superior de Agricultura
Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 634.9734

INTERAÇÕES GENÓTIPO - AMBIENTE E RELAÇÕES ENTRE A
PRODUTIVIDADE DE SÍTIOS FLORESTAIS DE *Eucalyptus grandis* E
Eucalyptus saligna COM AS PROPRIEDADES DE ALGUNS SOLOS DE
TEXTURA ARENOSA E MÉDIA NO ESTADO DE SÃO PAULO

JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Aprovada em: 05.12.90

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê	ESALQ/USP
Prof. Dr. Nairan Felix de Barros	UFV
Prof. Dr. Godofredo César Vitti	ESALQ/USP
Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto	ESALQ/USP
Dr. Igo Fernando Lepsch	IAC



Prof. Dr. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ
Orientador

*Aos meus pais Hélio e Magdala
pela dedicação de suas vidas à minha
formação pessoal e profissional*

*À minha querida esposa Maria Therezza
pela compreensão e incentivo em todos os momentos*

*Aos meus pequenos filhos Carlota e Diogo
que, pelas suas candura, espontaneidade
e alegria, abrandaram os momentos difíceis
e revigoraram minhas energias*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho contei com a contribuição de vários professores e pesquisadores de diversas áreas do saber, que emprestaram seus conhecimentos teóricos e práticos em prol de um objetivo maior, meu treinamento científico e técnico. É também o resultado da participação entusiástica de diversos profissionais nos trabalhos de campo, laboratório e escritório que, sobremaneira, engrandeceram os méritos alcançados. A todos sou muito grato e estimo fazer as seguintes menções especiais.

Ao Professor José Luiz Ioriatti Demattê, meu orientador, pela postura amigável, objetiva e confiante no transcorrer de todas as fases deste trabalho.

Ao Professor Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela eficiente participação nos trabalhos de avaliação dendrométrica dos sítios florestais e análise estatística.

Aos Professores Luiz Ernesto George Barrichello, Paulo Yoshio Kageyama e Walter de Paula Lima, pelo apoio e valiosa colaboração na fase de definição da metodologia de pesquisa e pelas proveitosas críticas e sugestões apresentadas durante o trabalho.

À DURAFLORES S/A, nas pessoas do Eng^o Agrônomo Angelo Di Ciero Neto, do Eng^o Florestal Charles Hermany Oliveira e da Eng^a Agrônoma Silvana L. G. Potiens; à RIPASA S/A CELULOSE E PAPEL, nas pessoas dos Eng^{os} Florestais Edson Antônio Balloni (ex-funcionário), José Luiz Stape e do Técnico

Agrícola José Carlos Madaschi; à COMPANHIA SUZANO DE PAPEL E CELULOSE, nas pessoas do Eng^o Florestal Silas Zen e do Técnico Agrícola Roberto Romeiro Silva; à EUCATEX FLORESTAL LTDA, nas pessoas dos Eng^{os} Florestais Osmar Beig e Marcus Alexandre Pires; à FLORIN - FLORESTAMENTO INTEGRADO S/A, nas pessoas do Eng^o Florestal Gilmar Bertolotti, do Eng^o Agrônomo Deuseles João Firme e do Técnico Agrícola Miguel Canutto (ex-funcionário), que gentilmente cederam as áreas experimentais e forneceram recursos materiais e humanos para os trabalhos de campo.

À Eng^a Agrônoma Liliani de Moura Vaz da Silva e ao Eng^o Agrônomo Jan Ake Lennart Astron, pelo apoio na coleta dos dados experimentais de campo, pela realização de parte das análises de laboratório e, sobretudo, pelo apoio amigo nos momentos mais difíceis.

Aos Técnicos Agrícolas Hermes Ernesto Beltrame, José Luzia, Paulo Furlan e Jair Ferrer da Silva, por suas eficientes participações nas coletas de materiais de campo para as análises.

Ao Técnico em Química Elvio Tadeu Aguado, pela realização de análises laboratoriais de solo e planta.

Ao Técnico em Informática Milton Cezar Ribeiro, pelas importantes orientações de manuseio do computador durante a realização das análises estatísticas.

Ao Eng^o Florestal Admir Lopes Mora, pelas suas repetidas palavras de apoio e estímulo, que muito me motivaram.

Ao Eng^o Florestal Paulo Eduardo Telles, pelas valiosas críticas, correções e sugestões.

Ao Professor Virgílio Maurício Viana, pela ajuda prestada na redação do summary.

Aos colegas de curso Arminda Moreira de Carvalho, Rosana Aguiar, Francisco Neto de Assis, Vera Lúcia Gonçalves de Assis, Marciano de Medeiros Pereira Brito, Elmar Luiz Floss, Antonio Roberto Barreto de Melo e Wilson Caxeta Piau, pelo agradável convívio e estímulo.

Ao Pesquisador Igo Fernando Lepsch do Instituto Agronômico de Campinas, ao Professor Nairan Felix de Barros da Universidade Federal de Viçosa e ao Professor Godofredo César Vitti da ESALQ, participantes da banca examinadora, pelas valiosas críticas e sugestões.

À Marta Sueli Campos Ferraz, Rejane Alves da Silva e Sandra Giovanoni, pelos eficientes serviços de digitação e composição da tese.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro que possibilitou a aquisição de instrumentos e reagentes de laboratório.

Enfim, meu sincero apreço às demais pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xix
SUMMARY	xxiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Interação Genótipo - Ambiente (IGA)	4
2.2. Interação do Genótipo com as Propriedades Edá- ficas de Sítios Florestais	9
2.3. Métodos de Estimar a Produtividade do Sítio ..	13
2.3.1. Métodos Diretos	13
2.3.2. Métodos Indiretos	15
2.4. Influência das Propriedade do Solo na Produ- tividade Florestal	23
2.4.1. Relações Entre a Capacidade de Supri- mento de Água Pelo Solo com a Produ- tividade do Sítio	24
2.4.2. Relações Entre as Propriedades Químicas do Solo com a Produtividade do Sítio ..	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Seleção dos Sítios Florestais	28
3.2. Caracterização do Material Genético	30
3.3. Caracterização Climática	30
3.4. Descrição Geológica e Geomorfológica	31

	Página
3.5. Avaliações Dendrométricas	31
3.5.1. Volume sólido de madeira com e sem casca	36
3.5.2. Volume empilhado por hectare	39
3.5.3. Área basal por hectare	39
3.5.4. Índice de Sítio (IS)	40
3.6. Caracterização dos Solos em Cada Sítio	41
3.6.1. Descrição morfológica dos perfis de solos	41
3.6.2. Caracterização física e química dos solos	44
3.7. Relacionamento da Qualidade de Sítio com as Características de Solo	60
3.8. Estimação e Interpretação dos Parâmetros Genéticos e Fenotípicos Responsáveis pelas Variações de Crescimento entre Espécies e Sítios ..	63
3.8.1. Sítios considerados	63
3.8.2. Análise de variância conjunta	64
3.8.3. Estimação dos componentes da variância.	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1. Valores Médios de Algumas Características Dendrométricas	68
4.2. Análise de Variância Conjunta das Variáveis Dendrométricas	72

	Página
4.3. Componentes Genéticos e Fenotípicos Responsáveis pelas Variações de Crescimento Entre Espécies e Sítios	77
4.4. Identificação das Características Físicas e Químicas dos Solos Responsáveis Pelas Variâncias das Interações Espécies x Sítios	85
4.5. Avaliações Dendrométricas dos Sítios Considerados Para a Obtenção das Equações de Regressão Múltipla	86
4.6. Previsão da Qualidade de Sítio por Intermédio de Equações de Regressão Múltipla	91
4.6.1. Quando consideram-se os sítios de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i> analisados conjuntamente	91
4.6.2. Quando consideram-se os sítios de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i> analisados separadamente	96
4.7. Verificação da Fidedignidade de Uso das Equações de Regressão Múltipla para Sítios Desconhecidos	101
4.8. Propriedades Físicas e Químicas dos Solos Relacionadas com a Qualidade de Sítio	105
4.9. Aplicação de Estudos de Relação Solo-Sítio Para a Interpretação de Levantamento de Solo	114

	Página
5. CONCLUSÕES	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Exemplos de interações que podem ocorrer entre três espécies florestais com dois sítios.	5
2	Frequência de distribuição em altura das árvores e identificação das árvores abatidas.	36
3	Valores obtidos para a característica área basal/ha nos sítios de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i>	73
4	Valores obtidos para a característica volume sólido com casca/ha nos sítios de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i>	73
5	Valores obtidos para a característica altura nos sítios de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i>	74
6	Valores obtidos para a característica DAP nos sítios de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i>	74

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Espécie, procedência, altitude, características geográficas e idade dos povoamentos onde foram selecionados os sítios florestais.	29
2	Localização, altitude, posições geográficas e nível de melhoramento dos materiais genéticos utilizados no estabelecimento dos povoamentos de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i>	32
3	Precipitação média, temperatura média e deficiência hídrica dos municípios onde foram locadas as parcelas dos diversos sítios.	33
4	Descrição geológica dos locais onde foram instaladas as parcelas dos sítios estudados.	34
5	Descrição geomorfológica dos locais onde foram instaladas as parcelas dos sítios estudados. ...	35
6	Tipo de solo, relevo local, drenagem, cor, textura, estrutura e consistência dos solos, nas profundidades 0 a 20 cm e 60 a 80 cm, nos diversos sítios florestais em estudo.	42
7	Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 0-10 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.	50

Tabela	Página
8 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 10-20 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.	51
9 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 20-30 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.	52
10 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 40-60 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.	53
11 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 100-120 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.	54
12 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 0-10 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.	55
13 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e	

Tabela	Página
químicas dos solos na profundidade de 10-20 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.	56
14 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 20-30 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.	57
15 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 40-60 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.	58
16 Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 100-120 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.	59
17 Variáveis dependentes e independentes utilizadas para o ajuste das equações de regressão múltipla.	61
18 Valor médio das características área basal/ha (m^2/ha), volume sólido com casca/ha (m^3/ha), altura (m) e dap (dm) para as espécies <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i> , quando considerou-se todos os sítios e quando omitiu-se o sítio S23-S24, aos 5,4 anos de crescimento.	71
19 Valor médio das características área basal/ha (m^2/ha), volume sólido com casca/ha (m^3/ha), al-	

Tabela	Página	
19	Valor médio das características área basal/ha (m^2/ha), volume sólido com casca/ha (m^3/ha), altura (m) e dap (dm) nos diversos sítios em estudo, considerando as espécies <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i> conjuntamente, aos 5,4 anos de crescimento.	72
20	Análise de Variância Conjunta para as características área basal/ha (m^2/ha), volume sólido com casca/ha (m^3/ha), altura (m) e Dap (dm) envolvendo as espécies <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> , quando consideraram-se os 5 sítios e quando omitiu-se o sítio S23-S24.	75
21	Estimativas de variâncias genéticas entre espécies ($\hat{\sigma}_g^2$), variâncias entre sítios ($\hat{\sigma}_s^2$), de variâncias da interação espécies x sítios ($\hat{\sigma}_{gs}^2$) e de variâncias do erro ($\hat{\sigma}_e^2$), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.	78
22	Porcentagem de variação entre a variância genética entre espécies ($\hat{\sigma}_g^2$), variâncias entre sítios ($\hat{\sigma}_s^2$), de variâncias da interação espécies x sítios ($\hat{\sigma}_{gs}^2$) e de variâncias do erro ($\hat{\sigma}_e^2$) relativamente a soma dessas variâncias ($\hat{\sigma}_t^2 = \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_{gs}^2 + \hat{\sigma}_e^2$), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.	79
23	Coeficiente de variação fenotípica (CV_F), entre espécies (CV_g), entre sítios (CV_s), da interação	

Tabela	Página
espécies x sítios (CV_{GS}), experimental (CV_{EXP}) e relação entre os coeficientes de variância entre espécies e experimental (CV_G / CV_{EXP}), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.	80
24 Relação do coeficiente de variação genética entre espécies (CV_G), da interação espécie x sítios (CV_{GS}) e experimental (CV_{EXP}) com o coeficiente de variação fenotípica (CV_F), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.	82
25 Avaliações dendrométricas das parcelas localizadas nos sítios de <i>E. grandis</i>	88
26 Avaliações dendrométricas das parcelas localizadas nos sítios de <i>E. saligna</i>	89
27 Matriz de correlação entre as características dendrométricas avaliadas para as parcelas de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> consideradas conjuntamente.	90

Tabela	Página
28 Equações de regressão múltipla que relacionam o índice de sítio (m) com as propriedades físicas e químicas dos solos para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F26, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios ...	94
29 Equações de regressão múltipla que relacionam o volume sólido de madeira com casca (m ³ /ha) com as propriedades físicas e químicas dos solos, para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F26, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios.	95
30 Equações de regressão múltipla que relacionam o índice de sítio (m) com as propriedades físicas e químicas dos solos para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F26, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios.	97
31 Equações de regressão múltipla que relacionam o volume sólido de madeira com casca (m ³ /ha) com as propriedades físicas e químicas dos solos para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F26, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios.	98
32 Valor médio observado, predito e erro médio de estimação das variáveis índice de sítio (IS) e	

Tabela	Página
<p>volume sólido de madeira com casca (VS) para os sítios de <i>E. saligna</i>, determinados através das equações de regressões múltiplas ajustadas para os sítios de <i>E. grandis</i>.</p>	99
<p>33 Equações de regressão múltipla que relacionam o índice de sítio (m) e o volume sólido de madeira com casca (m³/ha) com as propriedades físicas e químicas dos solos dos sítios D7, D8, D9, ... e D20, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios.</p>	102
<p>34 Valor observado, predito e erro de estimação das variáveis índice de sítio (IS) e volume sólido de madeira com casca (VS), para diversos sítios, determinados através das equações ajustadas para os sítios D7, D8, ..., D20 na profundidade de 0-10 cm.</p>	104
<p>35 Forma de apresentação e freqüência de ocorrência (valores entre parênteses) das variáveis independentes encontradas nas diversas equações de regressão múltipla ajustadas (Tabelas 28, 29, 30, 31 e 33).</p>	107
<p>36 Freqüência de ocorrência para as principais variáveis independentes encontradas nas diversas equações de regressão múltipla ajustadas (Tabelas 28, 29, 30, 31 e 33).</p>	108
<p>37 Principais variáveis independentes encontradas nas equações de regressão múltipla e suas cor-</p>	

Tabela	Página
relacionadas, que apresentam coeficientes de correlação iguais ou superiores a 0,40 (valores entre parênteses), obtidos através de uma matriz de correlação onde consideram-se todas variáveis e profundidades, ao mesmo tempo.	110
38 Índice de sítio predito (variável dependente) e variáveis independentes incluídas na equação de regressão múltipla ajustada para os sítios D7, D8, ... e D20, na profundidade de 20-30 cm (Tabela 33).	117
39 Classificação hipotética de intervalos de variação do índice de sítio.	118

INTERAÇÕES GENÓTIPO - AMBIENTE E RELAÇÕES ENTRE A
PRODUTIVIDADE DE SÍTIOS FLORESTAIS DE *Eucalyptus grandis* E
Eucalyptus saligna COM AS PROPRIEDADES DE ALGUNS SOLOS DE
TEXTURA ARENOSA E MÉDIA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Autor: JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Orientador: PROF. DR. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

RESUMO

Constituíram-se em objetivos da presente pesquisa: a) determinar a contribuição da variação do solo e da variação devida à interação do genótipo com o solo frente à variação fenotípica total, existente entre sítios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *E. saligna* Smith, em solos de baixo potencial produtivo do Estado de São Paulo; e b) determinar as relações existentes entre a produtividade destes sítios florestais com algumas propriedades físicas e químicas dos solos.

Para isto foram selecionados 18 sítios de *E. grandis* e 8 sítios de *E. saligna*, localizados em diversos povoamentos comerciais do Estado de São Paulo.

Os sítios apresentaram homogeneidade de "stand", características climáticas e topográficas semelhantes, por outro lado, foram bastante diversos quanto as suas

produtividades e propriedades edáficas.

Em cada sítio foi demarcada uma parcela, constituída de forma retangular, englobando os limites correspondentes a 10 linhas de plantio, com 10 árvores em cada linha, somando, aproximadamente, 100 árvores. Foram realizadas as seguintes avaliações dendrométricas: altura média de todas as árvores dominantes, índice de sítio, diâmetro médio à altura do peito (DAP), volume sólido de madeira com casca e sem casca, volume empilhado e área basal. Os solos de todos os sítios foram caracterizados física, química e morfologicamente.

Para a determinação da contribuição da variação do solo e da variação devida à interação do genótipo com o solo frente à variação fenotípica total, existente entre as espécies estudadas, fez-se análises de variância conjunta. O desdobramento destas análises permitiram a estimação de diversos parâmetros genéticos e fenotípicos, a partir das características área basal/ha, volume sólido com casca/ha, altura média e DAP médio de 5 sítios de *E. grandis* e *E. saligna*.

As relações existentes entre as produtividades dos sítios de *E. grandis* e *E. saligna* e as características físicas e químicas dos solos foram determinadas através de análises de regressão múltipla.

Verificou-se que a contribuição da variação ambiental (predominantemente a do solo), e a da variação devida a interação genótipo-ambiente frente a variação feno-

típica total, entre os sítios de *E. grandis* e *E. saligna*, foram significativamente altas.

O volume sólido de madeira com casca relacionou-se melhor do que o índice de sítio com as características físicas e químicas dos solos, quando consideraram-se os coeficientes de determinação e o número de variáveis independentes presentes nas equações de regressão múltipla ajustadas. Entretanto, os valores preditos pelas equações, que tiveram como variável dependente o índice sítio, foram mais próximos dos reais, relativamente aos obtidos pelas equações cuja variável dependente foi o volume sólido de madeira com casca.

As equações que relacionaram o volume sólido de madeira com casca com as propriedades dos solos foram mais precisas quando consideraram-se as camadas superficiais de solo, até 20 cm de profundidade. Isso é uma evidência de que essa camada de solo é a mais indicada para amostragens destinadas a avaliação da fertilidade de solo, com fins de implantação de povoamentos de *E. grandis* e *E. saligna*.

As propriedades pH em CaCl_2 , teor de silte, teor de fósforo assimilável, teor de SiO_2 da argila e teor de matéria orgânica foram as que apresentaram melhores relações com a produtividade do sítio.

As espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram relações semelhantes entre as variáveis dependentes com as variáveis independentes nas equações ajustadas, tendo sido possível, a partir destas, subdividir em classes de

produtividade os sítios florestais pertencentes a uma mesma unidade taxonômica e de mapeamento de solo.

GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTIONS AND RELATIONSHIPS BETWEEN
SITE PRODUCTIVITY AND SOME SANDY AND MEDIUM TEXTURE SOILS
IN THE STATE OF SÃO PAULO FOR *Eucalyptus grandis*
AND *Eucalyptus saligna*

Author: JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Adviser: PROF. DR. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

SUMMARY

The main objectives of this thesis were: a) to determine the contribution of soil variability and the interactions of genotypes and soils in relation to the total phenotype variability in sites of low productivity potential of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *E. saligna* Smith in the State of São Paulo; and b) to determine the relationships between site productivity and some physical and chemical characteristics of these soils.

For this study, 18 sites of *E. grandis* and 8 sites of *E. saligna*, located in commercial forestry stands in the State of São Paulo, were selected. These sites showed high homogeneity in terms of forest stand, climate and topography. On the other hand, these sites showed variability both in terms of their forest productivity and of soil

characteristics.

In each site, one rectangular plot was located, so as to include 10 lines of trees, each line with 10 trees, with a total of approximately 100 trees per plot. The following dendrometric parameters were recorded: mean height of all trees, mean height of the dominant trees, site index, mean dbh, solid volume with and without bark, stacked wood volume and basal area. The soils on all sites were characterized in terms of their physical, chemical and morphological features.

To determine the contribution of soil variability and the variability due to interactions of genotype and soil in relation total phenotype variability, joint analyses of variance was performed. These analyses allowed the estimation of various genetic and phenotypic parameters, basal area/ha, solid volume with bark/ha, mean height and mean dbh for 5 sites of *E. grandis* and *E. saligna*. The relationships between site productivity and soil physical and chemical characteristics were determined by multiple regression analyses.

It was found that the contribution of environmental of (mainly due to soil), and the variability due to genotype-environment interaction in relation to the total phenotype variability was significantly high.

The volume of solid wood with bark was more related to soil physical and chemical characteristics than the site index, when the coefficients of determination and

the number of independent variables in the adjusted multiple regression equations were considered. However, the values predicted by the equations, which had as dependent variables the site index, were more similar to the real ones, if compared with those obtained by equations which had as dependent variables the solid wood volume with bark.

The equations relating solid wood volume with bark with soil characteristics were found to be more precise when the superficial soil layers (up to 20 cm depth) were considered. This indicates that these topsoil layers were more appropriate for sampling purposes to evaluate soil fertility in *E. grandis* and *E. saligna* plantations.

The soil characteristics pH in CaCl_2 , silt content, available phosphorus, total clay SiO_2 content and organic matter content showed the best relationships with site productivity.

E. grandis and *E. saligna* showed similar relationships for dependent and independent variables in the adjusted equations, thus allowing, the division of sites of the same soil taxonomic and mapping unity into distinct classes of forestry productivity.

1. INTRODUÇÃO

Estruturadamente, o presente trabalho fundamenta-se em duas grandes questões-problema:

- 1ª Q.) Qual a contribuição da variação ambiental e da variação devido a interação genótipo-ambiente perante a variação fenotípica total existente entre sítios de *E. grandis* e *E. saligna*, em solos de baixo potencial produtivo do Estado de São Paulo?

A relevância teórico-científica desta questão está associada, basicamente, ao planejamento das estratégias de melhoramento genético e às recomendações de plantio destas espécies em função de suas exigências edáficas.

As características fenotípicas normalmente avaliadas são compostas de um efeito genético e outro não genético. O efeito não genético, atribuído a variação ambiental e à interação do genótipo com o ambiente, atua contra os interesses do melhorista. Obviamente que, o êxito do processo seletivo dependerá da percentagem relativa da variação genética comparativamente à variação fenotípica total e, sobretudo, de seu valor relativo frente àquela de natureza não genética. Portanto, o melhorista, no controle

de suas atribuições, além de um efetivo conhecimento da variabilidade genética de seu material de trabalho, deve também conhecer as interações e relações do genótipo com as condições ambientais, que constituem subsídios imprescindíveis para extrapolações e recomendações de plantio do material selecionado.

O fator solo é um dos componentes essenciais dentre os diversos fatores ambientais envolvidos, que se interagem de forma ampla e complexa. Por esta razão, apresentou-se como um dos objetivos alvos desta pesquisa.

Dentro deste enfoque, elaborou-se para esta questão, a seguinte hipótese de trabalho:

"Quanto maior a variabilidade das características edáficas entre sítios florestais de *E. grandis* e *E. saligna*, maior será a porção representada pela variância devida ao solo e a da interação do genótipo com o solo, perante a variância fenotípica total".

2ª Q.) Como o crescimento das árvores em sítios florestais de *E. grandis* e *E. saligna* relaciona-se com as propriedades físicas e químicas dos solos, na sua maioria, de textura arenosa?

O fundamento desta questão está no fato de que, genericamente, a viabilidade de aproveitamento dos recursos naturais tendo em vista a exploração econômica de seu potencial, é avaliada através das propriedades edáficas de

uma determinada área, dentre outras. Estas propriedades podem atuar isolada ou conjuntamente. Em função de um prévio conhecimento das relações existentes entre o crescimento das essências florestais com as propriedades edáficas de uma determinada área, é possível avaliar a maior ou menor adequabilidade da terra para cada atividade, dentro de um plano anteriormente sugerido para a área. Com isso pode-se determinar as alternativas econômicas para aquisição de terras, a recomendação da intensidade de práticas silviculturais e a previsão da produção por ocasião da exploração florestal.

Relativamente a esta questão, trabalhou-se com a seguinte hipótese de trabalho:

"Quanto maior a amplitude de variação das propriedades físicas e químicas do solos ocorrentes em sítios florestais de *E. grandis* e *E. saligna*, mantendo-se as condições climáticas e topográficas constantes, maiores as relações existentes entre estas características com o crescimento dessas espécies".

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Interações Genótipo - Ambiente (IGA)

A produtividade do sítio* e as variações de produtividade existente entre sítios são determinadas por fatores bióticos, abióticos e pela interação de ambos, o que pode ser representado da seguinte forma:

$$\text{Produtividade do sítio} = \left[\begin{array}{c} \text{Potencial} \\ \text{Biótico} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Fatores} \\ \text{Abióticos} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Potencial Fatores} \\ \text{Biótico} \times \text{Abióticos} \end{array} \right]$$

Verifica-se pela representação acima que o fenótipo é a expressão do genótipo, ambiente e da interação de ambos (SWITZER, 1978). A interação do potencial biótico com os fatores abióticos, também denominada interação genótipo-ambiente, é definida por QUIJADA (1980) como a falta de uniformidade de dois ou mais grupos de plantas cultivadas em dois ou mais ambientes. Um grupo pode demonstrar um bom

* Os termos "produtividade do sítio" e "qualidade do sítio" são sinônimos (RALSTON, 1967); e o termo "sítio" é utilizado para designar uma unidade de área indivisível em termos de produtividade florestal, sendo reflexo, em última análise, da ação e interação de todos os fatores bióticos e abióticos que afetam o crescimento (GONÇALVES, 1988).

crescimento num sítio e um péssimo crescimento num outro sítio.

A título de ilustração de possíveis IGA, pode-se considerar as situações apresentadas na Figura 1.

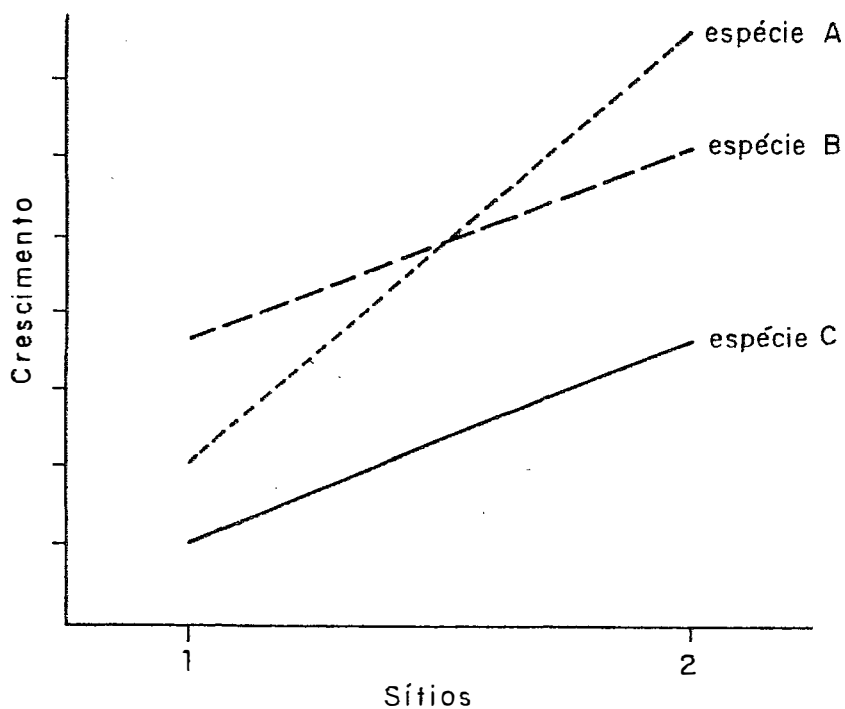


Figura 1 - Exemplos de interações que podem ocorrer entre três espécies florestais com dois sítios.

Nas situações especificadas, a espécie B apresenta maior crescimento do que a espécie C nos sítios 1 e 2. Entretanto, a diferença de crescimento e a posição relativa entre elas permaneceram inalteradas nos dois sítios. Esse exemplo caracteriza a existência de diferenças genéticas e ambientais, e a não existência de IGA. Por outro lado, quando considera-se o crescimento relativo das espécies A e B, e A e C, nos dois sítios, observa-se que houve um comportamento inverso entre as espécies A e B e um maior crescimento da espécie A comparativamente a espécie C, no sítio 2. Observa-se também, que nos dois casos, há mudanças no crescimento e posição relativa entre as espécies, caracterizando a existência de IGA. A IGA que ocorre entre as espécies A e C é denominada interação simples. E a que ocorre entre as espécies A e B é denominada interação complexa.

A existência da IGA reflete a ocorrência de variações ambientais e de exigências ou de tolerâncias distintas dos genótipos, tanto a nível de macro quanto a nível de micro ambientes. Outrossim, estas interações podem ser reflexos de variações climáticas estacionais. A IGA é uma das razões fundamentais de se fazer a repetição experimental em diversas áreas - controle local da variação ambiental - e épocas - controle da variação climática estacional - (QUIJADA, 1980).

Normalmente, o problema da diversidade ambiental é maior nas áreas florestais do que nas áreas agrícolas,

basicamente pelas seguintes razões: comumente os projetos florestais precisam de áreas mais amplas para atender os seus objetivos; as plantas arbóreas requerem um maior espaço vital para o seu crescimento; e nos cultivos agrícolas intensivos o maior controle de ervas daninhas, o uso de doses elevadas de fertilizantes e corretivos, e irrigações intensas, promovem uma maior uniformidade ambiental (GODDARD & HOLLIS, 1984).

A IGA pode ser considerada como um indicador de estabilidade relativa de um genótipo. Se a IGA aproxima-se de zero os genótipos são bastante estáveis para as características em consideração. Por outro lado, quanto maior a IGA mais instável é o genótipo. Os genótipos com uma grande capacidade de adaptação, determinada por interações nulas ou de pouca significância, são denominados plásticos. E os genótipos com uma alta susceptibilidade a pequenas variações do ambiente são denominados de rígidos (QUIJADA, 1980). A tendência atual das estratégias de melhoramento é produzir genótipos com um amplo espectro de adaptabilidade, o que pode representar, no cômputo geral, maiores rendimentos em função dos menores custos.

Na atividade florestal podem-se distinguir diferentes níveis de interação genótipo-ambiente, tendo por base a constituição genética em questão. Assim observa-se a existência de interações espécie x ambiente, procedência x ambiente, progênie x ambiente e clone x ambiente. A nível de espécie, a capacidade de adaptação das plantas ao ambiente é

maior, de modo que, para a detecção da interação genótipo-ambiente fazem-se necessárias amplas variações ambientais. Genericamente, pode-se dizer que quanto mais elevado o nível de melhoramento do genótipo, como por exemplo, a nível de progênies e clones, mais sensíveis são estes a pequenas variações do ambiente, sendo mais fácil observar as IGA.

Preferencialmente, o melhorista não deve apenas identificar os genótipos e ambientes que contribuem para as interações, mas também quantificar e entender os mecanismos genéticos e características ambientais envolvidas (BARNES, 1984). Na prática, o isolamento dos fatores ambientais responsáveis pelas IGA, tendo em vista objetivos pré-estabelecidos nos programas de melhoramento, requer metodologias muito trabalhosas e dispendiosas. Entretanto, com a ampliação do conhecimento da variabilidade genética do material de trabalho e dos fatores ambientais responsáveis pelas interações, os melhoristas ficam mais aptos para o planejamento dos delineamentos experimentais, melhorando consideravelmente a eficiência dos experimentos e a interpretação dos resultados.

A despeito da escassez de especificidade experimental para a quantificação da IGA, muitas espécies, procedências e testes de progênies têm sido plantadas sobre diversos sítios e a interpretação dos resultados tem sido feita utilizando-se de diversas metodologias estatísticas. Elas incluem análises de variância, com várias modificações, regressões múltiplas, correlações genéticas e análises

multivariadas (SHELBOURNE & CAMPBELL, 1976; BARNES *et alii*, 1984). Na grande maioria dos trabalhos, os resultados destas análises têm levado a uma simples identificação da IGA, e poucos têm obtido sucesso na explicação ou quantificação das IGA em termos de variações ambientais mensuráveis (BARNES, 1984). Se a IGA não puder ser associada a adaptações fisiológicas relacionadas com os fatores ambientais, ela pouco mais significará do que erros experimentais adicionais (GODDARD, 1977).

2.2. Interação do Genótipo com as Propriedades Edáficas de Sítios Florestais

A produtividade do sítio é regulada pela quantidade e disponibilidade de materiais abióticos utilizados no crescimento das árvores. Os principais materiais abióticos são a água e os nutrientes, os quais têm sua qualidade e disponibilidade intimamente relacionadas com as propriedades do solo (SWITZER, 1978). Segundo QUIJADA (1980), dentre os fatores ambientais que influem na IGA, os fatores edáficos, comparativamente aos fatores climáticos, precisam de menores distâncias entre os locais de experimentação para serem detectados, além de serem os principais determinantes das interações (BARNES, 1984).

Como deixou-se entender no item anterior, os estudos que visam a detecção de interações do genótipo com algum fator específico do ambiente são difíceis de serem

postos em prática, além de trabalhosos e dispendiosos. Os trabalhos que tiveram como tema estes objetivos foram poucos (BARNES *et alii*, 1984) e, na maioria das vezes, quando obtiveram sucesso, não conseguiram detectar interações que pudessem ser efetivamente utilizadas como estratégias de melhoramento. Entretanto, como salienta GODDARD & HOLLIS (1984), as interações do tipo genótipo x fatores edáficos apresentam grande potencial de uso nos programas de melhoramento, sobretudo nos sítios de baixa produtividade e para espécies consideradas como de rápido crescimento.

Substanciais efeitos da IGA a nível de procedências, progênies e clones de espécies de rápido crescimento foram observadas em diferentes condições climáticas e edáficas, como por exemplo: *Pinus radiata* (SCHUTZ, 1976), *Pinus elliottii* (GODDARD, 1977), *Eucalyptus grandis* (KAGEYAMA, 1980 e MORAES, 1987) *Pinus patula* (BARNES, 1977), *Pinus taeda* (OWINO, 1977), *Pinus caribaea* (EISEMANN & NIKLES, 1981), *Eucalyptus saligna* (MORI *et alii*, 1986), *Eucalyptus* spp (MORA, 1986), *Eucalyptus urophylla* (MORI *et alii*, 1988). Entretanto, em nenhum destes trabalhos foram identificados e caracterizados os fatores edáficos específicos responsáveis pelas IGA. Apenas associaram-se, hipoteticamente, as IGA obtidas com os fatores ambientais (clima, fisiografia e solo) mais prováveis pela interação.

A possibilidade de se explorar eficientemente as interações genótipo x nutriente ou genótipo x água dependerá, basicamente, do bom entrosamento entre geneticistas e

fisiologistas (NAMBIAR, 1984; COTTERILL, 1986), desde que tenham em mãos uma detalhada caracterização dos fatores edáficos, climáticos e fisiográficos. É importante ressaltar que as interações entre genótipos com a disponibilidade de água e nutrientes só se tornam evidentes nos experimentos, cujas variações genéticas e ambientais foram bem controladas.

Num nível básico de cooperação, fisiologistas e silvicultores devem iniciar as pesquisas com mudas ou árvores de "pedigree" conhecido. Preferivelmente, devem ser usadas progênies e clones que já foram testadas no campo e que já tenham seus comportamentos interativos conhecidos. LEDIG & PERRY (1967), CANNEL *et alii* (1978), COTTERILL & NAMBIAR (1981) e SANDS *et alii* (1984) demonstraram as vantagens desta forma de abordagem. Diferenças distintas em resposta a disponibilidade de nutrientes são mais eficientemente encontradas entre propágulos vegetativos (CURLIN, 1967) do que entre progênies.

BROWN (1970) em um experimento com mudas de três procedências de *Pinus silvestris* provenientes da Suécia, Alemanha e Espanha, crescidas em três níveis de umidade e de disponibilidade de nutrientes, encontrou que as mudas das procedências da Suécia e Alemanha, aos 90 dias de idade, tiveram melhor desenvolvimento nos níveis médios de umidade e nutrientes e, a procedência da Espanha cresceu melhor com baixo nível de nutrientes e alto nível de umidade. O crescimento das raízes foi mais afetado do que a da

parte aérea, especialmente nessa procedência, que teve o melhor crescimento de raízes e parte aérea no tratamento que proporcionou o melhor crescimento. CANNELL *et alii* (1978) também observaram que o nível de nutrientes não deve ser considerado independentemente do nível de umidade do solo, pois entre eles ocorrem interações com grande resposta por parte do crescimento vegetal. Tem sido observado que a adaptação genética a amplas variações climáticas e edáficas, a nível de espécie, é resultante de diferenças morfológicas e fisiológicas das raízes, sendo a disponibilidade de nutrientes do solo uma das causas fundamentais dessa adaptação (GODDARD & HOLLIS, 1984).

Novas estratégias de melhoramento que contemplan o uso das interações de genótipos com as condições edáficas precisam ser formuladas. Numa fase inicial deverá surgir como dúvida se os genótipos a serem desenvolvidos devem ser indicados para uma diversidade edáfica ampla ou restrita, por conseguinte, com implicação na quantidade de genótipos que devem ser obtidos. É claro que a resposta para essa dúvida está, basicamente, na significância das interações dos genótipos de trabalho com os fatores edáficos e com o volume de recursos e tempo requeridos.

Para a identificação e quantificação dos fatores edáficos responsáveis pelas IGA são imprescindíveis o uso de métodos adequados de classificação de sítios florestais. Somente assim será possível prever a performance de genótipos em sítios não testados e planejar

estratégias de melhoramento, que permitirão, efetivamente, o uso das interações do genótipo com as condições edáficas.

2.3. Métodos de Estimar a Produtividade do Sítio

Os métodos utilizados para estimar a produtividade de sítios florestais são normalmente agrupados em métodos diretos e indiretos. Nos métodos diretos a produtividade do sítio é estimada diretamente das avaliações do crescimento das árvores que ocorrem no sítio, e nos métodos indiretos, a produtividade do sítio é estimada indiretamente, tendo por base as características ambientais ou plantas indicadoras ocorrentes na área.

Nas áreas que não possuem povoamentos florestais adequados para as avaliações de crescimento das árvores, a produtividade do sítio é estimada pelos métodos indiretos, entre os quais, os métodos denominados solo-sítio e levantamento de solo são os mais difundidos no setor florestal brasileiro.

2.3.1. Métodos Diretos

A produtividade do sítio estimada por métodos diretos tem sido expressa, comumente, em termos da produção volumétrica ou gravimétrica de madeira por unidade de área. Ela também pode ser expressa em termos da produção de celulose, resina, carvão, equivalentes caloríficos de

madeira e outros, dependendo dos objetivos finais da atividade florestal. Entretanto, o índice de sítio tem sido apontado por muitos pesquisadores como o mais adequado para a estimação da produtividade do sítio, por ser de fácil obtenção e não ser influenciado pela densidade de árvores do povoamento.

Conceitualmente, índice de sítio é o termo usado para expressar a altura média das árvores dominantes ou dominantes e codominantes conjuntamente, em uma idade específica (CARMEAN, 1975). Em povoamentos mais jovens ou mais velhos do que a idade pré-estabelecida, o cálculo do índice de sítio pode ser obtido através de famílias de curvas, que relacionam a altura média das árvores dominantes ou dominantes e codominantes conjuntamente com suas respectivas idades (HÄGGLUNG, 1981).

A estimativa do índice de sítio com base na média das árvores dominantes, para diversas espécies, tem mostrado que os valores obtidos são menos sujeitos a erros de amostragem do que os obtidos com os valores médios das árvores dominantes e codominantes conjuntamente (KER, 1952; DAHMS, 1966). Os motivos desta constatação estão relacionados com a menor variação de altura das árvores dominantes comparativamente as árvores codominantes, sob efeito dos vários fatores biológicos e ambientais que podem afetar o crescimento em altura das árvores. Conseqüentemente, em se tratando de árvores dominantes, consegue-se médias com bom nível de precisão medindo-se poucas árvores. Tais árvores

são comuns em povoamentos bem conduzidos, não alterados por desbastes pesados, grande mortandade de árvores, ou qualquer outro agente de grande influência sobre o crescimento em altura das árvores.

CARMEAN (1975) relata que as curvas que relacionam a altura média das árvores dominantes com a idade podem ter suas tendências alteradas nos anos de seca prolongada ou chuvas atípicas, condições climáticas que alteram o padrão de crescimento em altura das árvores. Como resultado, as estimativas do índice de sítio poderão ser sub ou superestimadas, respectivamente.

Uma vez estimado, o índice de sítio pode ser utilizado para prever a produtividade do sítio em termos de volume de madeira por unidade de área ou outras unidades de produção, desde que haja tabelas que permitam tais conversões. Conclusivamente, o índice de sítio constitui-se num conveniente e útil guia para se estimar a qualidade de sítio, podendo também ser um passo intermediário na previsão da produção volumétrica de madeira do sítio.

2.3.2. Métodos Indiretos

2.3.2.1. Métodos que Relacionam Solo-Sítio

Esse método se baseia na locação de parcelas em povoamentos florestais, abrangendo uma série de sítios com diferentes capacidades produtivas, em função das varia-

ções climáticas, fisiográficas e edáficas existentes na área ou região florestal designada para o estudo. Na etapa seguinte, os índices de sítio estimados, a partir das árvores existentes nas parcelas demarcadas, são correlacionadas com as características climáticas, fisiográficas e edáficas avaliadas através do uso de regressões múltiplas. Para esse objetivo as características do sítio não precisam ser fatores causais, mas devem ser consistentemente correlacionadas com o índice de sítio. As equações resultantes são utilizadas para o cálculo de tabelas e formulação de gráficos, que permitem a estimação do índice de sítio. As características comumente correlacionadas com o índice de sítio devem ser facilmente reconhecidas e mapeadas pelo silvicultor.

A precisão destes estudos é muito variável e depende de diversos fatores relativos: a definição da área de estudo; a natureza dos povoamentos e as condições dos sítios dentro da área de estudo; e a habilidade de observação, percepção e formulação de hipóteses de trabalho pelo pesquisador (CARMEAN, 1975).

Áreas muito amplas, estendendo-se por grandes variações geológicas, fisiográficas, edáficas e climáticas requerem uma maior quantidade de parcelas para que a amostragem seja apropriada. Em contraste, pequenas áreas têm, relativamente, menores variações em suas características e requerem um menor número de parcelas. O melhor é selecionar áreas de tamanho médio, com características geológicas, fisiográficas, edáficas e climáticas bem definidas.

As equações obtidas com os estudos do tipo relação solo-sítio somente podem ser aplicadas em áreas cujas características ambientais assemelham-se às áreas que deram origem as equações. Além disso, as correlações solo-sítio são geralmente baseadas em parcelas localizadas em povoamentos que não apresentam distúrbios edáficos. Desta forma os resultados não são aplicados às áreas cujos solos foram seriamente alterados pela erosão e cultivos agrícolas, por exemplo. As parcelas devem ser representativas de todos os sítios que ocorrem na área de estudo. Deve-se tomar cuidado para que as condições edáficas e fisiográficas mais comuns não sejam super-amostradas, relativamente às menos comuns.

Para o emprego de estudos que relacionam solo-sítio em áreas reflorestadas com *Eucalyptus* e *Pinus* deve-se selecionar, preferencialmente, povoamentos de bom padrão silvicultural, coetâneos e que apresentam entre si grandes diferenças de índices de sítio. Se os índices de sítio forem semelhantes, provavelmente, as variáveis independentes utilizadas nas análises de regressão múltipla não explicarão as pequenas variações deste índice.

As observações, percepções e hipóteses de trabalho formuladas pelo pesquisador durante a fase de campo são de grande valia para a definição da precisão do estudo. É por meio destas que o pesquisador conseguirá: uma amostragem mais adequada das variações edáficas e fisiográficas existentes na área de estudo; priorizar a caracterização das variáveis do sítio mais relacionadas com as variações do ín-

dice de sítio; e distinguir mais facilmente as expectativas lógicas de melhores correlações durante as análises estatísticas no computador.

2.3.2.1.1. Verificação da Precisão das Equações de Regressão Múltipla Obtidas nos Estudos de Relação Solo-Sítio

A verificação da precisão de equações de regressão múltipla, que relacionam a qualidade de sítio com características edáficas, fisiográficas e climáticas, tem sido feita a partir da significância estatística dos valores obtidos para os coeficientes de determinação (R^2) e erro padrão de estimação ($S_{y,x}$). Pouco se tem questionado a respeito da validade desta metodologia estatística para atender estes objetivos, como o faz FURNIVAL (1964). Por exemplo, pode-se levantar as seguintes questões:

- As equações ajustadas para uma determinada área florestal apresentam boa precisão preditiva da produtividade do sítio em todos locais no interior desta área?
- Qual a precisão destas equações em outras áreas, onde supõe-se sua aplicabilidade?

O melhor teste para as equações de regressão, com intuito de responder a estas indagações, é a realização de comparações entre as medidas das variáveis dependentes preditas, no grupo de parcelas que deram origem as equações, versus as observadas em um grupo de parcelas a parte e simi-

lares às primeiras. As variáveis dependentes preditas e as observadas podem ser comparadas graficamente ou através de análises de correlação padrão (McQUILKIN, 1976). Utilizando-se desta metodologia, BROADFOOT (1969), FRAYER *et alii* (1971), GRANEY & FERGUSON (1971 e 1972), BOWERSOX & WARD (1972) e McQUILKIN (1976) selecionaram, aleatoriamente, cerca de dois terços das parcelas representativas dos sítios, para o ajuste das regressões múltiplas, deixando as remanescentes, como parcelas de checagem do poder preditivo da qualidade de sítio das equações de regressão ajustadas.

GRANEY & FERGUSON (1971) e BOWERSOX & WARD (1972) verificaram que as equações de regressão ajustadas prediziam precisamente a qualidade de sítio, neste caso, o índice de sítio, nas parcelas de checagem. Contrariamente, BROADFOOT (1969), FRAYER *et alii* (1971) e McQUILKIN (1976) observaram que as equações de regressão ajustadas não apresentaram boa precisão preditiva do índice de sítio nas parcelas de checagem. Nos casos em que as equações de regressão apresentaram uma boa precisão preditiva das variáveis dependentes, os pesquisadores atribuíram este sucesso a uma boa amostragem de campo das diversas variações da qualidade de sítio existentes, aliado ao fato de que as áreas em estudo eram relativamente pequenas e sem grandes oscilações em suas características edáficas e fisiográficas. Em outras palavras, as parcelas utilizadas no ajuste das equações e as parcelas de checagem foram representativas das condições globais das área de estudo.

Diferentemente, os pesquisadores que verificaram a inexistência de precisão preditiva das variáveis dependentes das equações de regressão atribuíram o fato a grande extensão e variabilidade ambiental de suas condições de trabalho. McQUILKIN (1976) ressalta com veemência a existência, nestes casos, de inter-correlações e interações entre as variáveis independentes, que tornam as relações solo-sítio complexas e difíceis de serem explicadas. Um alto grau de correlação entre variáveis independentes obscurecem as relações existentes entre as características de solo e fisiografia com as variáveis dependentes, impossibilitando a identificação de características que explicam precisamente as variações da qualidade de sítio. Tanto por correlações primárias como secundárias destas variáveis com outras conhecidas ou desconhecidas.

Segundo CARMEAN (1975), grande parte das dificuldades de ajuste de equações de regressão com boa precisão preditiva se encontra no fato de que as causas primárias da qualidade de sítio, umidade, aeração do solo, quantidade e disponibilidade de nutrientes, dentre outras, não são medidas diretamente, mas inferidas indiretamente de características edáficas e topográficas secundárias, como, o aspecto, a profundidade e a textura do solo, por exemplo.

2.3.2.2. Levantamento de Solo

"O objetivo principal do Levantamento de Solo é o conhecimento da natureza e distribuição das unidades pedológicas, procurando identificar e cartografar os solos ocorrentes em dada área, através da caracterização morfológica e analítica das unidades de solo, da maneira mais completa possível, utilizando-se de um sistema natural de classificação de solos" (GONÇALVES, 1988).

Já na sua concepção, os Sistemas de Classificação de Solos, empregados nos Levantamentos de Solo, foram eminentemente desenvolvidos para fins agrícolas, por conseguinte, com metodologias taxonômicas apropriadas para esse objetivo. Em decorrência disso, com o transcorrer dos anos, acumulou-se um volume de informações sobre as relações existentes entre a produtividade vegetal e as unidades taxonômicas de solo muito maior no setor agrícola, relativamente à encontrada no setor florestal. Particularmente para o setor florestal brasileiro, somente nos últimos quinze anos é que foi intensificado o uso desta metodologia para a classificação de sítios florestais, naturalmente, período que coincide com a maior evolução dos critérios utilizados para classificar e interpretar os levantamentos de solo.

Alguns pesquisadores CHANDLER *et alii* (1943), BROADFOOT (1963), PHILLIPS & MARKLEY (1963), FARRINGTON & HOWARD (1959), LOFTIN *et alii* (1959) e SHETRON (1972), entre

outros, têm conseguido boas correlações entre as unidades de solo mapeadas com o crescimento das árvores, e outros não, CARMEAN (1961), FARNSWORTH & LEAF (1965), LEAR & HOSNER (1967). Contudo, para espécies e condições ambientais diferentes das brasileiras. Dada a grande divergência dos resultados obtidos, CARMEAN (1961) e SHETRON (1972) ressaltam a necessidade de aprimoramentos dos critérios pedológicos adotados no levantamento de solo para uma precisa avaliação da qualidade de sítio.

Os trabalhos citados que correlacionaram as unidades de solo com a qualidade de sítio, na maioria das vezes representada pelo índice de sítio, revelam uma grande variação do índice de sítio dentro de cada unidade de solo. Além disso, em muitos casos, os valores médios dos índices de sítios obtidos foram similares entre diversas unidades de solo. A reclassificação dessas unidades de solo, em novas unidades taxonômicas, não melhorou as relações existentes entre o índice de sítio com as unidades de solo (CARMEAN, 1961).

Aparentemente, estas profundas variações do índice de sítio, numa mesma unidade de solo, são devidas a certas características fisiográficas e de solo, que são intimamente relacionadas com o crescimento das árvores, mas não são incluídas nas definições das unidades taxonômicas e unidades de mapeamento dos solos. Quando são incluídas, freqüentemente, são de formas muito gerais, ou são baseadas em considerações outras, que não se aplicam as áreas flores-

tais, dada a concepção eminentemente agrícola do sistema de classificação do solo.

2.4. Influência das Propriedades do Solo na Produtividade Florestal

O crescimento observado de uma árvore ou povoamento florestal é resultante de processos fisiológicos, que são condicionados por um complexo de fatores biológicos e ambientais. Os principais determinantes biológicos da produtividade florestal são: a variabilidade genética, a densidade do povoamento, a competição entre plantas e a intensidade de doenças e pragas. E os principais determinantes ambientais da produtividade florestal são: o clima, a fisiografia e o solo. Quando os fatores climáticos e fisiográficos mantêm-se constantes, mediante procedimentos adequados de estratificação, as propriedades do solo se convertem no fator principal do ambiente físico, que tem uma relação apreciável com o crescimento da árvore. Os fatores climáticos e fisiográficos normalmente não são alterados pela atividade florestal, apenas os fatores edáficos (RALSTON, 1967).

"Numerosos estudos têm sido conduzidos para verificar as relações existentes entre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos com o crescimento das florestas. A produtividade do sítio é amplamente determinada pelas propriedades do solo ou outras características do

sítio que influenciam na qualidade e quantidade de espaço para o crescimento das raízes (COILE, 1952)". Dentre as propriedades do solo que influenciam na estrutura, distribuição e comportamento fisiológico das raízes destacam-se aquelas relativas à capacidade de suprimento de água e nutrientes para as árvores.

2.4.1. Relações Entre a Capacidade de Suprimento de Água Pelo Solo com a Produtividade do Sítio

Freqüentemente, a disponibilidade de água de um solo é o fator que mais determina o crescimento das árvores. HAIG (1929) estudou as relações existentes entre o índice de sítio encontrado em plantações de *Pinus resinosa* com as características texturais de vários horizontes do solo. Os povoamentos sobre solos de textura franca arenosa e franca apresentaram índices de sítio consideravelmente superiores aqueles obtidos em solos de textura arenosa e areia franca. Num outro estudo, Stoecheler (1948) citado por HAIG (1929) verificou que, em povoamentos de *Populus tremuloides* com idades que variavam de 20 a 60 anos, a produtividade dessa espécie aumentava proporcionalmente com o aumento do conteúdo de argila e silte, até um nível ótimo de 50 a 55% dessas frações texturais, daí por diante interferindo negativamente na produtividade. Para RALSTON (1964 e 1967) o crescimento das árvores se elevam com o aumento do teor de silte e argila, devido a um suprimento mais favorável de

água e nutrientes, até um ponto em que o acréscimo de partículas finas comprometem a aeração do solo. Conseqüentemente, admite-se que o potencial de crescimento das florestas apresenta uma resposta curvilínea relativamente ao acréscimo dos teores de silte e argila em áreas com solos bem drenados, mas com amplas variações texturais. Segundo STROTHMANN (1960) moderadas quantidades de fragmentos grosseiros podem favorecer a penetração profunda de chuvas brandas, reduzindo as perdas por evaporação. Todavia, grandes reduções no volume efetivo de solo, devidas ao aumento das quantidades de cascalho e pedregulho, decrescem a capacidade de retenção e armazenamento de umidade do solo.

Uma outra característica do perfil do solo de grande influência no suprimento de água e no livre crescimento do sistema radicular é a profundidade efetiva do solo. Quando essa característica varia, devido a presença de camadas de impedimento físico, como por exemplo o horizonte plíntico, fragipan e duripan, ou outros horizontes de baixa permeabilidade para as raízes, o padrão de crescimento das árvores pode ser razoavelmente predito (KARSCHON & PRAAG, 1954; COPELAND, 1958; ZAHNER, 1958). Geralmente, o potencial de crescimento da floresta apresenta uma relação direta com a profundidade efetiva do solo, notoriamente nas áreas em que os solos apresentam balanços hídricos com elevadas deficiências hídricas.

2.4.2. Relações Entre as Propriedades Químicas do Solo com a Produtividade do Sítio

A grande maioria dos estudos de relação solo-sítio evidenciam que as propriedades físicas dos solos relacionam-se, com mais frequência, com a produtividade do sítio do que as propriedades químicas. Principalmente aquelas relacionadas com a capacidade de retenção e armazenamento de umidade do solo. COILE (1952) atribui estas constatações ao grande efeito das propriedades físicas do solo no estabelecimento do sistema radicular das árvores. Para PRITCHETT (1986), dada a natureza conservativa da ciclagem de nutrientes, o hábito de enraizamento das árvores e a grande capacidade de associações micorrízicas, os povoamentos florestais naturais não apresentam deficiências nutricionais frequentes. De certa forma, estas justificativas também explicam as maiores influências das propriedades físicas sobre o crescimento das árvores. Por outro lado, RALSTON (1964) menciona que as dificuldades existentes para o diagnóstico do nível de fertilidade dos solos sob florestas, e as boas correlações existentes entre as propriedades que determinam a disponibilidade de nutrientes com outras propriedades do solo, entre elas, as físicas, fazem com que o efeito da fertilidade dos solos sobre o crescimento das árvores seja pouco pesquisado, portanto menos frequentes.

Dentre os estudos que relacionam as propriedades químicas dos solos com a produtividade do sítio, AUTEN (1945), TARRANT (1949), CARMEAN (1970), MADER (1976) e BROWN & LOEWENSTEIN (1978), não obtiveram sucesso, ao contrário de HICOCK *et alii* (1931), LEAF (1956), VOIGT *et alii* (1957), MADER & OWEN (1961), THONSON & McCOMB (1962), BOWERSOX & WARD (1972), BARROS (1974 e 1979), MÖLLER (1974), PRITCHETT & GOODING (1975) e CÁRDENAS (1987), dentre outros.

Segundo uma avaliação global da literatura consultada pH, teor de matéria orgânica, teor de fósforo disponível, nitrogênio total, teor de potássio, cálcio e magnésio trocável, em ordem decrescente de frequência, são as propriedades químicas do solo que mostram as melhores correlações com o crescimento da maioria das espécies.

Diversos resultados experimentais com fertilizantes têm mostrado elevações da produtividade florestal, em virtude de alterações dos níveis dos nutrientes no solo (CHEIBERG & WHITE, 1951; GYSEL & AREND, 1953; STONE, 1953; REZENDE *et alii*, 1982; BARROS *et alii*, 1985 a e b) o que sugere que as propriedades químicas devem ser úteis em estudos de relação solo-sítio, desde que elas possam ser apropriadamente avaliadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Seleção dos Sítios Florestais

Para a realização do presente estudo foram selecionados sítios de diferentes produtividades de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith, localizados em povoamentos comerciais do Estado de São Paulo (Tabela 1). Tendo em vista o grande número de fatores que podem influenciar no crescimento das árvores e visando delimitar alguns fatores prioritários, foram adotados os seguintes critérios para a seleção dos sítios:

- Os sítios apresentam homogeneidade de "stand", características climáticas e topográficas semelhantes. Por outro lado, são bastante diversos quanto as sua produtividades e propriedades edáficas;
- Os solos dos sítios selecionados apresentam boas condições de drenagem e não mostram evidências, nos últimos 10 anos, de grandes distúrbios em suas características, como por exemplo, sinais acentuados de erosão;

Tabela 1 - Espécie, procedência, altitude, características geográficas e idade dos povoamentos onde foram selecionados os sítios florestais.

DENOMINAÇÃO DADA AO SÍTIO FLORESTAL	ESPÉCIE/PROCEDÊNCIA	MUNICÍPIO	ALTITUDE (m)	LATITUDE	LONGITUDE	IDADE (anos)
R1	<i>E. grandis</i> /Mogi Guacu - SP	Itirapina	760	22°15'S	47°49'W	5,0
R2	<i>E. grandis</i> /Mogi Guacu - SP	Itirapina	760	22°15'S	47°49'W	4,0
R3	<i>E. grandis</i> /Mogi Guacu - SP	Ibaté	847	21°57'S	48°02'W	5,8
R4	<i>E. grandis</i> /Mogi Guacu - SP	Ibaté	847	21°57'S	48°02'W	5,9
R5	<i>E. grandis</i> /Mogi Guacu - SP	Avaré	760	23°06'S	48°55'W	6,1
R6	<i>E. grandis</i> /Mogi Guacu - SP	Avaré	760	23°06'S	48°55'W	7,3
D7	<i>E. grandis</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,5
D8	<i>E. saligna</i> /Salto - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,5
D9	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,3
D10	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,3
D11	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,3
D12	<i>E. saligna</i> /Botucatu - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,8
D13	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,4
D14	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,7
D15	<i>E. saligna</i> /Botucatu - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,5
D16	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	5,4
D17	<i>E. saligna</i> /Lençóis Pta - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	6,5
D18	<i>E. saligna</i> /Botucatu - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	6,0
D19	<i>E. saligna</i> /Botucatu - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	6,0
D20	<i>E. saligna</i> /Salto - SP	Botucatu	873	22°56'S	48°27'W	6,2
S21	<i>E. saligna</i> /Mogi Guacu - SP	Bofete	570	23°06'S	48°15'W	5,3
S22	<i>E. saligna</i> /Mogi Guacu - SP	Bofete	570	23°06'S	48°15'W	5,3
S23	<i>E. saligna</i> /Botucatu - SP	São M. Arcanjo	650	23°53'S	48°00'W	6,4
S24	<i>E. saligna</i> /Salesópolis - SP	São M. Arcanjo	650	23°53'S	48°00'W	5,1
F25	<i>E. saligna</i> /Mogi Guacu - SP	Caçapava	557	23°07'S	45°43'W	4,2
F26	<i>E. saligna</i> /Mogi Guacu - SP	Caçapava	557	23°07'S	45°43'W	3,9

- As árvores não apresentam sinais severos de ataque de doenças, pragas e distúrbios fisiológicos; e

- As práticas silviculturais adotadas foram semelhantes entre os sítios, no sentido de que estas não foram as principais determinantes de grandes variações de produtividade entre eles, mas sim as propriedades edáficas, alvo do presente trabalho. Todos os povoamentos foram implantados e conduzidos com bom padrão tecnológico. Os métodos de preparo de solo mais usados foram os que utilizam a Grade "Bedding" e o Arado Terraceador. A adubação realizada foi unicamente para o arranque inicial da mudas, consistindo-se, em média, de dosagens da ordem de 25/ha de N, 72 kg/ha de P_2O_5 e 25 kg/ha de K_2O .

3.2. Caracterização do Material Genético

As sementes que deram origem aos povoamentos florestais de *E. grandis* e *E. saligna*, em questão, foram obtidas de árvores de polinização livre, estabelecidas em diversos locais do Estado de São Paulo (Tabela 2).

3.3. Caracterização Climática

A Tabela 3 apresenta as principais características climáticas dos municípios onde foram locadas as parce-

las dos diversos sítios estudados. Com exceção dos sítios R1, R2, R3 e R4, ficou caracterizado que os sítios não apresentam deficiências hídricas, quando estima-se o balanço hídrico pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), admitindo-se uma capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm, para uma profundidade de 200 cm. A deficiência hídrica, nos sítios que a apresentaram, não ultrapassou a 20 mm, durante um período de 3 meses.

Tendo por base os balanços hídricos realizados, que refletem a ação conjunta de diversos fatores climáticos, constata-se que os sítios não diferem consideravelmente entre si, o que atende parcialmente os critérios adotados para a seleção dos sítios (ítem 3.1).

3.4. Descrição Geológica e Geomorfológica

A descrição geológica e geomorfológica dos locais onde foram instaladas as parcelas de inventário nos sítios estudados pode ser observada nas Tabelas 4 e 5.

3.5. Avaliações Dendrométricas

Por ocasião da caracterização pedológica foi demarcada uma parcela em cada sítio, constituída de forma retangular, englobando os limites correspondentes a 10 linhas de plantio, com 10 árvores em cada linha, somando, aproximadamente, 100 árvores. A área média de cada parcela foi de cerca de 550 m². De todas árvores foram medidas a

altura e o dap (diâmetro à altura do peito).

Tabela 2 - Localização, altitude, posições geográficas e nível de melhoramento dos materiais genéticos utilizados no estabelecimento dos povoamentos de *E. grandis* e *E. saligna*.

ESPÉCIE	PROCEDÊNCIA			
	MUNICÍPIO/ ESTADO	ALTIT. (m)	LONGIT.	LATIT. NÍVEL DE MELHORAM. ⁽¹⁾
<i>E. grandis</i>	Mogi Guaçu/SP	600	47°07' W	22°11' S APS
	Lençóis Pta./SP	600	48°25' W	22°40' S APS
	Salto/SP	700	47°03' W	23°09' S APS
	Botucatu/SP	873	48°27' W	22°56' S PCS
<i>E. saligna</i>	Salto/SP	521	47°28' W	23°21' S APS
	Lençóis Pta./SP	700	47°03' W	23°09' S APS
	Salesópolis/SP	600	48°25' W	22°40' S APS

ESPÉCIE	POPULAÇÃO ORIGINAL			
	REGIÃO DE ORIGEM	ALTIT. (m)	LONGIT.	LATIT.
<i>E. grandis</i>	Coff's Harbour-NSW-Austr.	90	153°08' E	30°18' S
	Coff's Harbour-NSW-Austr.	90	153°08' E	30°18' S
	Coff's Harbour-NSW-Austr.	90	153°08' E	30°18' S
	Coff's Harbour-NSW-Austr.	90	153°08' E	30°18' S
<i>E. saligna</i>	Itatinga-SP-Brasil	600	48°10' W	23°10' S
	Itatinga-SP-Brasil	600	48°10' W	23°10' S
	Salesópolis-SP-Brasil	850	45°86' W	23°51' S

⁽¹⁾ APS - Área de Produção de Sementes; PCS - Pomar Clonal de Sementes.

Tabela 3 - Precipitação média, temperatura média e deficiência hídrica dos municípios onde foram locadas as parcelas dos diversos sítios.

SÍTIO	MUNICÍPIO	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm)		
		Set-Abr.	Maió-Agos.	Anual
R1 e R2	Itirapina/SP	1230	177	1407
R3 e R4	Ibaté/SP	1328	170	1498
R5 e R6	Avaré/SP	1128	265	1393
D7 e D20	Botucatu/SP	1125	255	1380
E21 e E22	Bofete/SP	1130	230	1360
S23 e S24	S. M. Arcanjo/SP	1060	260	1320
F25 E F26	Caçapava/SP	1635	315	1950

SÍTIO	TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C)		
	MÁXIMA	MÉDIA	MÍNIMA
R1 e R2	27,0	21,0	16,0
R3 e R4	28,0	21,5	16,5
R5 e R6	25,5	20,0	15,0
D7 a D20	26,0	20,0	15,5
E21 e E22	26,5	20,5	14,0
S23 e S24	26,0	20,0	15,5
F25 E F26	27,0	22,0	18,5

SÍTIO	DEFICIÊNCIA HÍDRICA	
	Nº DE MESES	QUANTIDADE (mm)
R1 e R2	3	20
R3 e R4	3	15
R5 e R6	0	0
D7 a D20	0	0
E21 e E22	0	0
S23 e S24	0	0
F25 E F26	0	0

* Os dados climáticos são médias dos anos 1977 a 1988 (NASCIMENTO & PEREIRA, 1988), e as estimativas do balanço hídrico foram feitas pelo método de THORNTHWAITTE & MATHER (1955), admitindo-se uma capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm, para uma profundidade de 200 cm.

Tabela 4 - Descrição geológica dos locais onde foram instaladas as parcelas dos sítios estudados.

SÍTIO	MUNICÍPIO	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA				LITOLOGIA
		LOCALIZAÇÃO	ERA	PERÍODO	GRUPO	
R1 e R2	Itirapina/SP	Bacia do Paraná	Mezozóica	-	São Bento Botucatu	Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte. Ocorrem, restritamente depósitos fluviavais de natureza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.
R3 e R4	Ibaté/SP	Bacia do Paraná	Mezozóica	-	São Bento Botucatu	Idem anterior.
R5 e R6	Avaré/SP	Bacia do Paraná	Mezozóica	-	Bauru Marília	Arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo maciços brancos com lâminas estratificações cruzadas de médio porte. Subordinadamente ocorrem lentes de siltitos, argilitos e arenitos muito finos. Presença comum de nódulos carbonáticos.
D7 e D20	Botucatu/SP	Bacia do Paraná	Mezozóica	-	Bauru Marília	Idem anterior.
E21 e E22	Bofete/SP	Bacia do Paraná	Mezozóica	-	São Bento Pirambóia	Depósitos fluviavais incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos com estratificação cruzada ou plano-paralela, com níveis de folhetos e arenitos argilosos de cores variegado-argilosa.
S23 e S24	S. M. Arcanjo/SP	Bacia do Paraná	Paleozóica	Carbonífero	Tubarão	Depósitos continentais predominantemente arenitos médios a grossos, feldspáticos, de coloração avermelhada e subordinadamente arenitos finos, conglomerados, siltitos, folhetos rítmicos e diamictitos.
F25 e F26	Cacapava/SP	Planalto Atlânt.	Cenozóica	Quaternário	Cacapava	Depósitos fluviavais incluindo arenitos com lentes subordinadas de folhetos e termos arcossianos e conglomeráticos restritos.

FONTE: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981a).

Tabela 5 - Descrição geomorfológica dos locais onde foram instaladas as parcelas dos sítios estudados.

SÍTIO	MUNICÍPIO	PROVINCIA	ZONA	DESCRIÇÃO GEOMORFOLOGICA	SISTEMA DE RELEVO
R1 e R2	Itirapina/SP	Depressão Periférica	Do Médio Tietê		Colinas Amplas - predominam interflúvios com área superior a 4 Km ² . topos extensos e aplainados. vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdentrílico. vales abertos. planícies aluviais interiores restritas. presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.
R3 e R4	Ibaté/SP	Planalto Ocidental	Área Indivisa		Morros Arredondados - topos arredondados e localmente achatados. vertentes com perfis convexos a retilíneos. localmente ravinados. Exposições locais de rocha. Presença de espigões curtos locais. Drenagem de média densidade. padrão dentrílico a subdentrílico. vales fechados.
R5 e R6	Avaré/SP	Depressão Periférica	Do Paranapanema		Idem a dos Sítios R1 e R2.
D7 e D20	Botucatu/SP	Depressão Periférica	Do Paranapanema		Idem a dos Sítios R1 e R2.
E21 e E22	Bofete/SP	Depressão Periférica	Do Paranapanema		Idem a dos Sítios R1 e R2.
S23 e S24	S. M. Arcanjo/SP	Depressão Periférica	Do Paranapanema		Idem a dos Sítios R1 e R2.
F25 e F26	Cacapava/SP	Planalto Atlântico	Médio Vale do Paraíba		Morros Paralelos - topos arredondados. vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de alta densidade. padrão em treliça a localmente subdentrílico. vales fechados a abertos. planícies aluvionares interiores restritas.

FONTE: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981b).

Com base nas medições de altura realizadas, selecionaram-se, em cada parcela, cinco árvores para serem abatidas, cada uma pertencente a classes de distribuição em altura distintas (Figura 2). Nesta etapa utilizou-se a medida de altura, porque essa característica relaciona-se melhor com as variações de solo existentes em cada sítio.

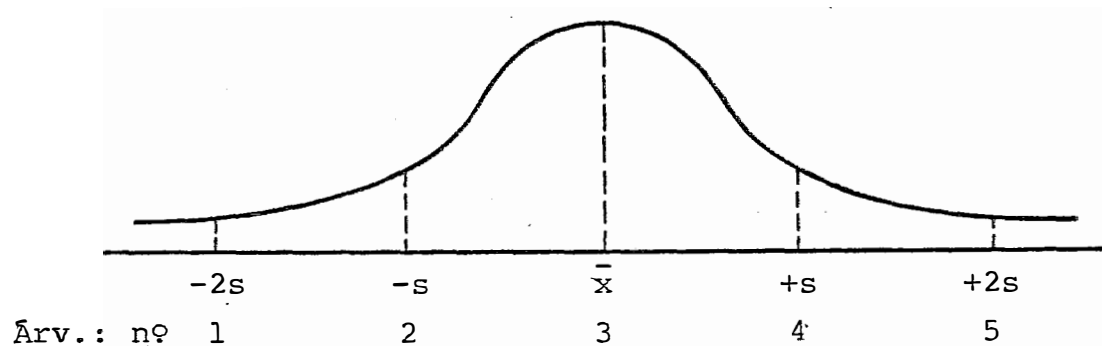


Figura 2 - Frequência de distribuição em altura das árvores e identificação das árvores abatidas.

3.5.1. Volume sólido de madeira com e sem casca

Para as cinco árvores abatidas, em cada parcela, foram determinados o volume sólido com casca e sem casca de cada árvore. Inicialmente tomou-se o diâmetro do fuste da árvore com casca e sem casca, a distâncias de 2 m, da base até 50 cm do topo.

Com essas avaliações fez-se a estimativa do volume total da árvore com casca e sem casca utilizando-se da fórmula de Smalian (modificada):

$$VT = \frac{\pi}{8} l [CD_1^2 + D_n^2 + 2 \cdot (D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_{n-1}^2)],$$

onde:

VT = volume total da árvore (dm³);

l = comprimento de cada torete (20 dm);

D₁, D₂, ... e D_n = Diâmetro da árvore em diversas alturas desde a base, D₁, até 50 cm do topo, D_n (dm).

A partir das estimativas de volume total das árvores abatidas, com casca e sem casca, em cada parcela, fez-se o ajuste de regressões, que tiveram como variável dependente, o volume total das árvores abatidas e, como variáveis independentes, os valores de altura e dap. Visou-se com isso, verificar a possibilidade de se estimar o volume das árvores em pé, utilizando-se apenas dos seus valores de altura e dap.

Dois modelos foram testados:

Modelo 1: $VT = a + D^2H;$

Modelo 2: $\ln(VT) = a + b \ln(D) + c \ln(H),$

onde:

VT = volume total (dm³);

a, b e c = coeficientes de regressão;

D = diâmetro à altura do peito (dm); e

H = altura total (dm).

Para os dois modelos testados e para todas as parcelas o coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 98% e estatisticamente significativo a 1% de probabilidade.

Dadas as boas relações existentes entre o volume total com casca e sem casca das árvores abatidas, em todas parcelas, fez-se o ajuste de uma nova regressão, englobando agora todas as parcelas, obtendo-se os seguintes modelos:

Modelo 1:

$$VT = -4,119 + 0,032 D^2H;$$

$$R^2 = 0,95^{***}$$

Modelo 2:

$$VT = -4,076 + 1,882 \ln(D) + 1,294 \ln(H),$$

$$R^2 = 0,98^{***}$$

O modelo 2, por apresentar maior R^2 , foi então escolhido para a determinação do volume sólido de madeira para todas árvores e parcelas, sendo acrescentado na seguinte fórmula:

$$VT = \text{Exp} [-4,076 + 1,882 \cdot \ln(D) + 1,294 \cdot \ln(H)]$$

Assim, com esta equação, estimou-se o volume sólido, em pé, de todas árvores, nas 26 parcelas em estudo, a partir dos valores de altura e dap de cada árvore.

De posse do volume sólido das árvores individuais e da área da parcela, fez-se a estimativa do volume sólido por hectare, pela fórmula:

$$VS_{ha} = \frac{VS_p}{S_p} \cdot 10.000,$$

onde:

VS_{ha} = volume sólido por hectare em m^3/ha ;

VS_p = volume sólido da parcela em m^3 ;

S_p = área da parcela em m^2 .

3.5.2. Volume empilhado por hectare

Para a determinação do volume empilhado por hectare utilizou-se uma função de produção obtida de dados provenientes de espécies/procedências e regiões com características ambientais semelhantes as do presente estudo (COUTO *et alii*, 1990).

A equação utilizada foi a seguinte:

$$VE_{ha} = \text{Exp} [(3,345 - 17,934 \cdot 1/IS) - (2,402 \cdot 1/IF) + 1,099 \cdot \log (AB_{ha})]$$

onde:

VE_{ha} = volume empilhado por hectare em m^3/ha ;

IS = índice de sítio em m (ítem 3.5.4);

IF = idade futura, igual a 7;

AB_{ha} = área basal por hectare m^2/ha .

3.5.3. Área basal por hectare

Inicialmente, determinou-se a área basal em cada parcela pela soma das áreas da seção de todas árvores tomada à altura do peito. A seguir fez-se a estimativa da

área basal por hectare pela fórmula:

$$AB_{ha} = \frac{AB_p}{A_p} \cdot 10.000,$$

onde:

AB_{ha} = área basal por hectare em m^2/ha ;

AB_p = área basal da parcela em m^2 ;

A_p = área da parcela em m^2 .

3.5.4. Índice de Sítio (IS)

O índice de sítio (IS), no presente estudo, foi padronizado como o valor médio das alturas das cinco árvores dominantes, de cada parcela, aos 7 anos de idade. Em virtude das diferenças entre a idade real e a idade considerada para a determinação do IS, utilizou-se a equação (COUTO *et alii*, 1990):

$$IS = \text{Exp} [\ln (\text{MHDOM} + 2,708 (1/\text{IDADE REAL} - 1/7))]$$

onde, MHDOM é igual a média da altura das árvores dominantes.

Esta equação foi utilizada por ser oriunda de sítios florestais de *E. grandis* e *E. saligna*, localizados em regiões com características ambientais semelhantes as do presente estudo.

3.6. Caracterização dos Solos em Cada Sítio

3.6.1. Descrição morfológica dos perfis de solos

O exame e a descrição morfológica dos perfis de solos (Tabela 6) foram realizados no interior de trincheiras (2,5 a 3,0 m de comprimento, 1,2 m de largura e 1,8 m de profundidade) localizadas no centro das parcelas, transversalmente à direção de plantio das árvores, indo de uma determinada linha de plantio a uma outra paralela.

Na descrição dos perfis adotaram-se as normas e definições constantes do "Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo", LEMOS & SANTOS (1984).

Tabela 6 - Tipo de solo, relevo local, drenagem, cor, textura, estrutura e consistência dos solos, nas profundidades 0 a 20 cm e 60 a 80 cm, nos diversos sítios florestais em estudo.

SÍTIO	TIPO DE SOLO	RELEVO LOCAL	DRENAGEM	PROF. (cm)	COR		TEXTURA	ESTRUTURA		CONSISTÊNCIA			
					SOLO SECO	SOLO ÚMIDO		FORMA	TAMANHO	GRAU DE ESTRUTURA	SECO	ÚMIDO	MOLHADO
R1	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/3		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	2.5YR 5/2		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
R2	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	5YR 5/3		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5YR 5/8		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
R3	AQ	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	2.5YR 4/3		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	2.5YR 4/4		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
R4	AQ	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	2.5YR 5/2		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5YR 5/4		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
R5	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/2		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
				80-80	5YR 5/4		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
R6	AQ	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/3		Areia Franca	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
				80-80	5YR 5/4		Areia Franca	-	-	g. simples	solto	friável	não pegaj.
D7	AQ	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/2		Areia Franca	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5YR 4/8		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D8	AQ	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/2		Franco Aren.	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5YR 5/8		Areia Franca	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D9	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	7.5YR 4/2		Areia Franca	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	7.5YR 5/4		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
D10	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	7.5YR 5/4		Areia Franca	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	7.5YR 8/4		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D11	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	5.0YR 4/3		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5.0YR 5/8		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D12	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	7.5YR 4/2		Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	7.5YR 8/8		Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.

Tabela 6 - Continuação.

SÍTIO	TIPO DE SOLO	RELEVO LOCAL	DRENAGEM	PROF. (cm)	COR		TEXTURA	ESTRUTURA			CONSISTENCIA		
					SOLO	SECO		FORMA	TAMANHO	GRAU DE ESTRUTURA	SECO	ÚMIDO	MOLHADO
D13	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	10YR 4/1	-	Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
D14	AQ	plano	excessiv. dren.	80-80	10YR 4/3	-	Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D15	LV	plano	excessiv. dren.	00-20	10YR 6/2	-	Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
D16	AQ	plano	excessiv. dren.	80-80	10YR 6/4	-	Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
D17	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/1	-	Areia Franca	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D18	AQ	plano	excessiv. dren.	80-80	5YR 3/4	-	Franco Aren.	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
D19	AQ	plano	excessiv. dren.	00-20	7,5YR 4/2	-	Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
D20	AQ	plano	excessiv. dren.	80-80	7,5YR 5/4	-	Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
E21	AQ	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	5YR 5/3	-	Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
E22	AQ	plano	excessiv. dren.	80-80	5YR 6/6	-	Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
S23	LE	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	5YR 5/2	-	Areia	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
S24	LE	s. ond.	excessiv. dren.	80-80	5YR 6/4	-	Areia	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
F25	LV	s. ond.	excessiv. dren.	00-20	5YR 4/3	-	Areia Franca	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
F26	LV	s. ond.	excessiv. dren.	80-80	5YR 4/4	-	Franco Aren.	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				00-20	5YR 4/3	-	Areia Franca	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5YR 4/2	-	Franco Arg. Aren.	-	-	g. simples	solto	m. friável	não pegaj.
				00-20	7,5YR 4/2	-	Franco Arg. Aren.	gr.	peq.	fraca	macio	friável	lig. pegaj.
				80-80	7,5YR 5/6	-	Franco	gr.	peq.	moderada	macio	friável	pegajoso
				00-20	5,0YR 4/3	-	Franco Arg. Aren.	gr.	peq.	fraca	macio	friável	lig. pegaj.
				80-80	5,0YR 5/6	-	Argila Arenosa	gr.	peq.	moderada	macio	friável	pegajoso
				00-20	10YR 6/4	-	Argila Arenosa	gr.	peq.	fraca	macio	friável	lig. pegaj.
				80-80	10YR 5/6	-	Argila Arenosa	gr.	peq.	moderada	macio	friável	pegajoso
				00-20	2,5YR 6/2	-	Areia Franca	-	-	g. simples	solto	solto	não pegaj.
				80-80	5YR 6/3	-	Franco Arg. Aren.	gr.	peq.	moderada	solto	friável	pegajoso

3.6.2. Caracterização física e química dos solos

A caracterização física e química dos solos foi realizada nas camadas 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm, 40 a 60 cm e 100 a 120 cm de profundidade (Tabelas 7 a 16). As amostras foram obtidas utilizando-se de um "trado de caneco", coletando-se, em cada parcela, 10 amostras simples nas diferentes profundidades, retiradas através do caminhar no sentido diagonal da parcela e sobre as linhas de plantio. Essas amostras deram origem a amostras compostas, as quais foram preparadas e analisadas em laboratório.

3.6.2.1. Análises físicas

Essas análises seguem a metodologia proposta pelo "Manual de Métodos de Análise de Solo" (EMBRAPA, 1979).

Calhaus e Cascalhos - separados por tamisação, empregando-se peneiras de malha de 20 mm e 2 mm, respectivamente, para retenção dos calhaus e dos cascalhos nesse fracionamento inicial da amostra total, previamente preparada mediante secagem ao ar e destorroamento;

Terra Fina Seca ao Ar - separadas por tamisação, no mesmo fracionamento comum à determinação anterior, recolhendo-se o material mais fino, passado em peneira de malha de 2 mm (furos circulares);

Densidade Global - obtida pela secagem a 105°C e pesagem de amostras de solo natural, coletadas no campo com anéis de Kopeck (Método do Anel Volumétrico). A densidade global foi determinada nas profundidades de 30 e 100 cm, por amostragem realizadas no interior da trincheira descrita no item 3.6.1;

Análise Granulométrica - determinada por sedimentação em cilindro de Koettgen, sendo usado calgon (hexametáfosfato de sódio 4,4%) como agente de dispersão e agitação de alta rotação durante 15 minutos. As frações areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina foram separadas por tamisação em peneiras de malha 1; 0,5; 0,25; 0,10 e 0,05 mm de diâmetro, respectivamente;

A fração argila foi determinada pelo hidrômetro de Boyoucos (VETTORI & PIERANTONI, 1968). A fração silte foi determinada pela diferença entre o peso de terra fina seca ao ar menos o peso de areia total mais argila.

Argila Natural (Argila Dispersa em Água) - determinada por sedimentação no cilindro de Koettgen, sendo usado o agitador de alta rotação durante 15 minutos, porém tendo a água destilada como agente de dispersão;

Grau de floculação - obtido pela fórmula:

$$GF = \frac{\text{(argila total - argila dispersa em água)}}{\text{argila total}} \times 100$$

Umidade a 1/10, 1/3 e 1 Atmosfera - utilização da panela de pressão e placas de cerâmica de 1 bar;

Umidade a 5 e 15 atmosfera - uso do extrator de pressão de Richards com o emprego de placas de cerâmica de 15 bar;

Disponibilidade de Água - calculada em função dos valores de umidade a 1/3 de atmosfera e 15 atmosferas e, entre os de umidade a 1/10 de atmosfera e a 15 atmosferas, para fins comparativos,

3.2.2.2. Análise químicas

Os métodos de análises químicas de pH, carbono orgânico, fósforo, cálcio, magnésio, sódio, potássio, acidez titulável e alumínio, relacionados abaixo, seguem as metodologias propostas por RAIJ *et alii* (1987).

pH em CaCl_2 0,01M - determinado potenciométricamente numa suspensão solo-líquido de 1:2,5, com tempo de contato de cinquenta minutos e sem agitação da suspensão antes da leitura;

Carbono orgânico - determinado através da oxidação da matéria orgânica pelo bicromato de potássio 1N em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso amoniacal 0,4 N;

Fósforo assimilável - extraído por resina trocadora de íons e depois dosado colorimetricamente pela redução do complexo fosfo-molibídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto;

Cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis - extraídos por resina trocadora de íons. O cálcio, magnésio e sódio foram determinados com espectrofotômetro de absorção atômica e o potássio por fotometria de chama;

Valor S (Soma de bases trocáveis) - calculado pela fórmula:

$$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+} ;$$

Alumínio trocável - extraído com solução de KCl 1N na proporção 1:10 e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025N, usando-se bromotimol como indicador;

Acidez titulável ($H^{+} + Al^{+3}$) - extraída com solução de acetato de cálcio 1N ajustada a pH 7 na proporção de 1:20, determinada por titulação com solução de NaOH 0,025N, usando-se fenolftaleína como indicador;

Hidrogênio titulável - calculado subtraindo-se do valor $H^{+} + Al^{+3}$ o valor de Al^{+3} ;

Valor T (Capacidade de troca de cátions) - obtido pela soma de S, H⁰ e Al⁺³;

Valor V (Percentagem de saturação por bases) - calculado pela fórmula:

$$VC\% = \frac{S}{T} \times 100 ;$$

Percentagem de saturação por alumínio trocável (m) - calculado pela fórmula:

$$m\% = \frac{Al^{+3}}{Al^{+3} + S} \times 100$$

As análises químicas relacionadas a seguir seguem a metodologia proposta pelo "Manual de Métodos de Análise de Solo" (EMBRAPA, 1979).

Ataque sulfúrico (d = 1,47) - foi aplicado como pré-tratamento à terra fina para extração de ferro, alumínio, titânico, manganês e subsequente extração de sílica no resíduo. O tratamento da terra fina foi feito com uma solução de H₂SO₄ 1:1 (volume), sob fervura, com posterior resfriamento, diluição e filtração. No resíduo foi determinado SiO₂, e no filtrado Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ e MnO, conforme métodos citados a seguir:

SiO₂ - extraído do resíduo do ataque sulfúrico com solução de NaOH 0,6 a 0,8%, sob fervura branda e refluxo, determinado em alíquota do filtrado por colorimetria,

usando-se o molibdato de amônio em presença do ácido ascórbico, em espectrofotômetro;

Fe_2O_3 - determinado em alíquota do extrato sulfúrico, por volumetria, com solução de EDTA 0,01M em presença de ácido sulfosalicílico como indicador;

Al_2O_3 - determinado na mesma alíquota da determinação do Fe_2O_3 , após essa dosagem, por volumetria, usando-se solução de EDTA 0,031M e sulfato de zinco 0,0156M, feita a correção do TiO_2 dosado juntamente;

MnO - determinado em alíquota do extrato sulfúrico, por espectrofotometria de absorção atômica;

K_i e K_r - as relações K_i e K_r , isto é, as relações $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, foram calculadas sob forma molecular, baseadas nas determinações acima descritas, resultantes do ataque sulfúrico na própria terra fina e não na fração argila, uma vez que os resultados se equivalem na grande maioria dos casos (VETTORI, 1969).

Tabela 7 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 0-10 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 0-10 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	0,3	0,0	0,0	600,0
areia grossa (%)	6,0	2,4	0,0	76,4
areia média (%)	41,0	27,5	17,0	21,6
areia fina (%)	65,2	48,6	37,0	12,0
areia muito fina (%)	18,1	10,9	6,0	22,6
silte (%)	7,1	3,4	1,0	55,9
argila (%)	12,0	7,1	3,5	35,0
argila dispersa em água (%)	5,0	2,7	1,0	40,5
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	24,9	22,7	20,1	5,0
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,0	1,4	0,8	22,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,1	3,8	3,6	3,2
matéria orgânica (%)	3,4	2,3	1,8	22,3
fósforo assimilável (ppm)	4,0	2,1	1,0	46,6
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,0	0,0	0,0
cálcio trocável (meq/100g)	0,6	0,1	0,0	120,0
magnésio trocável (meq/100g)	0,2	0,1	0,1	40,0
alumínio extraível (meq/100g)	2,2	1,3	0,9	25,2
ac. extraível. H+Al (meq/100g)	8,8	4,6	2,2	36,4
valor S (meq/100g)	0,8	0,2	0,1	66,7
valor T, CTC (meq/100g)	9,0	4,8	2,4	34,0
valor V (%)	19,0	5,6	1,0	77,5
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	6,8	3,6	1,9	32,6
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	2,6	1,1	0,2	55,6
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	4,9	2,8	1,6	28,5
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	3,3	2,2	1,4	19,0
rel. molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	2,7	1,8	1,3	21,5

Tabela 8 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 10-20 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 10-20 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	0,2	0,0	0,0	400,0
areia grossa (%)	6,0	2,4	0,0	80,7
areia média (%)	40,0	27,4	14,5	23,4
areia fina (%)	64,7	48,2	38,0	12,3
areia muito fina (%)	17,9	10,4	6,0	24,1
silte (%)	8,0	3,2	0,0	64,0
argila (%)	12,0	7,9	4,2	22,4
argila dispersa em água (%)	6,8	3,3	1,0	54,9
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	24,9	22,7	20,1	5,0
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,0	1,4	0,8	22,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0,01M	4,0	3,9	3,7	2,3
matéria orgânica (%)	3,1	1,8	1,4	23,4
fósforo assimilável (ppm)	3,0	1,6	1,0	37,1
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,0	0,0	33,3
cálcio trocável (meq/100g)	0,4	0,1	0,0	15,7
magnésio trocável (meq/100g)	0,2	0,1	0,0	42,9
alumínio extraível (meq/100g)	1,8	1,1	0,8	20,7
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	7,2	3,8	2,2	30,6
valor S (meq/100g)	0,7	0,2	0,1	77,8
valor T, CTC (meq/100g)	7,3	3,9	2,3	29,4
valor V (%)	15,0	4,5	1,0	72,7
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	6,8	3,6	1,9	32,6
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	2,6	1,1	0,2	55,6
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	4,9	2,8	1,6	28,5
Mn ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	3,3	2,2	1,4	18,9
rel. molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	2,7	1,8	1,3	20,8

Tabela 9 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 20-30 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIÇÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 20-30 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	0,4	0,0	0,0	300,0
areia grossa (%)	6,0	2,1	0,0	82,5
areia média (%)	40,0	26,8	17,2	22,0
areia fina (%)	63,1	48,7	39,0	11,8
areia muito fina (%)	19,4	10,8	5,0	27,7
silte (%)	9,0	3,1	0,0	71,6
argila (%)	16,0	8,6	4,0	40,3
argila dispersa em água (%)	7,6	4,1	1,8	40,3
densidade global	1,6	1,5	1,3	6,6
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	24,9	22,7	20,1	5,0
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,0	1,4	0,8	22,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,1	3,9	3,8	2,3
matéria orgânica (%)	2,0	1,6	1,1	16,8
fósforo assimilável (ppm)	2,0	0,9	0,0	54,7
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,0	0,0	33,3
cálcio trocável (meq/100g)	0,3	0,1	0,0	116,7
magnésio trocável (meq/100g)	0,1	0,1	0,0	42,9
alumínio extraível (meq/100g)	1,7	1,1	0,7	24,1
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	6,4	3,3	1,8	31,0
valor S (meq/100g)	0,4	0,2	0,0	66,7
valor T, CTC (meq/100g)	6,5	3,5	2,0	30,7
valor V (%)	11,0	4,5	1,0	62,4
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	6,8	3,7	1,9	326,9
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	2,6	1,2	0,2	55,7
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	6,2	2,9	1,6	34,3
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
rel.molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	3,3	2,2	1,4	18,9
rel.molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	2,7	1,8	1,3	20,8

Tabela 10 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 40-60 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 40-60 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	0,3	0,0	0,0	266,7
areia grossa (%)	7,0	2,2	0,0	86,3
areia média (%)	41,0	26,5	14,7	25,4
areia fina (%)	63,0	46,3	38,0	12,5
areia muito fina (%)	19,4	11,1	5,0	26,0
silte (%)	9,2	3,8	0,9	63,5
argila (%)	22,0	10,1	5,5	42,0
argila dispersa em água (%)	10,0	5,3	2,8	40,0
densidade global	-	-	-	-
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	24,9	22,7	20,1	5,0
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,0	1,4	0,8	22,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,1	4,0	3,9	1,5
matéria orgânica (%)	1,9	1,4	0,9	19,4
fósforo assimilável (ppm)	1,0	0,1	0,0	250,0
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,0	0,0	50,0
cálcio trocável (meq/100g)	0,3	0,1	0,0	160,0
magnésio trocável (meq/100g)	0,2	0,1	0,0	50,0
alumínio extraível (meq/100g)	1,8	1,0	0,7	27,7
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	6,4	2,9	1,6	42,4
valor S (meq/100g)	0,5	0,1	0,0	100,0
valor T, CTC (meq/100g)	6,5	3,0	1,7	42,5
valor V (%)	12,0	4,3	0,0	73,8
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	9,3	4,5	2,4	41,6
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	2,9	1,4	0,3	50,4
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	7,2	3,6	2,0	42,8
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
rel.molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (kj)	3,2	2,1	1,6	16,5
rel.molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	2,6	1,7	1,2	19,3

Tabela 11 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 100-120 cm, entre os sítios R1, R2, ..., R6, D7, D8, ..., D20, E21 e E22.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
	PROFUNDIDADE 100-120 cm			
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	0,2	0,0	0,0	400,0
areia grossa (%)	6,0	2,1	0,0	79,2
areia média (%)	39,0	26,3	13,2	24,6
areia fina (%)	62,5	45,4	35,0	12,8
areia muito fina (%)	20,2	11,8	7,0	21,5
silte (%)	9,0	3,2	1,0	62,0
argila (%)	21,0	11,1	6,0	34,3
argila dispersa em água (%)	12,0	7,0	4,1	28,6
densidade global	1,6	1,5	1,3	4,0
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	24,3	22,2	20,2	5,0
1/3 atm - 15 atm (% volume)	8,2	1,9	1,0	75,7
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,2	4,0	3,9	1,7
matéria orgânica (%)	1,7	1,2	0,7	19,5
fósforo assimilável (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,0	0,0	100,0
cálcio trocável (meq/100g)	0,6	0,1	0,0	200,0
magnésio trocável (meq/100g)	0,2	0,1	0,0	66,7
alumínio extraível (meq/100g)	1,6	1,9	0,6	28,2
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	5,2	2,3	1,5	37,2
valor S (meq/100g)	0,8	0,2	0,0	120,0
valor T, CTC (meq/100g)	6,0	2,4	1,6	40,3
valor V (%)	16,0	5,6	1,0	73,8
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	8,9	5,1	2,2	35,0
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	3,3	1,5	0,3	51,7
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	7,3	4,2	2,3	33,2
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	4,4	2,1	1,1	30,0
rel. molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	3,2	1,7	0,9	27,1

Tabela 12 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 0-10 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 0-10 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	7,0	2,5	0,0	132,8
areia grossa (%)	13,0	6,3	2,0	79,8
areia média (%)	17,0	13,5	9,0	27,4
areia fina (%)	30,0	22,8	12,0	33,9
areia muito fina (%)	12,0	8,5	4,0	39,1
silte (%)	24,0	18,5	12,0	28,1
argila (%)	40,0	23,8	3,0	63,4
argila dispersa em água (%)	18,0	9,8	1,0	71,3
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	25,4	23,9	22,3	6,6
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,6	2,3	1,8	19,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,5	4,3	3,8	7,3
matéria orgânica (%)	4,3	3,3	1,6	39,1
fósforo assimilável (ppm)	23,0	10,8	4,0	83,6
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,1	0,1	22,2
cálcio trocável (meq/100g)	3,1	1,4	0,1	97,9
magnésio trocável (meq/100g)	1,3	0,6	0,1	82,3
alumínio extraível (meq/100g)	3,5	1,5	0,4	97,2
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	15,0	8,6	2,5	64,6
valor S (meq/100g)	3,9	2,1	0,3	83,3
valor T, CTC (meq/100g)	15,3	10,7	3,5	50,1
valor V (%)	40,0	23,3	2,0	68,2
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	18,5	11,8	5,6	44,7
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	5,2	3,4	0,7	57,1
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	17,0	10,4	2,5	57,8
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,1	0,0	0,0	133,3
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	3,9	2,3	1,7	44,6
rel. molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	3,3	1,9	1,4	46,9

Tabela 13 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 10-20 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIÇÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 10-20 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	7,0	2,3	0,0	146,7
areia grossa (%)	7,0	3,0	1,0	90,3
areia média (%)	17,0	12,0	9,0	28,8
areia fina (%)	31,0	24,0	16,0	27,0
areia muito fina (%)	12,0	8,5	4,0	40,2
silte (%)	26,0	19,3	8,0	40,5
argila (%)	46,0	24,8	4,0	69,3
argila dispersa em água (%)	22,0	10,5	1,0	83,2
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	25,4	23,9	22,2	6,6
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,6	2,3	1,8	19,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,6	4,3	3,9	7,7
matéria orgânica (%)	3,9	2,8	1,6	0,4
fósforo assimilável (ppm)	81,0	24,0	2,0	7,6
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,1	0,0	42,9
cálcio trocável (meq/100g)	2,7	1,3	0,0	103,7
magnésio trocável (meq/100g)	1,7	0,7	0,1	115,4
alumínio extraível (meq/100g)	3,4	1,4	0,6	92,3
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	15,0	8,2	3,4	60,0
valor S (meq/100g)	4,4	2,1	0,2	101,0
valor T, CTC (meq/100g)	15,2	10,3	3,8	47,3
valor V (%)	36,0	20,3	1,0	83,3
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	18,5	11,8	5,6	44,7
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	5,2	3,4	0,7	57,1
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	95,0	48,5	17,0	79,2
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,1	0,0	0,0	133,3
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	3,9	2,3	1,7	44,6
rel. molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	3,30	1,9	1,4	46,9

Tabela 14 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 20-30 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIÇÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
	PROFUNDIDADE 20-30 cm			
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	7,0	2,3	0,0	146,7
areia grossa (%)	7,0	3,0	1,0	90,3
areia média (%)	17,0	11,8	7,0	35,0
areia fina (%)	29,0	22,8	17,0	22,2
areia muito fina (%)	12,0	8,3	4,0	42,4
silte (%)	22,0	18,8	11,0	28,0
argila (%)	43,0	28,3	9,0	50,0
argila dispersa em água (%)	20,0	10,5	4,0	66,2
densidade global	1,4	1,3	1,2	8,0
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	25,4	23,9	22,2	6,6
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,6	2,3	1,8	18,0
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,1	4,1	3,9	2,5
matéria orgânica (%)	3,1	2,8	1,3	27,3
fósforo assimilável (ppm)	41,0	11,8	1,0	166,1
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,1	0,0	57,1
cálcio trocável (meq/100g)	0,9	0,5	0,0	66,0
magnésio trocável (meq/100g)	0,7	0,3	0,0	100,0
alumínio extraível (meq/100g)	3,2	2,0	0,9	48,0
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	15,0	9,3	3,4	52,3
valor S (meq/100g)	1,4	0,9	0,1	61,5
valor T, CTC (meq/100g)	15,1	10,2	4,3	45,5
valor V (%)	20,0	11,3	1,0	69,8
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	18,5	11,8	5,6	44,8
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	5,2	3,4	0,7	57,1
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	17,0	10,4	2,5	57,8
MnO ₂ , ataque sulfúrico (%)	0,1	0,0	0,0	133,3
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	3,9	2,3	1,7	44,6
rel. molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	3,3	1,9	1,4	46,9

Tabela 15 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 40-60 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
	PROFUNDIDADE 40-60 cm			
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	8,0	2,8	0,0	137,1
areia grossa (%)	8,0	3,8	2,0	76,5
areia média (%)	14,0	10,8	7,0	27,8
areia fina (%)	27,0	19,5	11,0	39,6
areia muito fina (%)	13,0	8,3	4,0	48,9
silte (%)	28,0	18,8	13,0	35,5
argila (%)	40,0	34,0	26,0	17,3
argila dispersa em água (%)	21,0	15,0	11,0	28,3
densidade global	-	-	-	-
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	25,4	23,9	22,2	6,6
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,6	2,3	1,8	19,2
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,1	4,1	4,0	1,5
matéria orgânica (%)	2,2	1,8	1,2	24,3
fósforo assimilável (ppm)	1,0	1,0	1,0	0,0
potássio trocável (meq/100g)	0,2	0,1	0,0	100,0
cálcio trocável (meq/100g)	1,0	0,4	0,0	107,3
magnésio trocável (meq/100g)	0,9	0,3	0,0	121,2
alumínio extraível (meq/100g)	3,0	2,4	1,7	24,3
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	12,1	9,8	7,2	22,4
valor S (meq/100g)	2,1	0,8	0,1	109,9
valor T, CTC (meq/100g)	13,5	10,6	7,8	23,9
valor V (%)	16,0	7,3	1,0	87,5
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	18,5	14,1	11,0	23,9
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	5,4	4,5	3,5	17,6
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	16,6	13,4	9,5	21,9
Mn ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	100,0
rel.molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	2,7	1,9	1,4	32,8
rel.molecular SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	2,2	1,5	1,1	31,6

Tabela 16 - Valor máximo, médio, mínimo e coeficiente de variação de algumas características físicas e químicas dos solos na profundidade de 100-120 cm, entre os sítios S23, S24, F25 e F26.

CARACTERÍSTICAS	VALOR			COEF. VARIACÃO (%)
	MÁXIMO	MÉDIO	MÍNIMO	
PROFUNDIDADE 20-30 cm				
1. FÍSICA				
areia muito grossa (%)	4,0	2,0	0,0	141,5
areia grossa (%)	4,0	3,0	2,0	47,0
areia média (%)	12,0	10,5	9,0	20,2
areia fina (%)	23,0	17,5	12,0	44,5
areia muito fina (%)	11,0	7,5	4,0	66,0
silte (%)	16,0	13,5	11,0	26,2
argila (%)	48,0	43,5	39,0	14,6
argila dispersa em água (%)	18,0	9,5	1,0	126,5
densidade global	1,3	1,3	1,2	0,0
água disponível:				
1/10 atm - 15 atm (% volume)	23,7	21,6	19,4	10,4
1/3 atm - 15 atm (% volume)	2,5	2,1	1,5	25,8
2. QUÍMICA				
pH em CaCl ₂ 0.01M	4,2	4,2	4,2	0,0
matéria orgânica (%)	1,6	1,5	1,4	9,3
fósforo assimilável (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0
potássio trocável (meq/100g)	0,1	0,0	0,0	50,0
cálcio trocável (meq/100g)	0,1	0,1	0,0	75,0
magnésio trocável (meq/100g)	0,3	0,2	0,0	106,3
alumínio extraível (meq/100g)	1,6	1,5	1,3	16,3
ac. extraível, H+Al (meq/100g)	5,8	5,3	4,7	14,9
valor S (meq/100g)	0,4	0,3	0,1	71,4
valor T, CTC (meq/100g)	5,9	5,5	5,1	10,3
valor V (%)	8,0	5,0	2,0	0,9
SiO ₂ , ataque sulf. (%)	17,0	14,1	11,2	28,9
Fe ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	5,6	5,4	5,2	5,6
Al ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	18,4	16,8	15,2	13,4
Mn ₂ O ₃ , ataque sulfúrico (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
rel. molecular SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	1,6	1,4	1,3	15,6
rel. molecular SiO ₂ ² /R ₂ O ₃ ³ (kr)	1,3	1,2	1,0	17,1

3.7. Relacionamento da Qualidade de Sítio com as Características de Solo

A determinação das propriedades físicas e químicas de solo que são relacionadas com a qualidade de sítio foi feita através de análises de regressão múltipla, modelo "Forward" (LIN *et alii*, 1985).

Nesse modelo de ajuste de regressão múltipla nenhuma variável independente é considerada inicialmente. Para cada variável independente o "Forward" calcula o valor F da análise de variância, que indica qual a contribuição da variável para o modelo, podendo ser considerada ou não no mesmo. Os valores F calculados são testados quanto a um nível de probabilidade pré-estabelecido. No presente trabalho foram descartadas as variáveis independentes com um nível de significância inferior a 10% de probabilidade. Desta forma, as variáveis independentes significativas no nível de probabilidade pré-estabelecido vão sendo adicionadas ao modelo, culminando com um modelo final, que melhor relaciona a variável dependente com as variáveis independentes, no nível de probabilidade desejado.

A Tabela 17 apresenta a relação de variáveis dependentes e independentes usadas para a determinação das equações de regressão múltipla.

Tabela 17 - Variáveis dependentes e independentes utilizadas para o ajuste das equações de regressão múltipla.

VARIÁVEIS	UNIDADE DE APRESENTAÇÃO	DENOMINAÇÃO
1. Dependentes		
Índice de sítio	m	Y_1
Volume sólido de madeira com casca	m^3/ha	Y_2
2. Independentes		
pH em $CaCl_2$ 0,01 M	-	X_1
matéria orgânica	%	X_2
fósforo assimilável (ext.resina)	ppm	X_3
potássio trocável	meq/100g	X_4
cálcio trocável	meq/100g	X_5
magnésio trocável	meq/100g	X_6
alumínio trocável	meq/100g	X_7
acidez titulável ($H^+ + Al^{+3}$)	meq/100g	X_8
valor S	meq/100g	X_9
valor T (CTC ₇)	meq/100g	X_{10}
valor V	%	X_{11}
valor m	%	X_{12}
SiO_2 (ataque sulfúrico)	%	X_{13}
Al_2O_3 (ataque sulfúrico)	%	X_{14}
Fe_2O_3 (ataque sulfúrico)	%	X_{15}

Tabela 17 - Continuação.

VARIÁVEIS	UNIDADE DE APRESENTAÇÃO	DENOMINAÇÃO
MnO (ataque sulfúrico)	%	X ₁₆
areia muita grossa	%	X ₁₇
areia grossa	%	X ₁₈
areia média	%	X ₁₉
areia fina	%	X ₂₀
areia muito fina	%	X ₂₁
areia total	%	X ₂₂
silte	%	X ₂₃
argila	%	X ₂₄
argila dispersa em água	%	X ₂₅
rel. molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (ki)	-	X ₂₆
rel. molecular $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ (kr)	-	X ₂₇
idade do povoamento	ano	X ₂₈
densidade global	g/cm^3	X ₂₉
água disponível:		
1/3 atm - 15 atm	mm	X ₃₀
1/10 atm - 15 atm	mm	X ₃₁

3.8. Estimação e Interpretação dos Parâmetros Genéticos e Fenotípicos Responsáveis pelas Variações de Crescimento entre Espécies e Sítios

3.8.1. Sítios considerados

Para a estimação e interpretação dos parâmetros genéticos e fenotípicos responsáveis pelas variações de crescimento entre as espécies e sítios em estudo, consideraram-se as características dendrométricas das parcelas D7, D8, D10, D12, D13, D14, D19, D20, S23 e S24. As parcelas D7, D12, D14, D19 e S23 são de *E. grandis* e as parcelas correspondentes de *E. saligna*, situadas no mesmo sítio, são D8, D10, D13, D20 e S24, respectivamente (Tabela 1).

Com base nesta relação de parcelas, utilizou-se na apresentação dos resultados e discussão dos mesmos a denominação D7-D8, D10-14, D12-D13, D19-D20 e S23-S24, simbolizando os cinco sítios considerados nesta etapa.

Cada parcela foi dividida em três subparcelas, tendo-se como referência, a numeração das árvores utilizada para delimitar a parcela e avaliar a altura e diâmetro das árvores. As árvores de número 1 a 28 delimitaram a subparcela 1, as árvores de 29 a 56 a subparcela 2 e as árvores de 57 a 84 a subparcela 3.

A partir das avaliações dendrométricas realizadas em cada subparcela estimou-se a área basal por hectare, volume sólido com casca por hectare, altura média e diâ-

metro médio, características consideradas para a análise de variância conjunta e seus desdobramentos. Em virtude das diferenças de idade existentes entre os povoamentos considerados nessa etapa (Tabela 1), obteve-se, por regra de três simples, a padronização das estimativas destas características para a idade de 5,4 anos.

3.8.2. Análise de variância conjunta

A análise de variância conjunta para as características área basal por hectare (m^2/ha), volume sólido por hectare (m^3/ha), altura média (m) e dap médio (dm), foi realizada considerando-se as duas espécies, *E. grandis* e *E. saligna*, nas parcelas D7, D8, D10, D12, D13, D14, D19, D20, S23 e S24, a partir dos valores médios destas características, ao nível de subparcelas.

O modelo matemático considerado foi:

$$Y_{ips} = m + g_i + s_p + (gs)_{ip} + e_{ips}$$

onde:

- Y_{ips} é a média da característica dendrométrica "Y", avaliada na espécie " g_i " e sítio " s_p ";
- m é a média geral da característica dendrométrica "Y" para as duas espécies nos sítios em estudo;
- g_i é o efeito fixo da espécie " g_i " com i variando de 1 a 2, na média " Y_{ips} ";

- s_p é o efeito aleatório do sítio "s" com p variando de 1 a 5, na média " Y_{ips} ";
- $(gs)_{ip}$ é o efeito aleatório da interação da espécie "g" com o sítio "s" na média " Y_{ips} ", de média zero e variância $\hat{\sigma}_{gs}^2$;
- e_{ips} é o erro experimental na média " Y_{ips} ".

A estrutura da análise de variância neste caso fica:

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	ESPERANÇA QUADRADO MÉDIO	F
Espécie	$i-1$	Q1	$\hat{\sigma}_e^2 + s\hat{\sigma}_{gs}^2 + ps\hat{\sigma}_g^2$	Q1/Q4
Sítio	$p-1$	Q2	$\hat{\sigma}_e^2 + s\hat{\sigma}_{gs}^2 + is\hat{\sigma}_s^2$	Q2/Q4
Espécie x Sítio	$(i-1)(p-1)$	Q3	$\hat{\sigma}_e^2 + s\hat{\sigma}_{gs}^2$	Q3/Q4
Erro	$s(i-1)(p-1)$	Q4	$\hat{\sigma}_e^2$	
TOTAL	$ips-1$			

onde:

- i é igual ao número de espécies;
- p é igual ao número de sítios;
- s é igual ao número de subparcelas;
- $\hat{\sigma}_e^2$ é a variância do erro experimental;
- $\hat{\sigma}_g^2$ é a variância genética entre espécies;
- $\hat{\sigma}_s^2$ é a variância entre sítios e
- $\hat{\sigma}_{gs}^2$ é a variância da interação espécies versus sítios.

3.8.3. Estimação dos componentes da variância

A partir da análise de variância foram realizados desdobramentos que permitiram a estimativa de diversos parâmetros genéticos e fenotípicos, tendo-se por base KAGEYAMA (1980) e VENCovsky (1978).

Os parâmetros determinados foram os seguintes:

$$1^{\circ}) \hat{\sigma}_e^2 = Q_4;$$

$$2^{\circ}) \hat{\sigma}_{gs}^2 = \frac{Q_3 - Q_4}{s}$$

$$3^{\circ}) \hat{\sigma}_s^2 = \frac{Q_2 - Q_3}{is}$$

$$4^{\circ}) \hat{\sigma}_g^2 = \frac{Q_1 - Q_3}{ps}$$

5^o) Coeficiente de Variação Genética:

$$CV_g (\%) = \frac{\hat{\sigma}_g}{\bar{x}} \cdot 100 ;$$

6^o) Coeficiente de Variação Fenotípica:

$$CV_F (\%) = \frac{\hat{\sigma}_F}{\bar{x}} \cdot 100 ;$$

7^o) Coeficiente de Variação da Interação Espécies x Sítios:

$$CV_{gs} (\%) = \frac{\hat{\sigma}_{gs}}{\bar{x}} \cdot 100 ;$$

8^o) Coeficiente de Variação Experimental:

$$CV_{EXP} (\%) = \frac{\hat{\sigma}_e}{\bar{x}} \cdot 100 ;$$

9^a) Variância Fenotípica, ao Nível de Média de Sub-parce-
las

$$\hat{\sigma}_F^2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{sp} + \hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_{gs}^2}{p}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeira Parte - Estimação e Interpretação dos Parâmetros Genéticos e Fenotípicos Responsáveis pelas Variações de Crescimento Entre Espécies e Sítios.

4.1. Valores Médios de Algumas Características Dendrométricas

Na análise dos dados feita a seguir, para as determinações dos valores médios das características dendrométricas avaliadas, consideraram-se os valores obtidos para todos os sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24. Essa discriminação se deve ao fato de que o sítio S23-S24 apresenta propriedades físicas e químicas de solo muito superiores as dos demais sítios, em termos de efeito sobre a produtividade do sítio. Dada esta discrepância, optou-se pela realização de análises estatísticas em separado, para que o efeito dessas diferenças pudessem ser ressaltados.

O *Eucalyptus grandis* foi superior ao *E. saligna* em quase todas características dendrométricas avaliadas (Tabela 18), só não o sendo, no dap, quando consideraram-se

todos os sítios conjuntamente. De forma diferente, o *E. grandis* foi superior ao *E. saligna*, nessa característica, quando omitiu-se o sítio S23-S24. A explicação para este fato se deve a maior percentagem de falhas na parcela de *E. saligna* do que à parcela de *E. grandis* no sítio S23-S24.

A título de exemplo, o *E. grandis* foi 16% e 39% superior ao *E. saligna* em termos de volume sólido de madeira com casca/ha, quando considerou-se todos os sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24, respectivamente. Aqui, o maior valor encontrado, no segundo caso, se deve a maior diferença de produtividade entre as espécies no sítio S23-S24.

Numericamente, dentre os sítios em estudo, o S23-S24 apresenta-se como o mais produtivo, 226,53 m³/ha e o sítio D12-D13 como o menos produtivo, 130,96 m³/ha, aos 5,4 anos de idade (Tabela 19), ou seja, 42 m³/ha/ano e 24 m³/ha/ano, respectivamente. Portanto, com uma amplitude de variação de 18 m³/ha/ano.

Estatisticamente, tendo por base o volume sólido de madeira com casca/ha, os sítios S23-S24, D10-D14 e D7-D8 são idênticos, assim como, os sítios D10-D14, D7-D8, D19-D20 e D12-D13 (Tabela 19). Do ponto de vista prático, contrastando com estes resultados, as diferenças de produtividade observadas entre os sítios são muito significativas, justificando em muitos casos, grandes investimentos técnicos e econômicos no manejo florestal para se conseguir ganhos de produtividade semelhantes aos observados.

Os dados evidenciam uma superioridade em produtividade do *E. grandis* relativamente ao *E. saligna* em sítios de baixo potencial produtivo, a qual foi ainda maior quando o potencial produtivo do sítio aumentava, fato constatado com grande frequência em várias regiões do Estado de São Paulo.

Enfaticamente, antes de apresentar os resultados da análise de variância conjunta para as características mostradas nas Tabelas 18 e 19, é importante destacar as diferenças de produtividade entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna*, e a grande amplitude de variação de produtividade entre os sítios.

Tabela 18 - Valor médio das características área basal/ha (m^2/ha), volume sólido com casca/ha (m^3/ha), altura (m) e dap (dm) para as espécies *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, quando considerou-se todos os sítios e quando omitiu-se o sítio S23-S24, aos 5,4 anos de crescimento.

ESPÉCIE	VALOR MÉDIO ⁽¹⁾			
	ÁREA BASAL/ha (m^2/ha)	VOLUME SÓLIDO COM CASCA/ha (m^3/ha)	ALTURA (m)	DAP (dm)
	----- com o sítio S23-S24 -----			
<i>Eucalyptus grandis</i>	21,5A	189,3A	20,5A	1,21A
<i>Eucalyptus saligna</i>	18,3B	162,4B	18,8B	1,17A
	----- sem o sítio S23-S24 -----			
<i>Eucalyptus grandis</i>	21,4A	189,6A	20,7A	1,22A
<i>Eucalyptus saligna</i>	16,3B	136,7B	18,4B	1,12B

(1) Os valores médios seguidos de uma mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 19 - Valor médio das características área basal/ha (m^2), volume sólido com casca/ha (m^3 /ha), altura (m) e dap (dm) nos diversos sítios em estudo, considerando as espécies *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* conjuntamente, aos 5,4 anos de crescimento.

SÍTIO	VALOR MÉDIO ⁽¹⁾			
	ÁREA BASAL/ha (m^2 /ha)	VOLUME SÓLIDO COM CASCA/ha (m^3 /ha)	ALTURA (m)	DAP (dm)
S23-S24	24,13 A	226,53 A	20,07 AB	1,27 A
D10-D14	20,40 AB	185,15 AB	20,83 A	1,17 ABC
D7-D8	19,70 AB	185,99 AB	20,84 A	1,27 AB
D19-D20	18,69 B	150,50 B	18,66 BC	1,09 C
D12-D13	16,68 B	130,95 B	17,86 C	1,13 BC

(1) Os valores médios seguidos de uma mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4.2. Análise de Variância Conjunta das Variáveis Dendrométricas

As variáveis área basal/ha, volume sólido de madeira com casca/ha, altura e dap revelaram grandes diferenças entre sítios para as espécies *E. grandis* e *E. saligna* aos 5,4 anos de crescimento (Figuras 3, 4, 5 e 6), evidenciando a existência de grandes variâncias devido ao genótipo, ao local e de interação genótipo vs local, constatados nos resultados encontrados na análise de variância conjunta (Tabela 20).

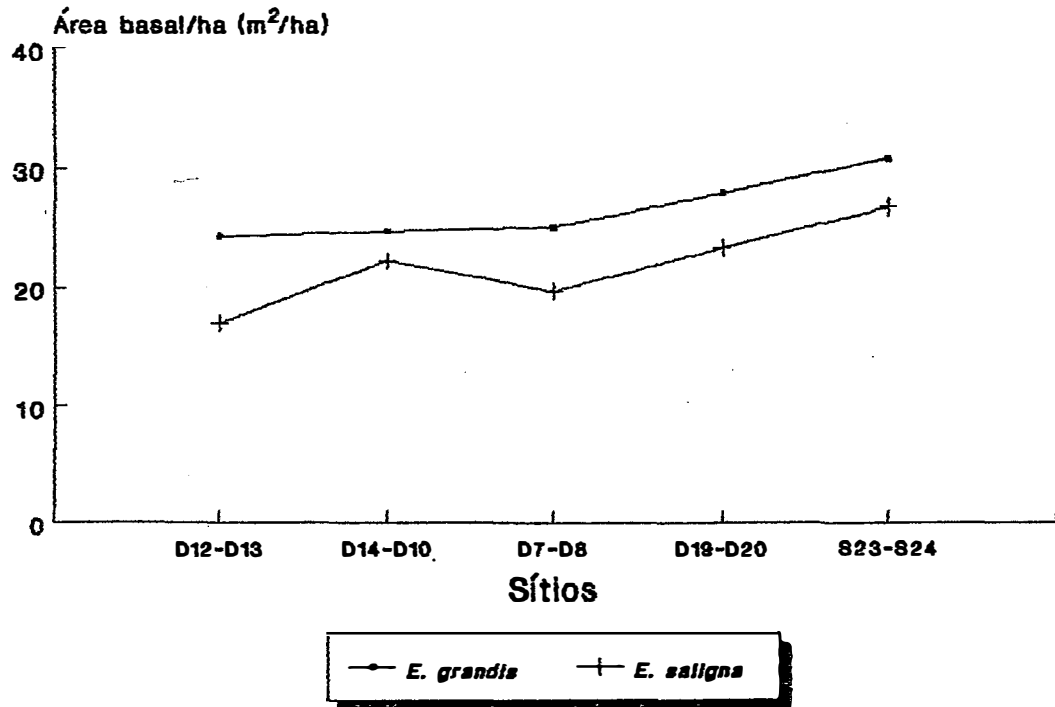


Figura 3 - Valores obtidos para a característica área basal/ha nos sítios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*.

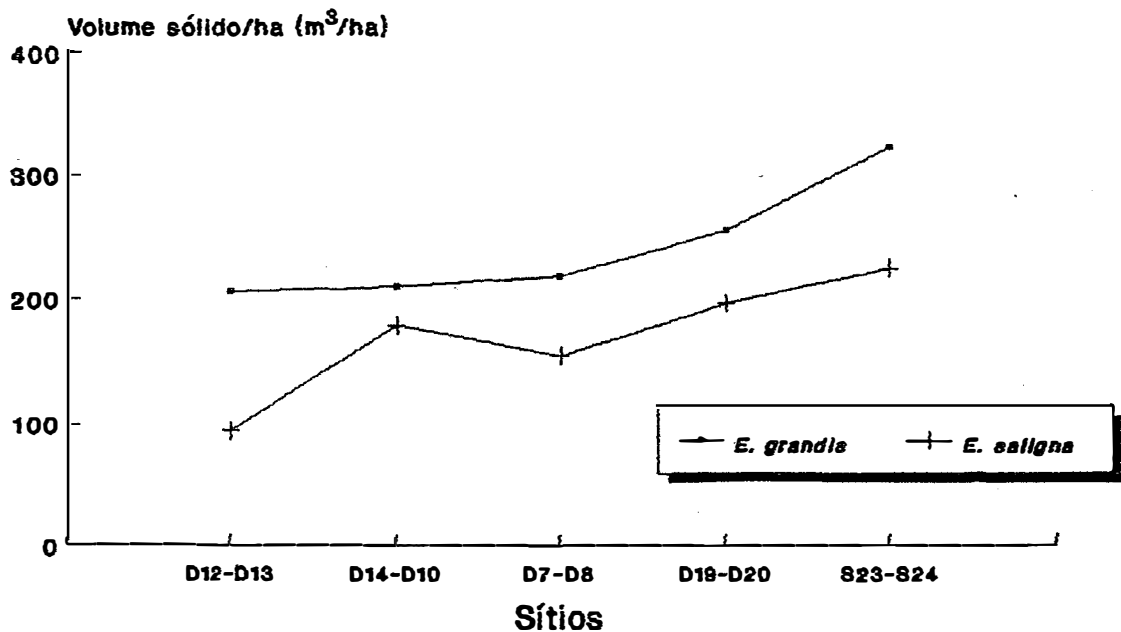


Figura 4 - Valores obtidos para a característica volume sólido com casca/ha nos sítios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*.

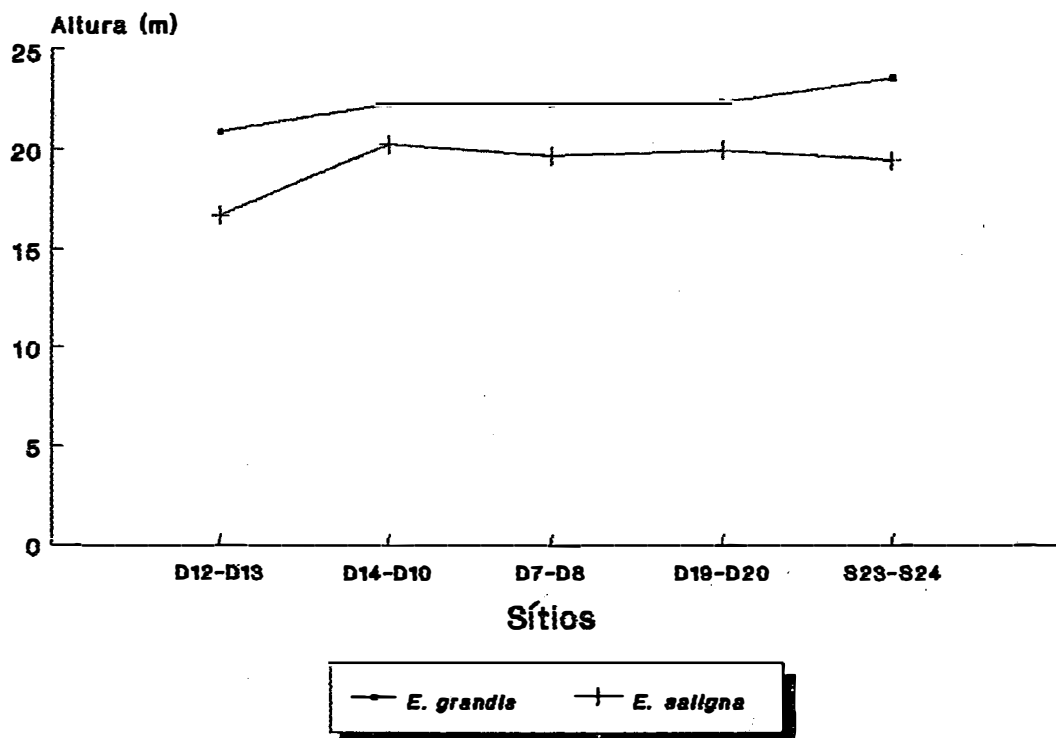


Figura 5 - Valores obtidos para a característica altura nos sítios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*.

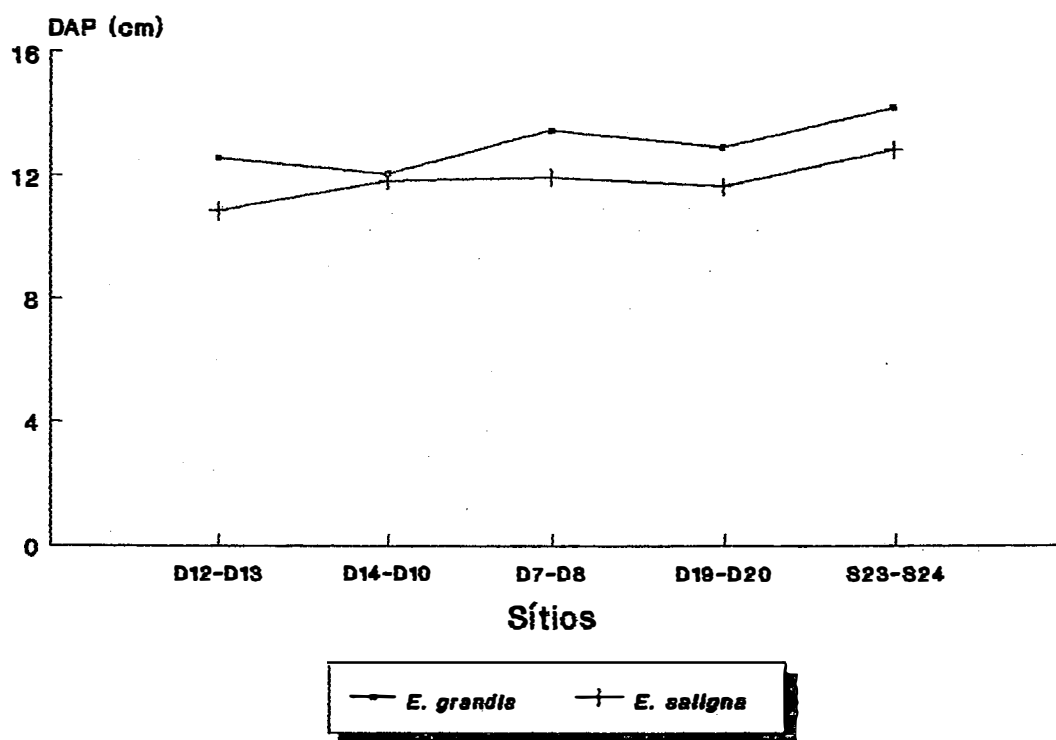


Figura 6 - Valores obtidos para a característica DAP nos sítios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*.

Tabela 20 - Análise de Variância Conjunta para as características área basal/ha (m²/ha), volume sólido com casca/ha (m³/ha), altura (m) e Dap (dm) envolvendo espécies *E. grandis* e *E. saligna*, quando consideraram-se os 5 sítios e quando omitiu-se o sítio S23-S24.

CARACTERÍSTICA	MÉDIA GERAL	F		COEFICIENTE DE VARIÇÃO EXPERIMENTAL (%)
		ESPÉCIE (E)	SÍTIOS (S)	
		----- com o sítio S23-S24 -----		
Área Basal/Ha (m ² /ha)	19,9	7,82**	4,70**	15,5
Volume Sólido/Ha (m ³ /ha)	175,8	5,15*	7,69***	18,5
Altura (m)	19,7	15,15***	8,24***	5,8
Dap (dm)	1,8	2,12 ^{ns}	6,47**	6,6
		----- sem o sítio S23-S24 -----		
Área Basal/Ha (m ² /ha)	18,87	16,31*	1,66 ^{ns}	16,3
Volume Sólido/Ha (m ³ /ha)	163,15	16,67***	4,38**	19,4
Altura (m)	19,54	22,65***	10,36***	5,9
Dap (dm)	1,17	8,48**	5,49 ^{ns}	6,9

Para fins práticos, a interpretação dos resultados apresentados na Tabela 20 indica a existência de diferenças genéticas entre o *E. grandis* e o *E. saligna*, que os sítios são distintos quanto as suas capacidades produtivas e que há interações genótipo-ambiente, quando considera-se as características área basal/ha, volume sólido de madeira com casca/ha e dap, para todos sítios analisados conjuntamente.

Em circunstâncias semelhantes, a utilização de materiais genéticos melhorados de *E. grandis* e *E. saligna* poderá não redundar em ganhos de produtividade satisfatórios, pois há grandes variações de sítio para sítio e interações entre genótipo-ambiente. O que seria o caso se introduzisse um material genético melhorado em um sítio de pior qualidade, relativamente àquele em que selecionou-se o genótipo, ou então, o de fazer o plantio em um sítio em que a interação genótipo-ambiente seja deletéria à produtividade.

Tendo em vista estas implicações, faz-se necessário conjugar as técnicas de caracterização e manejo do meio ambiente com o programa de melhoramento florestal. Com intuito de selecionar materiais genéticos apropriados para locais de características ambientais conhecidas, assim como, de antemão, ter condições preditivas de que tipo de interação genótipo-ambiente poderão ser esperadas. Só assim, efetivamente, serão conseguidos, no campo, os ganhos genéticos esperados pelas previsões teórico-estatísticas.

A análise de variância conjunta, quando omitiu-se o sítio S23-S24 (Tabela 20), vem mais uma vez corro-

borar os comentários feitos acima, pois, a simples omissão de um dos sítios, alterou profundamente o quadro geral de resultados da análise de variância. Tomando-se o volume sólido de madeira com casca/ha como ponto de referência, que é uma variável reflexo do produto final desejado, observa-se que a omissão de um sítio de alta qualidade resultou na redução da variância devido as diferenças de sítio, e aumentou a variância devido as diferenças de espécie, ressaltando a redução da amplitude de variação entre a qualidade dos sítios.

Em suma, conforme os sítios considerados, o efeito das diferenças de qualidade dos mesmos podem ser mais ou menos ressaltados, com grande implicação para os ganhos de produtividade esperados.

4.3. Componentes Genéticos e Fenotípicos Responsáveis pelas Variações de Crescimento Entre Espécies e Sítios

A partir de desdobramentos realizados nos componentes da análise de variância conjunta (Tabela 20) obteve-se as estimativas de variâncias genéticas entre espécies ($\hat{\sigma}_g^2$) de variâncias entre sítios ($\hat{\sigma}_s^2$) de variâncias da interação espécie x sítios ($\hat{\sigma}_{gs}^2$) e de variâncias do erro ($\hat{\sigma}_e^2$) para as características área basal/ha (m^2/ha), volume sólido de madeira com casca/ha (m^3/ha), altura (m) e dap (dm), (Tabela 21).

Tabela 21 - Estimativas de variâncias genéticas entre espécie ($\hat{\sigma}_g^2$), variâncias entre sítios ($\hat{\sigma}_s^2$), de variâncias da interação espécies x sítios ($\hat{\sigma}_{gs}^2$) e de variâncias do erro ($\hat{\sigma}_e^2$), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.

CARACTERÍSTICAS	VARIÂNCIAS			
	$\hat{\sigma}_g^2$	$\hat{\sigma}_s^2$	$\hat{\sigma}_{gs}^2$	$\hat{\sigma}_e^2$
----- com o sítio S23-S24 -----				
Área Basal/Ha (m^2/ha)	2,84	2,12	7,58	9,57
Volume Sólido/Ha (m^3/ha)	0	358,56	1638,79	1056,15
Altura (m)	1,09	1,21	0,74	1,31
Dap (dm)	0	0,15	0,83	0,62
----- sem o sítio S23-S24 -----				
Área Basal/Ha (m^2/ha)	12,31	1,53	0	9,46
Volume Sólido/Ha (m^3/ha)	1295,06	530,08	72,51	1006,18
Altura (m)	2,47	2,19	0	1,34
Dap (dm)	0,34	0,37	0,22	0,64

Quando considera-se o somatório de todos componentes de variância $\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_{gs}^2 + \hat{\sigma}_e^2$, aqui denominado $\hat{\sigma}_t^2$, verifica-se que a influência, em termos percentuais, da $\hat{\sigma}_{gs}^2$ sobre $\hat{\sigma}_t^2$ foi consideravelmente superior quando considerou-se os cinco sítios conjuntamente, relativamente às $\hat{\sigma}_{gs}^2$ obtidas quando omitiu-se o sítio S23-S24 (Tabela 22). Efeito também observado para os coeficientes de variação destas mesmas estimativas de variâncias (Tabela 23).

Tabela 22 - Percentagem de variação entre a variância genética entre espécie ($\hat{\sigma}_g^2$) variâncias entre sítios ($\hat{\sigma}_s^2$), de variâncias da interação espécies x sítios ($\hat{\sigma}_{gs}^2$) e de variâncias do erro ($\hat{\sigma}_e^2$) relativamente a soma das variâncias ($\hat{\sigma}_t^2 = \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_{gs}^2 + \hat{\sigma}_e^2$), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.

CARACTERÍSTICA	$\hat{\sigma}_g^2 / \hat{\sigma}_t^2 \times 100$	$\hat{\sigma}_s^2 / \hat{\sigma}_t^2 \times 100$	$\hat{\sigma}_{gs}^2 / \hat{\sigma}_t^2 \times 100$	$\hat{\sigma}_e^2 / \hat{\sigma}_t^2 \times 100$
	----- com o sítio S23-S24 -----			
Área Basal/Ha (m^2/ha)	12,85	9,59	34,28	43,28
Volume Sólido/Ha (m^3/ha)	0	11,74	53,67	34,59
Altura (m)	25,06	27,82	17,01	30,11
Dap (dm)	0	9,38	51,88	38,75
	----- sem o sítio S23-S24 -----			
Área Basal/Ha (m^2/ha)	52,83	6,57	0	40,60
Volume Sólido/Ha (m^3/ha)	44,62	18,25	2,50	34,64
Altura (m)	41,17	36,50	0	22,33
Dap (dm)	21,66	23,57	14,01	40,76

Tabela 23 - Coeficiente de variação fenotípica (CV_F), entre espécies (CV_σ), entre sítios (CV_S), da interação espécies x sítios (CV_{OS}), experimental (CV_{Exp}) e relação entre os coeficientes de variância entre espécies e experimental (CV_σ/CV_{Exp}), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.

CARACTERÍSTICAS	CV_F	CV_σ	CV_S	CV_{OS}	CV_{Exp}	CV_σ/CV_{Exp}
	----- com o sítio S23-S24 -----					
Área Basal/Ha (m^2/ha)	56,32	8,46	7,31	13,82	15,53	54,48
Volume Sólido/Ha(m^3/ha)	6,45	0	10,76	23,02	18,48	0
Altura (cm)	29,25	5,31	5,60	4,38	5,82	91,24
Dap (dm)	32,3	0	3,26	7,67	6,61	0
	----- sem o sítio S23-S24 -----					
Área Basal/Ha (m^2/ha)	101,62	18,59	6,96	0	16,29	114,19
Volume Sólido/Ha(m^3/ha)	14,03	22,07	14,11	5,22	19,44	113,53
Altura (cm)	22,36	8,04	7,93	0	5,93	135,58
Dap (dm)	49,19	5,00	5,21	4,02	6,85	72,99

A explicação para esta constatação, se encontra no fato de que, o sítio S23-S24 apresenta propriedades edáficas muito superiores a dos demais sítios (item 3.6.2), conseqüentemente, com uma qualidade de sítio também muito superior, culminando com um maior efeito de interação do genótipo com o ambiente.

Levando em consideração que no processo de seleção, quanto maior a parte genética relativamente a parte ambiental (não aproveitável) na variação total de uma determinada característica, mais efetivos são os esforços do melhorista, constata-se que a estratificação de ambientes, no presente caso, omitindo-se o sítio S23-S24, redundaria na elevação da parte genética responsável pela variação de crescimento (Tabelas 23 e 24), com uma maior perspectiva de ganho genético. Nesse sentido, tendo como relevância alguns dos objetivos do presente trabalho, pode-se dizer que a estratificação ecológica dos ambientes, através do mapeamento de solos e de estudos de relação solo-sítio, irá proporcionar uma minimização da $\hat{\sigma}_s^2$ e $\hat{\sigma}_{gs}^2$, ampliando a possibilidade de ganho genético no melhoramento dos povoamentos florestais. Estas afirmações, em parte, corroboram as alternativas propostas por SHELBOURNE & CAMPBELL (1976), ZOBEL & TALBERT (1984) e VENCovsky (1978) para reduzir o efeito da interação genótipo-ambiente nos programas de melhoramento.

Tabela 24 - Relação do coeficiente de variação genética entre espécies (CV_G), da interação espécies x sítios (CV_{GS}) e experimental (CV_{Exp}) com o coeficiente de variação fenotípica (CV_F), quando consideraram-se os cinco sítios conjuntamente e quando omitiu-se o sítio S23-S24.

CARACTERÍSTICAS	CV_G/CV_F	CV_S/CV_F	CV_{EXP}/CV_F
	----- com o sítio S23-S24 -----		
Área Basal/Ha (m^2/ha)	0,2	0,2	0,3
Volume Sólido/Ha(m^3/ha)	0	3,6	2,9
Altura (m)	0,2	0,0	0,2
Dap (dm)	0	0,2	0,2
	----- sem o sítio S23-S24 -----		
Área Basal/Ha (m^2/ha)	0,2	0	0,2
Volume Sólido/Ha(m^3/ha)	1,6	0,4	1,4
Altura (m)	0,4	0,3	0,3
Dap (dm)	0,1	0,1	0,1

Tomando-se por base a característica volume sólido de madeira com casca/ha, reflexo de diversas características amplamente consideradas no processo de seleção, observa-se que a $\hat{\sigma}_s^2$ e a $\hat{\sigma}_e^2$ alteraram-se pouco, relativamente as $\hat{\sigma}_{gs}^2$ e $\hat{\sigma}_g^2$ quando omitiu-se ou não o sítio S23-S24 na análise de variância conjunta. Donde conclui-se que, dentre as variâncias que trazem em si desvios devido a parte não genética da variação total daquela característica, a $\hat{\sigma}_{gs}^2$ é a principal responsável, portanto influenciando amplamente no ganho genético. KAGEYAMA (1980), MORI *et alii* (1986 e 1988) e

MORAES (1987) trabalhando a nível de procedências e clones de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla* encontraram variâncias para a interação genótipo-ambiente, relativamente, bem inferiores às encontradas neste trabalho. Segundo BARNES (1984) a provável explicação para estas constatações, se encontram no fato de que, a despeito de amplas diferenças genéticas entre procedências e clones, essas ainda são menores do que as existentes entre espécies, como no presente caso, entre o *E. grandis* e o *E. saligna*. Obviamente, com aumento de probabilidade de se encontrar maiores variâncias para a interação genótipo-sítios entre espécies. Ainda com referência às conclusões desse mesmo pesquisador, não há dúvidas quanto a significância econômica dos resultados advindos de interações positivas entre genótipos - sítios a nível de espécies, como por exemplo, as do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*. O mesmo nem sempre podendo ser dito com relação a procedências, progênies e clones.

A propósito, como relata BARNES & MULLIN (1976) e BARNES *et alii* (1984), a interação genótipo-ambiente, a nível de espécie, tem sido amplamente utilizada para espécies exóticas de rápido crescimento nos trópicos e subtropicais. Isso porque, quando se faz a dispersão destas espécies para diversas regiões, com grande abrangência de variações climáticas e edáficas, a partir de uma região de ocorrência mais restrita, se está promovendo um trabalho de identificação de condições edafo-climáticas favoráveis a determinadas interações genótipo-ambiente, altamente desejá-

veis para algumas características. O que terá como implicação prática, a multiplicação de áreas de plantio de uma determinada espécie em função de suas possibilidades de interação com o ambiente, detectadas pelos experimentos relativos a introdução de espécies.

Segunda Parte - Relacionamento da Qualidade de Sítio com as Características de Solo

4.4. Identificação das Características Físicas e Químicas dos Solos Responsáveis Pelas Variâncias das Interações Espécies x Sítios

Como foi visto nos itens anteriores, existem grandes variações ambientais entre os sítios, e que, as interações das espécies com esses sítios foram, na maioria dos casos, de grande amplitude, quando avaliadas pelas variâncias das características: área basal/ha, volume sólido de madeira com casca/ha, altura e dap. Diante destes resultados, é de grande importância prática identificar quais as principais características ambientais responsáveis pelas amplas interações observadas entre as espécies com os sítios florestais estudados. O que pode ser de grande valia no manejo florestal, quando se procura adequar a espécie certa para cada local de plantio.

Relembrando, no presente trabalho, dentre as variáveis ambientais dos sítios escolhidos, ao se procurar estreitar as variações climáticas e topográficas e ampliar as variações de solo, criou-se um tipo de situação, em que, as variações de solo são as principais variáveis do ambiente, com grande repercussão nos valores de produção encontrados nos diversos sítios florestais. Sabendo-se disto e dando continuidade ao estudo, os resultados e as discussões que se

seguem permitem a identificação de algumas propriedades físicas e químicas dos solos, responsáveis pelas variâncias da interação espécies x sítios. Embora, na metodologia utilizada, tenha sido considerado um número maior de sítios florestais, relativamente aquele utilizado para a obtenção dos resultados citados nos itens anteriores.

Para COILE (1952), "... o grau de sucesso obtido na demonstração de relações entre os fatores ambientais com o crescimento das árvores é em grande parte determinado pela capacidade do investigador em selecionar as variáveis independentes, as quais são assumidas como sendo relacionadas com o crescimento das árvores de várias formas e em diferentes combinações. A maneira com que o investigador faz a amostragem numa população de solos e outros fatores de sítio determinará a aplicabilidade geral dos resultados".

4.5. Avaliações Dendrométricas dos Sítios Considerados

Para a Obtenção das Equações de Regressão Múltipla

O índice de sítio teve como média global, maior valor, menor valor e coeficiente de variação: 28,2 m, 33,4 m; 20,2 m; e 12,6%, respectivamente, para todos os sítios de *E. grandis* considerados conjuntamente. E, para o volume sólido de madeira com casca 197,8 m³/ha, 355,8 m³/ha, 66,4 m³/ha e 37,8%, respectivamente, para estes mesmos parâmetros estatísticos (Tabela 25). No tocante aos sítios de *E. saligna* (Tabela 26) a média global, maior valor, menor valor

e coeficiente de variação para os índices de sítio foram: 29,4 m; 32,5 m; 25,5 m e 7,7%, respectivamente. E 174,8 m³/ha; 225,0 m³/ha; 95,2 m³/ha e 24,6%, respectivamente, para a característica volume sólido de madeira com casca.

Sem esquecer que para *E. grandis* foram avaliadas dezoito parcelas e para *E. saligna* oito parcelas, é importante destacar que, em termos de média global, o *E. grandis* foi inferior ao *E. saligna* na característica índice de sítio, o inverso foi observado para a característica volume sólido de madeira com casca. As parcelas de *E. grandis* também apresentaram maiores valores de coeficiente de variação para estas características. Essa mesma espécie apresentou maiores amplitudes de variação para o índice de sítio e volume sólido de madeira com casca, o que representa uma evidência e explicação para a constatação anterior.

Dadas as boas correlações verificadas entre as características dendrométricas avaliadas (Tabela 27), optou-se, nos itens a seguir, pelo ajuste de regressões múltiplas que tiveram como variáveis dependentes, apenas as características índice de sítio e volume sólido de madeira com casca.

As grandes amplitudes de variação das características dendrométricas avaliadas, para as duas espécies, vêm de encontro aos requisitos básicos para a obtenção de equações de regressão múltipla de alto poder de predição da produtividade de sítio, como preconiza CARMEAN (1975). Equações estas apresentadas e discutidas nos itens a seguir.

Tabela 25 - Avaliações dendrométricas das parcelas localizadas nos sítios de

E. grandis.

SÍTIO	ESPACAMENTO DE PLANTIO (m)	ÁREA DA PARCELA (m ²)	Nº DE ÁRVORES	ALTURA MÉDIA (m)	ALTURA MÉDIA ARV. DOMINANTES (cm)	ÍNDICE DE SÍTIO (cm)	DAP (cm)	VOLUME SÓLIDO CASCA (cm ³ /ha)	VOLUME SÓLIDO S/CASCA (cm ³ /ha)	VOLUME EMPILHADO (cm ³ /ha)	ÁREA BASAL (cm ² /ha)
R1	3.0 x 1.7	513.5	99	13.7	17.3	20.2	9.0	86.4	54.0	186.8	17.0
R2	3.0 x 1.7	529.1	99	17.5	20.9	24.7	11.5	131.2	106.6	299.9	22.6
R3	2.8 x 1.8	609.1	100	17.6	21.7	24.0	11.1	109.5	89.0	223.5	17.9
R4	2.8 x 1.8	634.4	100	20.8	24.1	25.9	14.2	186.0	151.2	325.3	23.6
R5	2.4 x 2.5	648.8	100	17.8	21.9	23.1	11.4	115.4	93.8	216.2	17.5
R6	2.4 x 2.5	647.9	100	25.4	33.9	33.4	16.0	335.8	289.8	494.1	30.0
R7	3.0 x 1.5	488.1	85	22.2	26.3	29.2	13.5	219.1	178.1	377.1	25.1
D12	3.2 x 1.5	529.5	100	20.8	26.9	29.1	12.6	206.8	166.1	364.5	24.4
D14	3.0 x 1.5	502.3	102	22.2	29.9	29.3	12.1	210.3	171.0	384.0	24.8
D15	3.0 x 1.5	498.2	96	21.7	26.4	29.3	12.8	233.6	189.9	403.4	26.7
D17	3.0 x 1.5	471.2	96	20.8	26.0	27.0	12.6	219.8	178.7	356.8	25.2
D18	3.0 x 1.5	499.6	99	23.4	28.4	30.3	13.3	267.6	217.6	424.9	27.4
D19	3.0 x 1.5	490.5	100	22.4	27.1	28.9	13.0	253.3	208.4	418.7	27.8
E21	3.0 x 1.5	511.8	103	21.6	26.1	29.5	13.4	205.6	167.2	396.1	26.1
E22	3.0 x 1.5	483.8	88	21.5	25.0	28.3	13.5	131.5	106.9	284.1	18.5
S23	3.0 x 1.5	527.3	100	23.5	30.8	31.9	14.3	322.7	262.3	494.8	30.7
F25	3.0 x 2.0	644.8	100	20.8	25.5	33.0	13.1	185.3	150.7	419.5	26.0
F26	3.0 x 2.0	579.5	100	17.3	23.0	31.3	11.2	137.4	111.7	385.5	24.7
MÉDIA GLOBAL		543.7	93.7	20.6	25.4	28.2	12.7	197.8	150.8	334.2	24.2
MAIOR VALOR		648.8	102.0	25.4	33.9	33.4	16.0	355.8	289.3	494.8	30.7
MENOR VALOR		486.2	56.0	13.7	17.3	20.2	9.0	66.3	54.0	186.8	17.2
COEF. VAR. (%)		20.0	11.2	13.7	14.8	12.6	12.1	37.8	36.0	30.4	16.9

Tabela 26 - Avaliações dendrométricas das parcelas localizadas nos sítios de *E. saligna*.

SÍTIO	ESPACAMENTO DE PLANTIO (cm)	ÁREA DA PARCELA (cm ²)	Nº DE ÁRVORES	ALTURA MÉDIA (cm)	ALTURA MÉDIA ARV. DOMINANTES (cm)	ÍNDICE DE SÍTIO (cm)	DAP (cm)	VOLUME SÓLIDO (cm ³ /ha)		VOLUME EMPILHADO (cm ³ /ha)	ÁREA BASAL (cm ² /ha)
								C/CASCA	S/CASCA		
D8	3.0 x 1.5	565.9	91	19.7	27.2	30.2	12.0	154.1	130.9	292.6	19.0
D9	3.3 x 1.5	506.2	98	20.1	26.2	28.7	12.4	193.9	164.9	366.8	24.3
D10	3.3 x 1.5	560.0	100	20.2	27.4	31.1	11.9	178.3	151.6	341.6	22.3
D11	3.1 x 1.5	529.6	100	17.8	24.4	27.6	11.1	140.1	119.1	290.4	20.5
D13	3.4 x 1.5	630.8	102	18.6	22.9	25.9	10.9	93.2	90.9	220.7	16.9
D16	3.2 x 1.5	512.0	103	20.3	27.5	30.8	12.3	219.6	183.2	401.4	25.8
D20	3.0 x 1.5	487.9	98	20.0	26.4	27.7	11.7	196.7	167.3	337.7	23.4
S24	3.0 x 1.8	628.7	100	19.5	26.1	32.9	13.0	229.0	191.2	427.5	26.7
MÉDIA GLOBAL		522.8	99	19.3	26.2	29.4	11.9	174.8	148.6	334.8	22.4
MAIOR VALOR		630.8	103	20.3	28.1	32.9	12.9	225.0	191.2	427.5	26.7
MENOR VALOR		487.5	91	17.8	22.9	25.9	10.9	93.2	90.9	220.7	16.9
COEF. VAR. (%)		10.4	3.7	6.9	7.2	7.7	9.7	24.6	24.6	19.6	14.8

Tabela 27 - Matriz de correlação* entre as características dendrométricas avaliadas para as parcelas *E. grandis* e *E. saligna* consideradas conjuntamente.

	DAP	ALTURA	ÁREA BASAL	VOLUME EMPILHADO	VOLUME CILÍNDRICO	VOLUME SOL DE MADEIRA C/ CASCA	ÍNDICE DE SÍTIO
Índice de Sítio	0,66	0,69	0,75	0,86	0,71	0,71	1,00
Volume Sólido de Madeira c/ Casca	0,83	0,90	0,92	0,92	1,00	1,00	
Volume Cilíndrico	0,83	0,90	0,93	0,92	1,00		
Volume Empilhado	0,75	0,80	0,98	1,00			
Área Basal	0,73	0,78	1,00				
Altura	0,91	1,00					
Dap	1,00						

* Todas correlações foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

4.6. Previsão da Qualidade de Sítio por Intermédio de Equações de Regressão Múltipla

4.6.1. Quando consideram-se os sítios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* analisados conjuntamente

A previsão da qualidade de sítio por intermédio de equações de regressão múltipla evidenciou que, quando utilizou-se o volume sólido de madeira com casca como variável dependente, obteve-se um melhor relacionamento dessa variável com as propriedades físicas e químicas do solo, comparativamente às equações ajustadas para o índice de sítio como variável dependente (Tabelas 28 e 29). Isto fica particularmente ressaltado pelos valores obtidos de R^2 mais elevados, pelo grau de significância desses coeficientes e, de modo geral, pelo maior número de variáveis significativas, que mantiveram-se nas equações de regressão múltipla ajustadas.

Curiosamente, a despeito dos maiores coeficientes de determinação obtidos nas equações, que tiveram como variável dependente o volume sólido de madeira com casca, os erros médios percentuais destas equações foram consideravelmente superiores aqueles obtidos para as equações que tiveram o índice de sítio como variável dependente (Tabelas 28 e 29). Assim, enquanto a maioria dos coeficientes de determinação e erros médios percentuais das equações, cuja variável dependente foi o índice de sítio, ficaram

entre 0,14 a 0,50 e 4,40 a 7,30, respectivamente, nas equações, cuja variável dependente foi o volume sólido de madeira com casca, estes valores elevaram-se para 0,56 a 0,88 e 13,89 a 23,21, respectivamente.

Verifica-se, portanto, que o erro de avaliação da qualidade de sítio é menor, quando se usa o índice de sítio como parâmetro de avaliação (CARMEAN, 1975), apesar das melhores relações existentes entre o volume sólido de madeira com casca e as propriedades físicas e químicas dos solos. O que faz sentido, em virtude das grandes variações das densidades de árvores, observadas e detectadas (Tabela 25 e 26), nos povoamentos representativos dos sítios amostrados, característica que tem grande influência sobre o volume sólido de madeira e pequena influência sobre o índice de sítio.

Em virtude da grande superioridade dos sítios S23, S24, F25 e F26, relativamente aos demais, em termos de seus teores de argila, conseqüentemente, de suas propriedades físicas e químicas (Tabela 7 a 16) fez-se o ajuste de regressões analisando-se todos os sítios conjuntamente e com a omissão destes sítios (Tabelas 28 e 29).

Embora tenham sido observadas alterações na precisão das equações e no tipo de variáveis independentes relacionadas, não se constata uma tendência nítida de elevação ou redução da precisão das equações em função da variável dependente e da profundidade considerada. Por outro lado, nota-se uma nítida alteração do tipo de transformação

da variável independente que relaciona-se com a variável dependente, e que, grandes mudanças nas equações ajustadas podem ser verificadas nas profundidades maiores, particularmente, se a variável dependente for o volume sólido de madeira com casca (Tabela 29). Isto pode ser exemplificado pelas equações ajustadas nas profundidades 40-60 e 100-120 cm, quando não se conseguiu nenhuma equação significativa na profundidade 100-120 cm, mas conseguindo-se na profundidade 40-60 cm, ao analisar-se todos os sítios conjuntamente. O contrário foi observado com a omissão dos sítios S23, S24, F25 e F26, que proporcionou a obtenção de uma equação significativa a 100-120 cm de profundidade e nenhuma significativa a 40-60 cm de profundidade. Tudo leva a crer que, a despeito das grandes diferenças de propriedades dos solos ocorrentes nos sítios S23, S24, F25 e F26, podem-se agrupá-los com os demais, que a precisão das equações não será drasticamente afetada nas camadas superiores, o mesmo não sendo verdade nas profundidades 40-60 e 100-120 cm.

Como uma das principais conclusões, deve-se ressaltar que é notória a melhor precisão e o maior número de variáveis independentes relacionadas significativamente com o volume sólido de madeira com casca na profundidade de 0-20 cm. Em termos práticos, isto vem confirmar que as camadas superficiais de solo são as que apresentam propriedades físicas e químicas mais relacionadas com a qualidade de sítio, portanto sendo as mais indicadas para serem amostradas e analisadas para fins de avaliação da fertilidade do solo.

Tabela 28 - Equações de regressão múltipla⁽¹⁾ que relacionam o índice de sítio (m) com as propriedades físicas e químicas dos solos⁽²⁾ para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F28, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios⁽³⁾.

PROFUN- DIDADE (cm)	EQUAÇÕES	R ²	ERRO MÉDIO (%)
----- com todos sítios -----			
00-10	IS = 44,88 + 8,85 ln(x ₂) + 5,50 ln(x ₄) - 3,05 ln(x ₁₀)	0,49 ⁽¹⁴⁾	6,45
10-20	IS = 23,64 + 3,39 ln(x ₁₉)	0,32 ⁽¹¹⁾	7,29
20-30	IS = 25,03 + 1,74 $\sqrt{x_{23}}$	0,32 ⁽¹¹⁾	7,17
40-60	IS = 56,03 - 13,27 x ₂₉ + 14,15 ln(x ₇) + 25,40 ln(x ₈) - - 39,55 ln(x ₁₀) + 5,70 ln(x ₁₉)	0,69 ⁽⁹⁾	4,88
100-120	IS = 22,35 + 3,55 ln(x ₁₉)	0,19 ⁽¹⁴⁾	7,08
----- com omissão dos sítios S23, S24, F25 e F28 -----			
00-10	IS = 8,55 + 1,83 x ₁ ² - 15,72 1/x ₂	0,49 ⁽¹¹⁾	5,31
10-20	IS = 1393,14 - 28,00x ₁ ² - 3445,63 1/x ₁ - 30,59 1/x ₈ - 28,50 $\sqrt{x_8}$	0,70 ⁽⁹⁾	4,39
20-30	IS = 21,32 + 1,26 x ₂ ² + 1,95 $\sqrt{x_{23}}$	0,29 ⁽⁸⁾	6,17
40-60	IS = 6,45 + 2,86 x ₂₈ - 3,71 ln(x ₂₅) + 5,35 $\sqrt{x_{19}}$	0,37 ⁽¹⁰⁾	5,72
100-120	IS = 30,47 - 0,02 1/x ₁₀	0,14 ⁽¹⁵⁾	7,08

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses, acima e a direita de R², representam o nível de significância dos mesmos;

⁽²⁾ x₁ = pH em CaCl₂; x₂ = matéria orgânica; x₃ = fósforo assimilável (extr. resina); x₄ = potássio trocável; x₅ = alumínio trocável; x₆ = acidez titulável; x₇ = valor T; x₈ = SiO₂ (ataque sulf.); x₉ = MnO (ataque sulf.); x₁₀ = sílto; x₁₉ = argila dispersa em água; x₂₃ = idade do povoamento; x₂₅ = densidade global;

⁽³⁾ Erro médio é igual a média dos valores obtidos pela operação (valor observado - valor predito)/valor observado x 100, aplicada a todos sítios individualmente.

Tabela 29 - Equações de regressão múltipla⁽¹⁾ que relacionam o volume sólido de madeira com casca (m³/ha) com as propriedades físicas e químicas dos solos⁽²⁾, para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25, F26, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios.

PROFUN- DIDADE (cm)	EQUAÇÕES	R ²	ERRO MÉDIO (%)
----- com todos sítios -----			
00-10	VS = 1204,47 + 1209,40 ln(x ₁) + 83,95 ln(x ₂) + + 57,54 ln(x ₃) - 208,47 √x ₄ - 35,48 √x ₂₅	0,68 ⁽³⁾	23,21
10-20	VS = 487,58 - 118,77 x ₅ + 22,32 x ₁₁ + 351,78 x ₂₀ + + 980,83 ln(x ₁) + 148,60 ln(x ₂) + 51,80 ln(x ₃) - - 1920,88 ln(x ₂₅) - 771,30 √x ₄	0,88 ⁽³⁴⁾	18,33
20-30	VS = - 254,89 + 87,28 x ₂₀ + 35,50 √x ₂₃	0,64 ⁽¹⁾	21,57
40-60	VS = 1322,88 + 380,35 x ₂₅ - 227,88 √x ₂₀ - 1837,27 ln(x ₂₅)	0,62 ⁽⁸⁾	20,00
100-120	não significativa		
----- com omissão dos sítios S23, S24, F25 e F26 -----			
00-10	VS = - 372,19 + 23,01 x ₁ ² + 9,05 x ₂ ² + 5,43 x ₂₅ ²	0,85 ⁽⁵⁾	18,64
10-20	VS = -480,78 + 5,52 x ₂₅ ² - 555,81 1/x ₅ + 763,64 √x ₁ - 404,95 √x ₃	0,79 ⁽⁴⁾	13,89
20-30	VS = -91,88 + 6,44 x ₂₅ ² + 41,28 √x ₂₃	0,61 ⁽¹⁾	18,54
40-60	não significativa		
100-120	VS = 48,08 + 5,00 x ₂₅ ² + 0,01 1/x ₅ - 0,29 1/x ₁₀	0,65 ⁽⁶⁾	17,33

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses, acima e a direita de R², representam o nível de significância dos mesmos;

⁽²⁾ x₁ = pH em CaCl₂; x₂ = matéria orgânica; x₃ = fósforo assimilável (extr. resina); x₄ = cálcio trocável; x₅ = magnésio trocável; x₆ = valor S; x₇ = valor V; x₁₀ = MnO (ataque sulf.); x₂₀ = silte; x₂₃ = idade do povoamento; x₂₅ = densidade global;

⁽³⁾ Erro médio é igual a média dos valores obtidos pela operação (valor observado - valor predito)/valor observado x 100, aplicada a todos sítios individualmente.

4.6.2. Quando consideram-se os sítios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* analisados separadamente

As equações de regressão múltipla aplicadas aos sítios de *E. grandis* (Tabelas 30 e 31) revelam que, o poder preditivo das variáveis dependentes destas equações foram, praticamente, idênticos aqueles obtidos ao se considerar os sítios de *E. grandis* e *E. saligna*, conjuntamente. Isso significa, que as espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram, nos sítios em estudo, relações semelhantes entre as variáveis dependentes com as variáveis independentes. Pois, a omissão dos sítios de *E. saligna*, do grupo de dados considerados para o ajuste das regressões, não alterou, consideravelmente, o tipo, número de variáveis independentes e poder preditivo das equações ajustadas (Tabelas 28, 29, 30 e 31). Por outro lado, são observadas algumas alterações dos tipos de transformações realizadas nas variáveis independentes.

Para comprovar estas constatações fez-se a predição do índice de sítio e do volume sólido de madeira com casca nos sítios de *E. saligna* utilizando-se das equações obtidas para os sítios de *E. grandis* (Tabela 32). Os valores encontrados revelam que, através das equações obtidas para os sítios de *E. grandis*, é possível estimar o índice de sítio e o volume sólido de madeira com casca nos sítios de *E. saligna*, sem comprometimento da precisão das estimativas realizadas. Provavelmente, para circunstâncias semelhantes, a recíproca também seja verdadeira.

Tabela 30 - Equações de regressão múltipla ⁽¹⁾ que relacionam o índice de sítio (m) com as propriedades físicas e químicas dos solos ⁽²⁾, para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F26, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios ⁽³⁾.

PROFUN- DIDADE (cm)	EQUAÇÕES	R ²	ERRO MÉDIO (%)
----- com todos sítios -----			
00-10	IS = 47,75 + 6,28 ln(x ₄)	0,39 ⁽¹⁾	8,28
10-20	IS = 23,08 + 3,45 ln(x ₁₃)	0,33 ⁽²⁾	8,19
20-30	IS = 24,41 + 2,79 ln(x ₂₃)	0,44 ⁽¹⁾	7,74
40-80	IS = 39,18 + 17,32 ln(x ₇) + 58,11 ln(x ₈) - 74,94 ln(x ₁₀) + 7,28 ln(x ₁₄)	0,70 ⁽⁶⁾	7,74
100-120	IS = 19,57 + 4,80 ln(x ₁₃)	0,29 ⁽⁸⁾	7,93
----- com omissão dos sítios S23, S24, F25 e F26 -----			
00-10	IS = 25,04 + 0,50 x ₉ ²	0,35 ⁽²⁾	7,85
10-20	IS = 89,11 - 209,49 1/x ₁ - 10,00 1/x ₃	0,76 ⁽¹⁾	4,52
20-30	IS = 22,00 + 2,97 √x ₂₃	0,29 ⁽⁴⁾	8,29
40-80	IS = 14,32 + 3,20 x ₂₃ - 18,87 1/x ₁₄	0,59 ⁽¹⁾	6,12
100-120	IS = 32,05 - 22,82 1/x ₁₃	0,21 ⁽⁹⁾	8,87

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses, acima e a direita de R², representam o nível de significância dos mesmos;

⁽²⁾ x₁ = pH em CaCl₂; x₃ = fósforo assimilável (extr. resina); x₄ = potássio trocável; x₇ = alumínio trocável; x₈ = acidez titulável; x₁₀ = valor T; x₁₃ = SiO₂ (ataque sulf.); x₁₄ = Al₂O₃ (ataque sulf.); x₂₃ = silte; x₂₈ = idade de povoamento;

⁽³⁾ Erro médio é igual a média dos valores obtidos pela operação (valor observado - valor predito)/valor observado x 100, aplicada a todos sítios individualmente.

Tabela 31 - Equações de regressão múltipla ⁽¹⁾ que relacionam o volume de madeira com casca (m³/ha) com as propriedades físicas e químicas dos solos ⁽²⁾ para todos sítios analisados conjuntamente e quando omitiram-se os sítios S23, S24, F25 e F26 ⁽³⁾, seguidos de seus coeficientes de determinação e erros médios.

PROFUN- DIDADE (cm)	EQUAÇÕES	R ²	ERRO MÉDIO (%)
----- com todos sítios -----			
00-10	VS = 6741,43 + 7280,79 x ₁ - 25557,68 ln(x ₁) - 326,30 √x ₁	0,80 ⁽¹⁾	38,12
10-20	VS = 231,58 + 70,22 x ₂₈ - 287,88 x ₂₉	0,64 ⁽¹⁾	22,54
20-30	VS = -313,21 + 78,38 x ₂₈ + 52,02 ln(x ₂₈)	0,70 ⁽¹⁾	22,29
40-60	VS = 231,58 + 70,22 x ₂₈ - 287,88 x ₂₉	0,84 ⁽¹⁾	22,54
100-120	não significativa		
----- com omissão dos sítios S23, S24, F25 e F26 -----			
00-10	VS = -657,27 + 41,42x ₁ ² + 13,70x ₂ ² + 4,58x ₂₈ ² + 0,16 1/x ₁₀	0,77 ⁽²⁾	18,63
10-20	VS = 832,87 + 5,44 x ₂₈ ² - 2706,88 1/x ₁ - 161,64 1/x ₈	0,83 ⁽⁸⁾	16,24
20-30	VS = -131,53 + 7,94 x ₂₈ ² + 53,86 ln(x ₂₃)	0,72 ⁽¹⁾	22,90
40-60	não significativa		
100-120	VS = -126,14 + 8,83x ₂₈ ² + 0,03 1/x ₅ + 208,56 1/x ₂₇ + 45,02ln(x ₅)	0,81 ⁽¹⁰⁾	15,33

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses, acima e a direita de R², representam o nível de significância dos mesmos;

⁽²⁾ x₁ = pH em CaCl₂; x₂ = matéria orgânica; x₃ = fósforo assimilável (extr. resina); x₅ = cálcio trocável; x₁₀ = MnO (ataque sulf.); x₂₃ = silte; x₂₇ = Kr; x₂₈ = idade de povoamento; x₂₉^{1g} = densidade global;

⁽³⁾ Erro médio é igual a média dos valores obtidos pela operação (valor observado - valor predito)/valor observado x 100, aplicada a todos sítios individualmente.

*

Tabela 32 - Valor médio observado, predito e erro médio de estimação das variáveis índice de sítio (IS) e volume sólido de madeira com casca (VS) para os sítios de *E. saligna*, determinados através das equações de regressões múltiplas ajustadas para os sítios de *E. grandis*.

VARIÁVEL DEPENDENTE	PROFUNDIDADE	VALOR MÉDIO		ERRO MÉDIO (%)
		OBSERVADO	PREDITO	
IS	00-10	29,4	27,9	6,57
	10-20	29,4	27,8	8,66
	20-30	29,4	27,4	6,34
	40-60	29,4	28,0	7,70
	100-120	29,4	26,3	6,88
VS	00-10	174,9	223,2	24,14
	10-20	174,9	194,2	26,68
	20-30	174,9	169,9	24,29
	40-60	174,9	194,2	19,84
	100-120	174,9	-	-

* Erro médio é igual a média dos valores obtidos pela operação: (valor observado - valor predito pela equação)/valor observado x 100, aplicada a todos sítios individualmente.

Aparentemente, estas afirmações contrastam com àquelas citadas nos itens 4.1 e 4.2, quando ficou demonstrado que o *E. grandis* foi superior ao *E. saligna* em seu potencial de produção, avaliado pelas características dendrométricas área basal, volume sólido de madeira com casca, altura e dap. Pois, se essas espécies diferem entre si nos seus potenciais de produção é incoerente supor que os mesmos possam ser estimados através de equações comuns, que relacionam a qualidade de sítio com as características físicas e químicas dos solos.

A princípio, existem pelo menos duas justificativas plausíveis para que as afirmações feitas não sejam aceitas como contrastantes. Na primeira delas, apesar dos altos coeficientes de determinação obtidos nas equações ajustadas, verificou-se que o erro médio percentual de predição das equações, cuja variável dependente foi o volume sólido de madeira com casca foi, na maioria das vezes, superior a 20%. Ou seja, um valor maior do que aquele encontrado como sendo significativo estatisticamente para as diferenças de produção, entre as duas espécies, 18%, quando considerou-se todos os sítios conjuntamente (Ítem 4.1). Desta forma, pode-se admitir que a não detecção das diferenças de potencial de produção entre o *E. grandis* e o *E. saligna*, em termos de volume sólido de madeira com casca, pelas equações ajustadas, se deve ao fato de que os erros médios de predição destas equações foram superiores as diferenças de produção entre as espécies. A mesma justificativa é válida com relação a característica índice de sítio, que permitiu o ajuste de equações com menores erros médios de predição, mas, provavelmente, ainda maiores do que as diferenças entre as espécies. A mesma justificativa é válida com relação a característica índice de sítio, que permitiu o ajuste de equações com menores erros médios de predição, mas, provavelmente, ainda maiores do que as diferenças entre as espécies no tocante a este índice.

Como uma outra justificativa, pode-se admitir que em virtude do maior número de parcelas consideradas no

ajuste das equações, comparativamente ao utilizado nos itens 4.1 e 4.2, e conseqüentemente, da maior dispersão dos dados relativos as estimativas do volume sólido de madeira com casca e do índice de sítio, as diferenças de produção entre as espécies não foram convenientemente detectadas pelas equações ajustadas, desde que, há diferenças relativas a densidade e idade do povoamento entre as parcelas.

Conclusivamente, apesar do elevado poder de predição da maioria das equações de regressão múltipla ajustadas, especialmente quando trata-se do índice de sítio, não se recomenda a utilização prática destas para avaliações das diferenças de produção entre o *E. grandis* e o *E. saligna*.

4.7. Verificação da Fidedignidade de Uso das Equações de Regressão Múltipla para Sítios Desconhecidos

Para a verificação do poder preditivo da produtividade do sítio pelo método pesquisado, fez-se o ajuste de regressões considerando-se apenas alguns dos sítios caracterizados e utilizando-se os demais, aqui denominados como sítios desconhecidos, como teste de precisão das equações. Metodologia também adotada por BROADFOOT (1969), FRAYER *et alii* (1971), BOWERSOX & WARD (1972), GRANEY & FERGUSON (1971 e 1972), e McQUILKIN (1976), com objetivos semelhantes. Assim ajustaram-se regressões com os dados dos sítios D7, D8, ..., D20 (Tabela 33). A partir destas regressões, testou-se o poder preditivo das mesmas, usando

Tabela 33 - Equações de regressão múltipla⁽¹⁾ que relacionam o índice de sítio (m) e o volume sólido de madeira com casca (m³/ha) com as propriedades físicas e químicas dos solos⁽²⁾ dos sítios D7, D8, D9, ... e D20, seguidas de seus coeficientes de determinação e erros médios.

PROFUN- DIDADE , (cm)	EQUAÇÕES	R ²	ERRO MÉDIO (%)
----- Índice de Sítio (m) -----			
00-10	IS = 125,77 - 1,29 1/x ₄ - 316,69 √x ₄	0,42 ⁽⁹⁾	3,6
10-20	IS = 31,52 - 8,73 1/x ₁₃	0,23 ⁽⁹⁾	3,6
20-30	IS = 31,20 - 0,83x ₂₃ + 0,84x ₂ ² - 8,12 1/x ₁₃ - - 4,01√x ₁₄ + 4,37√x ₂₃	0,84 ⁽⁶⁾	1,5
40-60	IS = 32,27 + 0,07 x ₁₃ ² - 3,14 ln(x ₂₅)	0,40 ⁽¹⁰⁾	3,9
100-120	IS = 54,99 - 0,06 1/x ₁₆ - 2,18 ln(x ₁₃) - 164,77 √x ₁₆	0,64 ⁽¹⁰⁾	2,4
----- Volume Sólido (m ³ /ha) -----			
00-10	VS = 753,17 + 44,81 x ₂ ² - 2166,84 1/x ₂₈ - 518,09 ln(x ₂)	0,55 ⁽¹²⁾	15,5
10-20	VS = 1610,64 - 497,68 1/x ₉ - 2651,52 1/x ₂₈ - - 473,55 √x ₉	0,64 ⁽⁵⁾	12,3
20-30	VS = 467,55 - 1534,89 1/x ₂₈ + 10,42 ln(x ₂₃)	0,66 ⁽⁶⁾	11,2
40-60	não significativa		
100-120	VS = 4151,27 - 42,77 x ₂₈ ² - 1,29 1/x ₁₆ - 18701,36 1/x ₂₈ - - 186,80 ln(x ₁₆)	0,81 ⁽³⁾	8,0

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses, acima e a direita de R², representam o nível de significância dos mesmos;

⁽²⁾ x₂ = matéria orgânica; x₉ = fósforo assimilável (extr. resina); x₄ = potássio (focável; x₁₃ = SiO₂ (ataque sulf.); x₁₄ = Al₂O₃ (ataque sulf.); ⁴x₁₆ = MnO (ataque sulf.); x₂₃² = silte; x₂₅² = argila dispersa em água; x₂₈² = idade de povoamento;

⁽³⁾ Erro médio é igual a média dos valores obtidos pela operação (valor observado - valor predito)/valor observado x 100, aplicada a todos sítios individualmente.

como exemplo as regressões obtidas para a profundidade de 0-10 cm, para prever o índice de sítio e o volume sólido de madeira com casca dos sítios R1, R2, ..., R6, E21, E22, S23, S24, F25 e F26 (Tabela 34).

Tendo por base o erro percentual de estimação do índice de sítio, constata-se que esse erro, com exceção do sítio R1, variou de 5,7 a 20,7, e teve como média 13,9, quando consideraram-se apenas os sítios R1, R2, ..., R6, E21 e E22, os quais apresentam propriedades edáficas mais próximas as dos sítios D7, D8, ... e D20. Para os demais sítios, os erros foram mais elevados, certamente, devido as grandes diferenças de propriedades edáficas desses sítios relativamente aos sítios D7, D8, ... e D20, que foram utilizados para o ajuste das equações. Mais uma vez fica ressaltada a grande importância de estratificar os ambientes para a obtenção de equações, que relacionam o índice de sítio com as propriedades edáficas, o que redundará num maior poder de predição das mesmas (PRITCHETT, 1986). Um grande número de trabalho tem mostrado que, quando outros fatores de sítio são mantidos constantes, o nível de nutrientes do solo relaciona-se efetivamente com a produtividade do sítio (MÖLLER, 1974; PRITCHETT & GOODING, 1975).

Com relação a predição do volume sólido de madeira com casca pelas equações ajustadas, é notória a grande dispersão dos valores encontrados (Tabela 34), nas sua grande maioria, revelando que essas equações, a despeito de seus maiores coeficientes de determinação, apresentam baixo poder

Tabela 34 - Valor observado, predito e erro⁽¹⁾ de estimação das variáveis índice de sítio (IS) e volume sólido de madeira com casca (VS), para diversos sítios, determinados através das equações ajustadas para os sítios D7, D8, ..., D20 na profundidade de 0-10 cm.

VARIÁVEL DEPENDENTE	SÍTIO	VALOR MÉDIO		ERRO MÉDIO (%)
		OBSERVADO	PREDITO	
		----- m -----		
IS	R1	20,2	30,2	49,3
	R2	24,7	28,0	13,2
	R3	23,5	28,0	18,9
	R4	25,9	30,2	16,6
	R5	23,1	28,0	20,7
	R6	33,4	29,2	12,7
	E21	29,6	26,7	9,6
	E22	28,3	26,7	5,7
	S23	31,9	23,6	26,2
	S24	32,5	16,4	49,4
	F25	33,0	12,7	61,4
	F26	31,3	5,3	83,0
		----- m ³ /ha -----		
VS	R1	66,4	139,9	110,8
	R2	131,2	151,6	15,6
	R3	109,5	208,8	90,7
	R4	186,0	215,1	15,7
	R5	115,4	218,1	89,0
	R6	355,8	264,7	25,6
	E21	205,5	185,0	10,0
	E22	131,9	164,5	25,1
	S23	322,7	487,4	51,1
	S24	225,0	461,6	105,2
	F25	185,4	62,5	66,3
	F26	137,4	68,8	49,9

* Erro é igual a diferença entre o valor observado menos o valor predito, dividido pelo valor observado, multiplicado por 100.

de predição, não sendo recomendadas para sítios desconhecidos.

4.8. Propriedades Físicas e Químicas dos Solos Relacionados com a Qualidade de Sítio

Dentre as formas de apresentação das variáveis independentes, encontradas nas diversas equações de regressão múltipla ajustadas, constata-se que a forma logarítmica foi a mais freqüente, seguidas pelas formas inversa, quadrática, raiz quadrática e linear, em ordem decrescente de freqüência de ocorrência (Tabela 35). Embora não tenha sido apresentado, observou-se no decorrer dos ajustes das regressões múltiplas, que os relacionamentos das variáveis dependentes com as variáveis independentes, somente em suas formas lineares, faziam com que a precisão de ajuste das regressões, medidas pelo R^2 e número de variáveis independentes significativamente relacionadas, fossem consideravelmente inferiores, tornando imprescindível a realização de transformações das variáveis independentes. Inclusive, a falta destas transformações pode ter sido uma das causas do insucesso de muitas tentativas realizadas em trabalhos correlatos, que relacionam a qualidade de sítio com as características ambientais.

Uma outra observação que pode ser feita ao analisar a Tabela 35, é que, fica, mais uma vez, nítida as melhores relações existentes entre as variáveis independen-

tes com o volume sólido de madeira com casca, as quais são mais evidentes nas camadas superiores do solo, mesmo quando se faz uma análise conjunta de todos os modelos ajustados.

Dentre as variáveis independentes encontradas nas equações ajustadas, a variável, idade do povoamento (X_{28}), foi a que apresentou maior frequência de ocorrência (Tabela 35). Consultando as Tabelas 28, 29, 30, 31 e 33, verificou-se que sua ocorrência restringe-se às equações, cuja variável dependente foi o volume sólido de madeira com casca. De certa forma, isto já era esperado, uma vez que existiam, entre os povoamentos, diferenças de idade, e que nenhuma padronização de idade para as variáveis dependentes foi realizada.

Em se tratando da altura das árvores, pode-se explicar uma considerável variação dessa por intermédio da variação de idade (WRIGHT & DYNE, 1971). Portanto, quando a idade das árvores não é usada como uma variável independente, não deve-se pressupor que as variáveis edáficas e topográficas, sozinhas, expliquem todas variações em altura das árvores.

Com relação as demais variáveis independentes encontradas nas equações ajustadas, observa-se que as variáveis pH em CaCl_2 , teor de silte, teor de fósforo assimilável, teor de SiO_2 e o teor de matéria orgânica, dentre outras (Tabela 36), foram as que mais se destacaram nas suas relações com a qualidade de sítio.

Tabela 35 - Forma de apresentação e frequência de ocorrência (valores entre parênteses) das variáveis independentes encontradas nas diversas equações de regressão múltipla ajustada (Tabelas 28, 29, 30, 31 e 33).

VARIÁVEL DEPENDENTE	PROFUND. (cm)	FORMA DE APRESENTAÇÃO DA VARIÁVEL INDEPENDENTE				
		SIMPLES	QUADRÁTICA	RAIZ QUADRÁTICA	LOGARÍTMICA	INVERSA
IS	00-10	-	$X_1 \cdot X_3$	X_4	$X_4^{(2)} \cdot X_2 \cdot X_0$	$X_2 \cdot X_4$
	10-20	-	X_1	X_3	$X_1^{(2)}$	$X_1^{(2)} \cdot X_9^{(2)} \cdot X_{13}$
	20-30	X_{23}	$X_2^{(2)}$	$X_{23}^{(4)} \cdot X_{14}$	X_{23}	X_{13}
	40-60	$X_{28} \cdot X_{29}$	X_{13}	X_{19}	$X_7^{(2)} \cdot X_9^{(2)} \cdot X_{10}^{(2)}$ $X_{25}^{(2)} \cdot X_{13} \cdot X_{14}$	X_{14}
	100-120	-	-	X_{10}	$X_{13}^{(3)}$	$X_{10}^{(2)} \cdot X_{13}$
VS	00-10	X_1	$X_2^{(3)} \cdot X_1^{(2)} \cdot X_{28}^{(2)}$	$X_9^{(2)} \cdot X_{23}$	$X_1^{(2)} \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_0$	X_{28}
	10-20	$X_0 \cdot X_{11} \cdot X_{28} \cdot X_{29}$	$X_{28}^{(2)}$	$X_3^{(2)} \cdot X_1 \cdot X_9$	$X_1 \cdot X_3 \cdot X_0 \cdot X_{28}$	$X_3^{(3)} \cdot X_{28} \cdot X_1$
	20-30	$X_{28}^{(2)}$	$X_{28}^{(2)}$	$X_{23}^{(2)}$	$X_{23}^{(3)}$	X_{28}
	40-60	$X_{28}^{(2)} \cdot X_{29}^{(2)}$	-	-	X_{28}	-
	100-120	-	$X_{28}^{(3)}$	-	$X_5 \cdot X_{10}$	$X_5^{(2)} \cdot X_{10}^{(2)} \cdot X_{27} \cdot X_{28}$
TOTAL		$X_{28}^{(4)} \cdot X_{29}^{(4)}$	$X_{28}^{(9)} \cdot X_2^{(5)} \cdot X_1^{(4)}$	$X_{28}^{(7)} \cdot X_9^{(8)}$	$X_{13}^{(6)} \cdot X_{29}^{(4)} \cdot X_1^{(3)}$	$X_3^{(3)} \cdot X_{10}^{(4)} \cdot X_{28}^{(4)}$
		$X_1 \cdot X_0 \cdot X_{11} \cdot X_{29}$	$X_3 \cdot X_{13}$	$X_5^{(2)} \cdot X_1 \cdot X_4$	$X_{10}^{(3)} \cdot X_2^{(2)} \cdot X_3^{(2)}$	$X_1^{(3)} \cdot X_{13}^{(3)} \cdot X_5^{(2)}$
			$X_9 \cdot X_{10} \cdot X_{14} \cdot X_{10}$	$X_9 \cdot X_{13} \cdot X_{10} \cdot X_{14} \cdot X_{10}$	$X_4^{(2)} \cdot X_0^{(2)} \cdot X_7^{(2)}$	$X_2 \cdot X_4 \cdot X_{14} \cdot X_{27}$
					$X_9^{(2)} \cdot X_{29}^{(2)} \cdot X_{28}^{(2)}$	
					$X_{14} \cdot X_{10}$	

IS = índice de Sítio;
VS = Volume Sólido de Madeira com Casca

Tabela 36 - Frequência de ocorrência para as principais variáveis independentes encontradas nas diversas equações de regressão múltipla ajustadas (Tabelas 28, 29, 30, 31 e 33).

VARIÁVEL INDEPENDENTE		FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA
DENOMINAÇÃO	SIGNIFICAÇÃO	
X ₂₈	idade do povoamento (anos)	20
X ₁	pH em CaCl ₂	12
X ₂₃	silte (%)	12
X ₃	teor de fósforo (ppm)	11
X ₁₃	teor de SiO ₂ (%)	11
X ₂	matéria orgânica (%)	8
X ₁₆	teor de MnO (%)	6
X ₅	teor de cálcio trocável (meq/100g)	5
X ₄	teor de potássio trocável (meq/100g)	4
X ₂₉	densidade global	4

Semelhantemente, trabalhos com diversas espécies revelaram que estas características foram as que melhor se relacionaram com o crescimento das árvores: pH (DELLA - BIANCA & OLSON, 1961; THONSON & McCOMB, 1962; BROADFOOT, 1969; BARROS, 1974 e 1979), teor de silte (BARNES & RALSTON, 1955; ZAHNER, 1958; PHILLIPS & MARKLEY, 1963; WILDE *et alii*, 1964a e b; YADAV & PRADASH, 1969; BOWERSOX & WARD, 1972), teor de fósforo (BARROS, 1974 e 1979; SCHUTZ, 1976; CREMER *et alii*, 1978; CÁRDENAS, 1987), teor de matéria orgânica (DELLA - BIANCA & OLSON, 1961; THONSON & McCOMB, 1962; WILDE *et alii*, 1964a e b; BROADFOOT, 1969; BARROS, 1974 e 1979; CÁRDENAS, 1987).

Destacando o silte, os pesquisadores supra citados verificaram que as frações texturais finas (silte e argila) relacionaram-se diretamente com o crescimento das árvores. Essas frações texturais assumem papéis fundamentais na capacidade de retenção de umidade e nutrientes, particularmente, nos solos de textura arenosa (BARNES & RALSTON, 1955 e GONÇALVES, 1988). Entretanto, quando os teores dessas frações se elevam consideravelmente, alguns pesquisadores (CHANNAH, 1968 e JACKSON, 1962) verificaram um comportamento inverso com relação ao crescimento das árvores, atribuído, fundamentalmente, ao comprometimento do sistema de aeração da atmosfera edáfica (RALSTON, 1964). Provavelmente este não deve ser o caso para muitos solos tropicais da classe dos Latossolos, pois os mesmos apresentam alta permeabilidade e macroporosidade, mesmo quando muito argilosos (Lepsch¹).

Muitas variáveis independentes não são verdadeiramente independentes umas das outras. Em muitos casos, as variáveis independentes são intimamente intercorrelacionadas, não entrando nos modelos de regressão ajustados. Para verificar estas afirmações, fez-se uma matriz de correlação englobando as variáveis independentes utilizadas no ajuste das regressões múltiplas, podendo-se destacar como as principais correlações àquelas apresentadas na Tabela 37.

¹LEPSCH, I. F. (IAC - Instituto Agronômico de Campinas). Comunicação pessoal. 1990.

Tabela 37 - Principais variáveis independentes encontradas nas equações de regressão múltipla e suas correlacionadas, que apresentam coeficientes de correlação iguais ou superiores a 0,40 (valores entre parênteses), obtidos através de uma matriz de correlação onde consideram-se todas variáveis e profundidades, ao mesmo tempo.

VARIÁVEIS INDEPENDENTES ENCONTRADAS NAS EQUAÇÕES AJUSTADAS	VARIÁVEIS INDEPENDENTES CORRELACIONADAS*
pH	fósforo assimilável (0,42); cálcio trocável (0,65); magnésio trocável (0,57); valor S (0,64); valor V (0,69); valor m (-0,66); Al_2O_3 , ataque sulf. (0,40); areia fina (-0,44); areia total (-0,48); silte (0,56);
silte	pH (0,56); matéria orgânica (0,45); fósforo assimilável (0,51); potássio trocável (0,65); cálcio trocável (0,70); magnésio trocável (0,72); acidez extraível (0,59); valor S (0,74); CTC ₇ (0,68); valor V (0,61); valor m (-0,68); SiO_2 , ataque sulf. (0,68); Al_2O_3 , ataque sulf. (0,65); Fe_2O_3 , ataque sulf. (0,62); MnO, ataque sulf. (0,48); areia muito grossa (0,54); areia média (-0,67); areia fina (-0,74); areia total (-0,84); argila dispersa calgon (0,61); argila dispersa em água (0,43); densidade global (-0,75);

* Todos coeficientes de correlação citados são significativos a valores menores do que 0,1% de probabilidade.

Tabela 37 - Continuação.

VARIÁVEIS INDEPENDENTES ENCONTRADAS NAS EQUAÇÕES AJUSTADAS	VARIÁVEIS INDEPENDENTES CORRELACIONADAS*
fósforo assimilável	pH (0,42); matéria orgânica (0,52); cálcio trocável (0,65); magnésio trocável (0,82); valor S (0,72); CTC ₇ (0,45); valor V (0,53); valor m (-0,56); silte (0,51);
SiO ₂ , ataque sulf.	potássio trocável (0,56); cálcio trocável (0,44); alumínio extraível (0,72); acidez extraível (0,80); valor S (0,44); CTC ₇ (0,81); Al ₂ O ₃ , ataque sulf. (0,95); Fe ₂ O ₃ , ataque sulf. (0,86); areia muito grossa (0,41); areia média (-0,62); areia fina (-0,80); areia total (-0,93); silte (0,57); argila dispersa calgon (0,94); argila dispersa água (0,78); densidade global (-0,60);
matéria orgânica	fósforo assimilável (0,52); cálcio trocável (0,54); magnésio trocável (0,55); acidez extraível (0,61); valor S (0,56); CTC ₇ (0,67); valor m (-0,41); silte (0,45); densidade global (-0,57);
MnO, ataque sulf.	potássio trocável (0,58); areia muito grossa (0,78); silte (0,43); Ki (0,50); Kr (0,48);

* Todos coeficientes de correlação citados são significativos a valores menores do que 0,1% de probabilidade.

Tabela 37 - Continuação.

VARIÁVEIS INDEPENDENTES ENCONTRADAS NAS EQUAÇÕES AJUSTADAS	VARIÁVEIS INDEPENDENTES CORRELACIONADAS*
cálcio trocável	pH (0,65); matéria orgânica (0,54); fósforo assimilável (0,65); potássio trocável (0,44); magnésio trocável (0,88); valor S (0,99); CTC ₇ (0,50); valor V (0,89); valor m (-0,89); SiO ₂ , ataque sulf. (0,41); areia média (-0,44); areia total (-0,53); silte (0,70); densidade global (-0,46);
potássio trocável	cálcio trocável (0,44); magnésio tro- cável (0,46); alumínio extraível (0,49); acidez extraível (0,58); valor S (0,49); CTC ₇ (0,63); valor V (0,49); valor m (-0,54); SiO ₂ , ataque sulf. (0,56); Al ₂ O ₃ , ataque sulf. (0,40); MnO, ataque sulf. (0,58); areia muito grossa (0,77); areia grossa (0,43); areia média (-0,40); areia fina (-0,62); areia total (-0,54); silte (0,65);
densidade global	matéria orgânica (-0,57); cálcio tro- cável (-0,46); magnésio trocável (-0,47); acidez extraível (-0,59); valor S (-0,48); CTC ₇ (-0,64); SiO ₂ , ataque sulf. (-0,60); Al ₂ O ₃ , ataque sulf. (-0,65); Fe ₂ O ₃ , ataque sulf. (-0,64); areia média (0,51); areia fina (0,53); areia total (0,72); silte (-0,76); argila dispersa calgon (-0,62); argila dispersa água (-0,41).

* Todos coeficientes de correlação citados são significativos a valores menores do que 0,1% de probabilidade.

Nota-se que as variáveis destacadas se correlacionam estatisticamente, em níveis inferiores a 0,1% de probabilidade, com praticamente todas variáveis independentes introduzidas nos modelos testados. Os coeficientes de correlação citados na Tabela 37, provavelmente, terão seus valores elevados, se nas matrizes de correlação também foram utilizadas as transformadas das variáveis independentes. Esses resultados revelam que, certamente, as equações ajustadas teriam um número maior de variáveis independentes relacionadas, se as variáveis independentes que permaneceram nas equações, não fossem altamente associadas com as demais variáveis.

Aparentemente, com base nesta colocação e para as circunstâncias vigentes, o grau de associação entre o índice de sítio e o volume sólido de madeira com casca com as características edáficas testadas, só não foi maior devido aos altos níveis de colinearidade entre as variáveis independentes. Nesta linha de raciocínio, melhores associações serão conseguidas, ao se ampliar o rol de variáveis independentes não correlacionadas entre si.

Essas conclusões, podem ser tomadas como uma das principais causas das baixas associações entre a qualidade de sítio e as propriedades edáficas. Certamente, uma causa de efeito maior do que àquela admitida por muitos pesquisadores (RALSTON, 1964; CARMEAN, 1975; PRITCHETT, 1986), de que as características edáficas utilizadas nos estudos de relação solo-sítio são estimativas indiretas do regime hí-

drico e de nutrientes do solo.

4.9. Aplicação de Estudos de Relação Solo-Sítio Para a Interpretação de Levantamento do Solo

Nos últimos anos, particularmente na década de oitenta, o método do levantamento de solo tem sido utilizado com frequência para a classificação da qualidade de sítios florestais brasileiros. Essa metodologia, que é baseada em uma classificação taxonômica, requer, como complementação, uma classificação técnica ou interpretativa, para atender suas finalidades práticas de manejo florestal.

Nessa fase, as unidades de solo mapeadas são interpretadas e agrupadas em função de objetivos específicos, a partir da reunião, reorganização e apresentação de informações disponíveis, que relacionam as unidades de solo com a qualidade de sítio. O que depende, dentre outros fatores, da possibilidade de correlacionar as unidades de solo com o crescimento das árvores, nem que para isso, sejam necessárias informações complementares, fáceis de serem obtidas no campo ou laboratório (GONÇALVES, 1988). Desta forma fica caracterizada a grande contribuição que os estudos de relações solo-sítio podem dar nas designações de unidades de solo mapeadas no levantamento pedológico, principalmente, através da identificação de características topográficas e de solo estreitamente relacionadas com a qualidade de sítio.

A título de exemplo, pode-se considerar os sítios D7 a D20, pertencentes a uma mesma área florestal (Tabela 1), todos eles classificados numa mesma unidade taxonômica, Areia Quartzosa (Tabela 6). Apesar de pertencerem a mesma unidade taxonômica, estes sítios mostraram uma grande variação de produção entre si (Tabelas 25 e 26), as quais podem ser explicadas pelas diferenças de características físicas e químicas dos solos, típicas de cada sítio, mas que não puderam ser distinguidas dentro do nível categórico do sistema de classificação taxonômica de solo utilizado.

Nestas circunstâncias, de posse do mapa de solos da área, ainda que sejam feitas subdivisões da classe de solo denominada Areia Quartzosa, em função de alguma característica avaliada, como por exemplo, a cor, a textura, a declividade, a profundidade e outras, provavelmente, estas subdivisões não serão suficientes para distinguir as diferenças existentes nesta unidade de solo, uma vez que ficou evidente (Tabela 25 e 26) a existência de vários sítios florestais na mesma.

Com intuito de permitir uma adequada interpretação das unidades de solo obtidas, propõe-se, nesta fase, utilizar as equações de regressão múltipla, que relacionam a qualidade de sítio com as características edáficas.

Ilustrativamente, consideremos a equação obtida para os sítios D7 a D20, que relaciona o índice de sítio com as características físicas e químicas de solo da profundidade de 20 - 30 cm (Tabela 33):

$$IS = 31,20 - 0,83 X_{23} + 0,84 X_2^2 - 8,12 1/X_{13} - 4,01 X_{14} + 4,37 X_{23} ,$$

$$R^2 = 0,84$$

onde,

IS = índice de sítio;

X_{23} = teor percentual de silte;

X_2 = teor percentual de matéria orgânica;

X_{13} = teor percentual de SiO_2 (ataque sulfúrico) e

X_{14} = teor percentual de Al_2O_3 (ataque sulfúrico).

A partir desta equação pode-se predizer o índice de sítio no interior das unidades de solo definidas, permitindo as suas subdivisões. Aplicando a equação nos sítios D7, D8, ... e D20 chega-se aos valores apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Índice de sítio predito (variável dependente) e variáveis independentes incluídas na equação de regressão múltipla ajustada para os sítios D7, D8, ... e D20, na profundidade de 20 - 30 cm (Tabela 33).

SÍTIO	ÍNDICE DE SÍTIO PREDITO (m)	VARIÁVEIS INDEPENDENTES			
		X_{23}	X_2	X_{13}	X_{14}
		----- % -----			
D7	30.7	5.8	1.9	4.3	3.3
D8	30.2	3.6	2.0	4.4	3.8 A
D9	29.4	1.8	1.9	3.5	2.9 E
D10	30.7	1.6	1.9	3.6	1.7 E
D11	28.0	1.2	1.5	3.4	2.6 A
D12	29.5	2.7	1.6	3.8	2.7 A
D13	25.3	0.0	1.9	2.9	2.4 A
D14	28.5	2.0	1.2	2.5	1.6 A
D15	28.9	9.0	2.0	6.3	6.2 A
D16	29.9	2.0	1.9	3.0	2.4 A
D17	27.0	1.0	1.8	1.9	2.3 A
D18	29.1	4.0	1.4	3.3	2.8 E
D19	28.7	7.0	1.1	3.6	3.0 A
D20	28.2	4.0	1.5	3.5	3.9 E

Sabendo-se que todos os sítios pertencem a uma mesma unidade de solo, pode-se distingui-los, agora, através das diferenças existentes entre eles nos valores de índice de sítio predito pela equação de regressão múltipla utilizada (Tabela 39).

Tabela 39 - Classificação hipotética de intervalos de variação do índice de sítio.

CLASSE	INTERVALO DE VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE SÍTIO (m)	ESCALA POTENCIAL DE RENDIMENTO
A	31.1 a 32.5	Muito Alta
B	29.6 a 31.0	Alta
C	28.1 a 29.5	Média
D	26.6 a 28.0	Baixa
E	25.0 a 26.5	Muito Baixa

5. CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos pode-se tirar as seguintes conclusões:

- A contribuição da variação ambiental e da variação devida a interação genótipo-ambiente frente a variação fenotípica total, entre os sítios de *E. grandis* e *E. saligna*, foram elevadas, quando estimadas pelas características área basal/ha e volume sólido de madeira com casca/ha. Em virtude destas variações, a adoção de métodos de melhoramento para o *E. grandis* e *E. saligna* poderá não redundar em ganhos de produtividade satisfatórios para os genótipos selecionados;
- Tendo por base a conclusão anterior, os esforços dos melhoristas serão mais efetivos se forem realizadas estratificações dos ambientes;
- A previsão da qualidade de sítio por intermédio de equações de regressão múltipla, avaliada pelo coeficiente de determinação e número de variáveis independentes presentes nas equações, revelou que o volume sólido

de madeira com casca relaciona-se melhor do que o índice de sítio com as características físicas e químicas dos solos;

- O erro de predição da qualidade de sítio, obtido por relações entre os valores preditos pelas equações ajustadas e os observados no campo, foi maior, quando utilizaram-se as equações, cuja variável dependente foi o volume sólido de madeira com casca, relativamente as equações que tiveram o índice de sítio como variável dependente;
- Grandes mudanças de precisão das equações de regressão podem ser obtidas através de transformação das variáveis independentes. Dentre as formas de apresentação das variáveis independentes, encontradas nas diversas equações de regressão múltipla ajustada, constatou-se que a forma logarítmica foi a mais freqüente, seguidas pelas formas inversa, quadrática, raiz quadrática e linear, em ordem decrescente de freqüência de ocorrência;
- As equações que relacionam o volume sólido de madeira com casca com as características dos solos são mais precisas quando consideram-se as camadas superficiais de solo, até 20 cm de profundidade. Essa conclusão é mais uma forte indicação de que as camadas superficiais do solo são as mais recomendadas para serem amostra-

- das, com a finalidade de se fazer avaliações da fertilidade de solo sob povoamentos de *E. grandis* e *E. saligna*;
- O grau de associação entre o índice de sítio e o volume sólido de madeira com casca com as características edáficas testadas, só não foi maior devido aos altos níveis de colinearidade entre as variáveis independentes. Melhores associações serão conseguidas, se se ampliar o rol de variáveis independentes não correlacionadas entre si;
 - As espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram, nos sítios em estudo, relações semelhantes entre as variáveis dependentes com as variáveis independentes;
 - As características pH em CaCl_2 , teor de silte, teor de fósforo em resina, teor de SiO_2 e teor de matéria orgânica foram as que apresentaram melhores relações com a qualidade de sítio;
 - A estratificação de ambientes permite a obtenção de melhores relações entre a qualidade de sítio e as características dos solos, detectadas através do ajuste de equações de regressão múltipla;

- Através das equações de regressão múltipla ajustadas, que relacionam a qualidade de sítio com as características físicas e químicas de solo, é possível subdividir em classes de produtividade sítios florestais pertencentes a uma mesma unidade taxonômica e de mapeamento de solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTEN, J.T. Prediction of site index for yellow poplar from soil and topography. *Journal Forestry*, Washington, **43**: 662-668, 1945.
- BARNES, R.D. Population improvement through selection and hybridization in *Pinus patula*, *P. elliotti* and *P. taeda* in Southern Africa. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 3, CSIRO, Canberra, 1977. *Proceedings*, Canberra, 1977. p.489-505.
- BARNES, R.D. Genotype - environment interaction in the genetic improvement of fast-growing plantation trees. In: SYMPOSIUM ON SITE PRODUCTIVITY OF GROWING PLANTATIONS, Pretoria, 1984. *Proceedings*, Pretoria, South African Forest Research Institute, 1984. v.1, p.197-213.
- BARNES, R.D.; BURLEY, J.; GIBSON, G.L.; GARCIA DE LEON, J.P. Genotype-environment interaction in tropical pines and their effects on the structure of breeding populations. *Silvae Genetica*, Frankfurt, **33(6)**: 186-98, 1984.
- BARNES, R.D. & MULLIN, L.J. Selection of forest tree species in Rhodesia. *South African Floresty Journal*, Pretoria, **98**: 16-20, 1976.
- BARNES, R.L. & RALSTON, C.W. Soil factors related to growth and yield of slash pine plantations. *Fla. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 1955. 23p. (No. 559).

- BARROS, N.F. Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com altura de *Eucalyptus alba* na região de Santa Bárbara, MG. Viçosa, 1974. 88p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- BARROS, N.F. Growth and foliar nutrient concentrations of *Eucalyptus grandis* in relation to spodosol properties in South Florida. Florida, 1979. 174p. (Doutorado - University of Florida).
- BARROS, N.F.; REZENDE, G.C.; SUITER FILHO, W.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Efeito de doses e modo de aplicação de calcário a plantios de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Belém, 1985a. Programa e Resumos, Belém, SBCS, 1985a. p.110.
- BARROS, N.F.; SUITER FILHO, W.; REZENDE, G.C.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Fertilização mineral de plantios de eucaliptos estabelecidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Belém, 1985b. Programa e Resumos, Belém, SBCS, 1985b. p.110.
- BOWERSOX, T.W. & WARD, W.W. Prediction of oak site index in the ridge and valley region of Pennsylvania. *Forest Science*, Washington, 18(3): 192-5, 1972.
- BROADFOOT, W.M. Problems in relating soil to site index for southern hardwoods. *Forest Science*, Washington, 15(4): 354-64, 1969.
- BROADFOOT, W.M. Guide for evaluating water oak sites. USDA Forest Service Forest Exp. Sta. Res. Paper, Washington, SO - 1. 1983. 8p.
- BROWN, J.H. Seedling growth of three Scotch Pine provenances with varying moisture and fertility treatments.

Forest Science, Washington, 16(1): 43-5, 1970.

BROWN, H.G. & LOEWENSTEIN, H. Predicting site productivity of mixed conifer stands in Northern Idaho from soil and topographic variables. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 42: 967-971, 1978.

CANNELL, M.G.R.; BRIDGEWATER, F.E. & GREENWOOD, M.S. Seedling growth rates, water stress responses and root-shoot relationships related to eight-year volumes among families of *Pinus taeda* L.. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 27: 237-48, 1978.

CÁRDENAS, A.C. Exportação de nutrientes e produtividade de povoamentos de eucalipto no litoral norte do Espírito Santo. Viçosa, 1987. 98p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

CARMEAN, W.H. Soil survey refinements needed for accurate classification of black oak site quality in southeastern Ohio. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 25: 394-397. 1961.

CARMEAN, W.H. Site quality for eastern hardwoods. In: USDA FOREST SERVICE. The silviculture of oaks and associated species. Northeastern Forest Service Exp. Sta. Res. Paper, 1970. p. 36-56 (No. 144).

CARMEAN, W.H. Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy*, New York, 27: 209-269. 1975.

CHANDLER, R.F. JR.; SCHOEN, P.W. & ANDERSON, D.A. Relation between soil types and the growth of loblolly pine and shortleaf pine in east Texas. *Journal Forestry*, Washington, 41: 505-6. 1943.

- COILE, T.S. Soil and the growth of forests. *Advances in Agronomy*, New York, 4: 329-398, 1952.
- COPELAND, O.L. JR. Soil-Site index studies of western white Pine in the Northern Rocky Mountain Region. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 22(3): 268-269, 1958.
- COTTERIL, P.P. Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simples low cost options. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 35: 212-23, 1986.
- COTTERILL, P.P. & NAMBIAR, E.K.S. Seedling physiology of three radiata pine families with contrasting growth. *Australian Forest Research*, Melbourne, 11: 13-22, 1981.
- COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. & LACERDA, J.S. Comparasion of two growth models for first and second rotation Eucalyptus plantations. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., Montreal, 1990. *Proceedings*. Montreal, IUFRO, 1990. p. 257-67.
- CREMER, K.W.; CROMER, R.N. & FLORENCE, R.G. Stand establishment. In: EUCALYPTUS FOR WOOD PRODUCTION, Adelaide, 1978. *Anais*. Adelaide, CSIRO, 1978. p.81-135.
- CURLIN, J.W. Clonal differences in yield response of *Populus deltoide* to nitrogen fertilization. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, 31(2): 276-80, 1967.
- DAHMS, W.G. Relationship of Lodgepole Pine volume increment to crown competition factor, basal area, and site index. *Forest Science*, Washington, 12(1): 74-82, 1966.
- DELLA - BIANCA, L. & OLSON JR., D.F. Soil - site studies in Piedmont hardwood and pine - hardwood upland forest. *Forest Science*, Washington, 7(4): 320-9, 1961.

- EISEMANN, R.L. & NIKLES, D.G. The influence of provenance-environment and family-environment interaction in breeding *P. caribaea* var *hondurensis* in Queensland. In: JOINT MEETING OF RWGs 1 & 3, Victoria, 1981. Proceedings, Victoria, 1981. p.67-84.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. n.p.
- FARNSWORTH, C.E. & LEAF, A.L. An approach to soil - site problems: Sugar maple - Soil relations in New York. In: NORTH AMERICAN FOREST SOILS CONF. OREGON STATE UNIV. PRESS, 2. Corvallis, 1965. Forest Soil Relationships in North America, Corvallis, 1965. p.279-298.
- FARRINGTON, R.A. & HOWARD JR., M. Soil productivity for hardwood forests of Vermont. In: NORTH AM. FOREST SOILS CONF., Michigan, 1959. Proceedings, Michigan, 1959. p.102-109.
- FRAYER, W.E.; WILSON, R.W. & FURNIVAL, G.M. FSCREEN (FastSCREEN). A computer program for screening all combinations of independent variables in univariate multiple linear regressions. Colorado State Univ. Coll. For. Nat. Res. 1971. 23p.
- FURNIVAL, G.M. More on the elusive formula of best fit. Soc. Am. For. Anna. Meet. Proc., 1964. p.201-207.
- GARCIA, C.H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Circular técnica, IPEF, Piracicaba, 171: 1-11, 1989.
- GODDARD, R.E. Genotype by environment interaction in slash pine. In: WORD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 3,

- CSIRO, Canberra, 1977. Proceedings, Canberra, 1977. p.762-772.
- GODDARD, R.E. & HOLLIS, C.A. The genetic basis of forest tree nutrition. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S., ed. Nutrition of plantation forest, London, Academic Press Inc., 1984.
- GONÇALVES, J.L.M. Interpretação de levantamento de solo para fins silviculturais. IPEF, Piracicaba, 39: 65-72. 1988.
- GRANEY, D.L. & FERGUSON, E.R. Site-quality relationships for shortleaf pine in the Boston Mountains of Arkansas. Forest Science, Washington, 17(1): 16-22, 1971.
- GRANEY, D.L. & FERGUSON, E.R. Shortleaf pine site - index relationships in the Ozark Highlands. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 36(1): 495-500, 1972.
- GYSEL, L.W. & AREND, J.L. Oak sites southern Michigan: their classification and evaluation. Mich. State College Afr. Exp. Sta. and Lak States Forest Exp. Sta., Forest Ser., USDA, 1953, (Nº 236).
- HÄGGLUND, B. Evaluation of forest pine productivity. Forestry Abstracts, 42(11): 515-527, 1981.
- HAIG, I.T. Colloidal content and related soil factors as indicators of site quality. Yale Univ. School of For., 1929. 33p. (Nº 24).
- HANNAN, P.R. Topography & soil relations for white and black oak in Southern Indiana. Washington, Forest Service,

1968. 7p. (Research Paper, NC - 25).

HEIBERG, S.O. & WHITE, D.P. Potassium deficiency of reforested pine and spruce stands in Northern New York. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 15: 369-76, 1951.

HICOCK, H.W.; MORGAN, M.F.; LUTZ, H.J.; BULL, H. & LUNT, H.A. The relation of forest composition and rate of growth to certain soil characteres. *Connecticut Agr. Exp. Sta. Bull.* 1931. p.673-750 (Nº 330).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPTD). *Mapa geológico do estado de São Paulo*. São Paulo, Hamburg, 1981a. 126p. (Monografia IPT, 1184).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPTD). *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*. São Paulo, Hamburg, 1981b. 94p. (Monografia IPT, 1183).

JACKSON, D.S. Parameters of site for certain growth components of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.). Durham, Duke University School of Forest, 1962. 118p. (Bulletin, 16).

KAGEYAMA, P.Y. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill. Piracicaba, 1980. 125p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

KARSCHON, R. & PRAAG, J. Growth of red gum (*Eucalyptus rostrata*) as influenced by depth of hardpan. *La Yaaran*, 4: 14-17, 1954.

KER, J.W. An evaluation of several methods of estimating site index of immature stands. *Forestry Chronicle*,

Quebec, 28(3): 63-74, 1952.

LEAF, A.L. Growth of forest plantations of different soils of Finland. *Forest Science*, Washington, 2: 121-6, 1956.

LEAR, D. van & HOSNER, P.F. Correlation of site index and soil mapping units - poor for yellow poplar in southwest Virginia. *Journal Forestry*, Washington, 66: 22-24, 1967.

LEDIG, F.T. & PERRY, T.O. Variation in photosynthesis and respiration among loblolly pine progenies. In: SOUTHERN CONF. FOREST TREE IMPROVEMENT, 9, Knoxville, 1967. *Proceedings*, Knoxville, 1967. p.120-128.

LEMONS, R.C. & SANTOS, D.S. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2a. ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1984. 46p.

LIN, C.; IHNEN, L.A.; SALL, J.P. The reg procedure. In: DELONG, D.M.; (ed.). *SAS/STAT Guide for personal computers*. 6a. ed. Cary. SAS Institute. 1985, Cap. 28, p.773-875.

LOFTIN, L.L.; CLARK, W.M.; HOLCOMBE, E.D.; CHAFFIN, B.F. & FALLIN, H.F. *Soil survey interpretations for woodland conservation - forested coastal plain, Western Louisiana - a progress report*. USDA, Soil Conserv. Serv., Alexandria, 1959. p.1-67.

MADER, D.L. Soil-site productivity for natural stands of white pine in Massachusetts. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, 40: 112-115, 1976.

MADER, D.L. & OWEN, D.F. Relationships between soil properties and red pine growth in Massachusetts. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 25: 62-65, 1961.

- McQUILKIN, R.A. The necessity of independent testing of soil site equations. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **40**: 783-785. 1976.
- MÖLLER, G. Practical and economical aspects of forest fertilization. *Phosphorus Agr.*, **62**: 33-48, 1974.
- MORA, A.L. Interação com espaçamentos e locais em clones de *Eucalyptus* spp no norte do Estado da Bahia. Piracicaba, 1986. 101p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MORAES, M.L.T. Variação genética da densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento. Piracicaba, 1987. 115p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MORI, E.S.; KAGEYAMA, P.Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interações progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. IPEF, Piracicaba, **39**: 53-63. 1988.
- MORI, E.S.; LELLO, L.R.D.; KAGEYAMA, P.Y. Efeitos da interação genótipo x ambiente em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. IPEF, Piracicaba, **33**: 19-25. 1986.
- NAMBIAR, E.K.S. Increasing forest productivity through genetic improvement of nutritional characteristics. In: WEYERHAEUSER SCIENCE SYMPOSIUM FOREST POTENTIALS: PRODUCTIVITY AND VALUE, Tacoma, 1984. *Proceedings*, Tacoma, 1984. p.191-215.
- NASCIMENTO, C.M. & PEREIRA, M.A.M.G. *Atlas Climatológico do Estado de São Paulo (1977-1988)*, Campinas, Fundação Cargill, 1988. 93p.

- OWINO, F. Genotype x environment interaction and genotypic stability in loblolly pine. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 26: 176-179, 1977.
- PHILLIPS, J.J. & MARKLEY, M.L. Site index of New Jersey sweetgum stands related to soil and water - table characteristics. USDA Forest Service Forest Exp. Sta. Res. Paper, Washington, NE - 6. 1963. 25p.
- PRITCHETT, W.L. & GOODING, J.W. Fertilizier recommendations for pines in the U.S. Southeastern coastal plain. Fla. Exp. Sta. Bull., 1975. 21p. (Nº 774).
- PRITCHETT, W.L. Suelos Forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. México. Limusa. 1986. 634p.
- QUIJADA, R.M. Interaccion genotipo-ambiente. In: FAO/DANIDA. Mejora genetica de arboles forestales. Roma, 1980. p.231-5.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RALSTON, C.W. Evaluation of forest site productivity. In: INTERNATIONAL REVIEW OF FOREST RESEARCH, New York, 1964. Anais. New York, Academic, 1964. v.1, p.171-201.
- RALSTON, C.W. Recognition and mapping of site types for afforestation. In: FAO WORLD SYMPOSIUM, ON MAN-MADE FORESTS AND THEIR INDUSTRIAL IMPORTANCE, Canberra, 1967. Proceedings, Canberra, 1967. v.1, p.172-187.
- REZENDE, G.C.; BARROS, N.F.; MORAES, T.S.A.; MENDES, C.J. & SUIITER FILHO, W. Aplicação de fosfatos naturais em plan-

tios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Revista Árvores*, Viçosa, 6: 74-83, 1982.

SANDS, R.; KRIEDEMANN, P.E.; COTTERILL, P.P. Water relations and photosynthesis in three families of radiata pine seedlings know to differ in their response to weed controls. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 9: 173-84, 1984.

SCHUTZ, C. J. A review of fertilizer research on some of the more important conifers and eucalyptus planted in subtropical and tropical countries, with special reference to South Africa. Dept. of Forestry, South Africa, 1976. 89p. (Nº 53).

SHELBOURNE, C. J. A. & CAMPBELL, R. K. The impact of genotype-environment interactions on tree improvement strategy. In: IUFRO JOINT MEETING OF GENETIC WORKING PARTIES ON ADVANCED GENERATION BREEDING, Bordeaux, 1976. *Proceedings*, Bordeaux, 1976. p. 73-93.

SHESTRON, S. G. Forest site productivity among soil taxonomic units in northern lower Michigan. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 36: 358-363, 1972.

STONE, E. L. Magnesium deficiency of some northeastern pines. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 17: 297-300, 1953.

STROTHMANN, R. O. Evaluating the growth potential of aspenlands in North Minnesota. Saint Paul, Lake States Forest Experiment Station, 1960. 20p. (Station Paper, 86).

SWITZER, G. L. Determinants of forest stand productivity. In: A SYMPOSIUM ON PRINCIPLES OF MAINTAINING PRODUCTIVITY ON PREPARED SITES, 1978. *Proceedings*, Edited by Tom Tippin,

1978. p.14-27.

TARRANT, R.F. Douglas-fir site quality and soil fertility. *Journal Forestry*, Washington, 47: 716-20, 1949.

THONSON, G.W. & McCOMB, A.L. Growth of Plantation black walnut in the relation to pH and certain chemical factors of the soil. *Forest Science*, Washington, 8(4): 322-33, 1962.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*, Centerton, 8(1): 1-86, 1985.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. Coord. *Melhoramento de Milho no Brasil*. Piracicaba, Fundação Cargill, 1978. p.122-201.

VETTORI, L. *Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, Equipe de Pedagogia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim técnico 7).

VETTORI, L. & PIERANTONY, H. *Análise Granulométrica: método para determinar a fração da argila*. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1968. 8p. (Boletim técnico 3).

VOIGT, G.K.; HEILSELMAN, M.L. & ZASADA, Z.A. The effect of soil characteristics on the growth of quaking aspen in Northern Minnesota. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 21: 649-52, 1957.

WILDE, S.A.; IYER, J.G.; TANZER, C.H.; TRAUTMANN, W.L. & WATERSON, K.G. Growth of jack pine (*Pinus banksiana*, Lamb.) plantations in relations to fertility of non-phreatic sandy soils. *Soil Science*, Baltimore, 98: 162-69, 1964a.

- WILDE, S.A.; IYER, J.G. TANZER, W.L.; TRAUTMANN, L.W & WATTEARSON, K.G. Growth of red pine plantations in relation to fertility of non - phreatic sandy soils. *Forest Science*, Washington, **10**: 463-70,1964b.
- WRIGHT, R.G. & DYNE, G.M. Comparative analytical studies of site factor equations. In: PATIL, G.P.; PILEOU, E.C.; WATERS, W.E. (ed.). *Proc. Int. Symp. Statist. Ecol.* Penn. State Univ. Press, College Park, Penn. 1971. p. 59-101.
- YADAV, J.S.P. & PRADASH, J. Soil suitability for *Eucalyptus hibrid* (Sym. *E. tereticornis* or *mysore gum*) plantations in Tarai and Bhabar region of Uttar Pradesh. *Indian Forest*, **95**: 834-40, 1969.
- ZAHNER, R. Site - quality relationships of pine forest in Southern Arkansas and Northern Louisiana. *Forest Science*, Washington, **4**(2): 163-76, 1958.
- ZOBEL, B.J. & TAUBERT, J. *Applied forest tree improvement*. New York, John Wiley, 1984. 505p.