**EFEITOS DO CLIMA E DO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO
DE CLONES DE *Eucalyptus* sp NO SUL DA BAHIA
E SOBRE INTERAÇÕES GENÓTIPO-AMBIENTE.**

TRISTRAM DOMINIC SHORTER
Engenheiro agrônomo

Orientador: Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre 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
Maio - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USF

Shorter, Tristram Dominic

- 59e Efeitos do clima e do solo sobre o desenvolvimento
de clones de *Eucalyptus* sp no sul da Bahia e sobre i
terações genótipo-ambiente. Piracicaba, 1993.
220p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Clone de eucalipto - Desenvolvimento 2. Eucali
to - Interação genótipo-ambiente 3. Relação solo-pla
ta-atmosfera I. Escola Superior de Agricultura Luiz
de Queiroz, Piracicaba

CDD 634.9734

**EFEITOS DO CLIMA E DO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO
DE CLONES DE *Eucalyptus* sp NO SUL DA BAHIA
E SOBRE INTERAÇÕES GENÓTIPO-AMBIENTE.**

TRISTRAM DOMINIC SHORTER

Aprovado em: 31/06/1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto,

ESALQ/USP

Prof. Dr. Roland Vencovsky,

ESALQ/USP

Dr. Igo Fernando Lepsch.

IAC

Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

Orientador

Aos meus pais Charmian e Gervase dedico,

A minha esposa Orska ofereço

AGRADECIMENTOS

Este trabalho somente pôde ser realizado com a ajuda de muitas pessoas e algumas instituições.

Em primeiro lugar, devo manifestar a minha gratidão para com o povo brasileiro, ao qual devo não somente a minha bolsa de mestrado, mas o custeio do meu curso de graduação.

As companhias Suzano Papel & Celulose S/A e Bahia Sul Celulose S/A contribuíram de maneira fundamental, fornecendo os dados dendrométricos dos locais experimentais, auxiliando na coleta das amostras, financiando a análise das mesmas, e de modo geral dando todo o apoio logístico e humano possível. Em particular gostaria de agradecer aos engenheiros Silas Zen, da Suzano, e Agnaldo José de Souza e Pedro Luis P. T. de Carvalho, da Bahia Sul, além do técnico agrícola Admildo Monteiro do Amaral, pela sua ajuda generosa e amizade.

Aos participantes convidados da banca, Dr. Roland Vencovsky e Dr. Igo Fernando Lepsch, minha gratidão pelos seus valiosos comentários e sugestões, os quais permitiram melhorar significativamente a qualidade deste trabalho.

Ao professor Dr. Hilton Thadeu Zarate do

Couto, meu orientador, devo reconhecer-me grandemente endividado, não apenas pela sua sugestão do assunto deste trabalho, o qual foi para mim uma experiência valiosíssima, mas pela paciência, compreensão e amizade que manifestou durante o longo período de incubação.

À Sra Gertrudis e seu esposo Sr João Rodrigues, funcionário da ESALQ, e aos seus três filhos, manifesto minha profunda gratidão, pois foram, durante estes anos, como uma segunda família para minha esposa e eu.

Meus pais, Charmian e Gervase, pelo seu carinho e apoio a todos os momentos, foram, como sempre têm sido, uma constante fonte de bom ânimo.

Finalmente, à minha querida esposa Orska, devo um grandíssimo "obrigado", pois, ao longo destes anos repletos de problemas e dúvidas, nunca deixou de me encorajar e animar.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	.xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xx
RESUMO.	xxiii
SUMMARY	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Importância dos eucaliptos no mundo e no Brasil	1
1.2 Características distintivas dos eucaliptos	5
1.3. Importância de pesquisas anteriores ao plantio comercial	7
1.4. Esquema da pesquisa a ser realizada antes de um plantio comercial	8
1.5. Natureza e objetivos deste estudo	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Fatores da produtividade	13
2.2. O melhoramento genético	13
2.2.1. A interação genótipo-ambiente	14
2.2.2. Importância de interações genótipo- ambiente	16
2.2.3. O uso de clones	24
2.3. O ambiente	25
2.3.1. O clima	25
2.3.1.1. Energia solar incidente	25

2.3.1.2. Precipitação	26
2.3.1.3. Temperatura	28
2.3.1.4. Importância do clima em estudos solo-sítio	32
2.3.1.5. Correlações entre o clima e parâmetros geográficos	36
2.3.1.6 Interações entre o solo e o clima	37
2.3.1.7. Condições meteorológicas adequadas para <i>E. grandis</i>	40
2.3.2. O Solo	41
2.3.2.1. Variáveis facilmente observáveis no campo	43
2.3.2.2. Profundidade do horizonte superficial	47
2.3.2.3. Matéria orgânica	50
2.3.2.3.1. "Teor de nitrogênio no solo" e matéria orgânica	51
2.3.2.3.2. Matéria orgânica e água disponível às plantas	53
2.3.2.3.3. Matéria orgânica e drenagem do solo	55
2.3.2.4. Frações granulométricas	59
2.3.2.4.1. Funções das frações granulométricas	59
2.3.2.4.2. Interações	63

2.3.2.4.3. Estratificação com base em textura	64
2.3.2.4.4. A textura na classificação e no mapeamento de solos	65
2.3.2.4.5. Alguns resultados . .	67
2.3.2.5. Ph, cálcio, alumínio, acidez potencial, saturação por bases e CTC	71
2.3.2.6. Potássio	77
2.3.2.7. Fósforo	81
3. MATERIAIS E MÉTODOS	85
3.1. A área do ensaio	85
3.1.1. Localização	85
3.1.2. Clima	85
3.1.3. Geologia	88
3.1.4. Relevo	90
3.1.5. Vegetação original	92
3.1.6. Solos	92
3.2. O ensaio clonal	94
3.2.1. Material genético testado	94
3.2.1. O delineamento experimental	94
3.2.3. Instalação do ensaio	95
3.2.4. Medições	96
3.3. Procedimentos do estudo solo-sítio	97
3.3.1. Os clones usados	97

3.3.2. Descrição dos solos	98
3.3.3. Coleta das amostras de solo	99
3.3.4. Coleta dos dados climáticos	102
3.3.5. Processamento dos dados climáticos . .	103
3.3.6. Análises físicas	106
3.3.7. Análises químicas	106
3.3.8. Análises estatísticas	107
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
4.1. Significado e valor relativo das variáveis relacionadas com as árvores	115
4.2. O esquema de amostragem	119
4.3. Efeitos do solo sobre o desenvolvimento dos clones	122
4.3.1. Importância das diferentes camadas de solo; diferenças observadas entre 1,5 e 2,7 anos	122
4.3.2. Profundidade do horizonte A	135
4.3.3. Matéria orgânica	139
4.3.4. Enxofre	146
4.3.5. Ph, cálcio, acidez potencial, saturação por bases, soma de bases, e CTC . . .	150
4.3.6. Potássio	157
4.3.7. Magnésio	160
4.3.8. Fósforo	167
4.3.9. Frações granulométricas	170
4.4. O clima	178

4.4.1. O clima na região de estudo, no período 1989 - 1992, em relação a <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i>	178
4.4.2. Padrões geográficos observados nos dados climáticos	181
4.5. Comparação entre os três locais	184
4.6. Comparação entre clones	188
4.7. Interações genótipo-ambiente	190
5. CONCLUSÕES	192
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	196
APÊNDICE.	215

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Diferentes possibilidades para a interação genótipo-ambiente: a) IGA qualitativa; b) IGA quantitativa; c) IGA ausente. 14
- Figura 2 - Interações genótipo-ambiente, levando em conta efeitos em "U" invertido. a) IGA qualitativa; b) IGA quantitativa; c) IGA ausente. 16
- Figura 3 - Incremento em volume aos 7 anos de idade em relação à precipitação média anual e variáveis selecionadas de profundidade efetiva do solo (JACKSON, 1972). 38
- Figura 4 - Efeito da precipitação e da profundidade do solo sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* (baseado em dados de HERBERT, 1990). 39
- Figura 5 - O clima na região de estudo, de acordo com a classificação de KOPPEN (Fonte: EMBRAPA, 1977) . . . 86
- Figura 6 - Temperaturas médias anuais (°C), precipitação média anual (mm), e índice de umidade na região extremo-Sul da Bahia (Fonte: EMBRAPA, 1977). . . . 87
- Figura 7 - Esboço geológico da região de estudo (Fonte: EMBRAPA, 1977). 89
- Figura 8 - Esboço de relevo da região de estudo. (Fonte: EMBRAPA, 1977). 90

Figura 9 - Mapa de solos do SNLCS (EMBRAPA,1977), mostrando os locais experimentais deste estudo (+). (Fonte: EMBRAPA, 1977).	93
Figura 10 - Esquema do ensaio.	95
Figura 11 - Esquema de uma parcela experimental, mostrando as posições das árvores e dos pontos amostrados.	100
Figura 12 - Localização dos postos meteorológicos na área experimental.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de celulose no mundo (1000 t/ano), extraído de FAO (1991).	1
Tabela 2 - Condições meteorológicas adequadas para <i>E.</i> <i>grandis</i>	41
Tabela 3: Relação entre a drenagem do perfil e as correlações entre matéria orgânica do solo e qualidade de sítio: número de casos encontrados na literatura.	57
Tabela 4: Resultados da regressão múltipla "passo-a- passo, para a frente", realizada com dados publicados por BARROS (1974), usando como variável dependente "água disponível".	61
Tabela 5 - Efeitos de componentes texturais dos horizontes superficiais sobre o I.S..	69
Tabela 6 - Efeitos de componentes texturais dos horizontes subsuperficiais sobre o I.S..	70
Tabela 7 - Experimentos envolvendo calagem; alguns resultados. Efeitos de componentes texturais dos horizontes subsuperficiais sobre o I.S..	76
Tabela 8 - Potássio trocável no solo versus resposta à adubação com potássio em alguns ensaios na África do Sul	81

Tabela 9 - Limites de classes de teores de fósforo no solo no estado de São Paulo.	82
Tabela 10 - Modelo para a análise da variância das variáveis dendrométricas.	108
Tabela 11 - Modelo para a análise da variância das variáveis dendrométricas, levando em conta a divisão dos clones em procedências.	109
Tabela 12 - Anovas: efeitos dos locais, das repetições dentro de cada local, dos clones, e da interação local-clone sobre algumas variáveis dendrométricas. Dados de probabilidade de erro na rejeição da hipótese nula e Cvs.	116
Tabela 13 - Anovas: efeitos dos locais, das repetições dentro dos locais, das procedências, dos clones dentro de cada procedência, e das interações local*procedência e local*clone dentro das procedências sobre diversas variáveis dendrométricas. Dados de probabilidade de erro na rejeição da hipótese nula e CVs.	117
Tabela 14 - Coeficientes de correlação entre variáveis dendrométricas; probabilidade $> R$ para $H_0: R_{\rho} = 0$	118
Tabela 15 - Médias das variáveis de solo para os três locais, significância do efeito dos locais: casos onde o efeito de "local" foi significativo a 5%.	121
Tabela 16 - Variáveis de solo no local "004/88".	124

Tabela 17 - Variáveis de solo no local "004/88"	
(continuação).	125
Tabela 18 - Variáveis de solo no local "006/88". . .	126
Tabela 19 - Variáveis de solo no local "006/88"	
(continuação).	127
Tabela 20 - Variáveis de solo no local "3034". . .	128
Tabela 21 - Variáveis de solo no local "3034"	
(continuação).	129
Tabela 22 - Coeficientes de correlação de Pearson e significâncias entre variáveis do solo e algumas variáveis dendrométricas.	131
Tabela 23 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 1,5 anos", a partir de todas as variáveis medidas; regressão pelo método "passo-a-passo". .	132
Tabela 24 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos", a partir de todas as variáveis medidas; regressão pelo método "passo-a-passo". .	133
Tabela 25 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando todas as variáveis.	134
Tabela 26 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis correspondentes à camada de 0 a 20 cm de profundidade.	134

Tabela 27 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis correspondentes à camada de 40 a 60 cm de profundidade.	135
Tabela 28 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis correspondentes à camada de 80 a 100 cm de profundidade.	136
Tabela 29 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis da camada 0 a 20 cm .	136
Tabela 30 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis da camada 40 a 60 cm.	137
Tabela 31 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis da camada 80 a 100 cm.	137
Tabela 32 - Coeficientes de correlação com a altura máxima aos 2,7 anos, por local, e significâncias, para variáveis selecionadas.	141
Tabela 33 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" no local 004/88 a partir de todas as variáveis.	142
Tabela 34 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" no local 006/88 a partir de todas as variáveis.	142

Tabela 35 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" no local 3034 a partir de todas as variáveis.	143
Tabela 36 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis resultantes da análise granulométrica do solo. . .	148
Tabela 37 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis oriundas da análise química do solo.	148
Tabela 39 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para algumas razões entre nutrientes no local "004/88".	163
Tabela 40 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para algumas razões entre nutrientes no local "006/88".	163
Tabela 41 - Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação para algumas razões entre nutrientes no local "3034".	164
Tabela 42 - Avaliação dos níveis de magnésio encontrados em três camadas dos três locais estudados, de acordo com diferentes critérios.	164
Tabela 43 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis "granulométricas". .	173

Tabela 44 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para variáveis dendrométricas no local "004/88".	176
Tabela 45 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para variáveis dendrométricas no local "006/88".	177
Tabela 46 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para variáveis dendrométricas no local "3034".	177
Tabela 47 - Algumas características termométricas do clima na região estudada no período 1989 - 1991. .	179
Tabela 48 - Temperaturas médias anuais ($^{\circ}\text{C}$), médias por local e por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).	180
Tabela 49 - Precipitações totais anuais (mm), totais por local e médias por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).	180
Tabela 50 - Déficit total anual (mm), totais por local, médias por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).	182

Tabela 51 - Excedentes totais anuais (mm), totais por local, médias por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).	182
Tabela 52 - Valores médios de diversas variáveis silviculturais para os 10 clones empregados no estudo.	189

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- Num_arv, Num_arv2: o número de árvores em cada parcela (ou estande), nas idades 1 ano e 6 meses, e 2 anos e 9 meses.
- Alttot, e Alttot2: a soma das alturas das árvores presentes em cada parcela, nas duas idades referidas.
- Altmax e Altmax2: a altura da árvore mais alta na parcela, nas duas idades referidas.
- Altura máxima corrigida aos 2,7 anos: corresponde à variável "altura máxima aos 2,7 anos", mas sem o efeito de cada clone. Esta variável permite esclarecer o efeito do solo sobre todos os genótipos em conjunto.
- Arbas: a área basal total das árvores na parcela, na idade de 2 anos e 8 a 9 meses.
- Volume: o volume total das árvores na parcela, na idade de 2 anos e 9 meses.
- Prof_A: a profundidade do horizonte A, obtida pelo exame do resultado das tradagens.
- pH1, pH2, e pH3: o pH em CaCl_2 , de amostras obtidas das profundidades 0 a 20 cm, 40 a 60 cm, e 80 a 100 cm.
- MO1, MO2, e MO3: o teor de matéria orgânica, em %, das três profundidades acima referidas.
- S041, S042, e S043: os teores de enxofre, em mg/cm^2 , nas três profundidades.

- P1, P2, e P3: os teores de fósforo, em mg/dm^3 , nas três profundidades mencionadas.
- K1, K2, e K3: os teores de potássio, em meq/100 cm^3 .
- Ca1, Ca2, e Ca3: os teores de cálcio, em meq/100 cm^3 .
- Mg1, Mg2, e Mg3: os teores de magnésio, em meq/100 cm^3 .
- Acpot1, Acpot2, e Acpot3: a acidez potencial (ou $\text{H} + \text{Al}$), em meq/100 cm^3 .
- S1, S2, e S3: a soma de bases ($= \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$), em meq/100 cm^3 .
- T1, T2, e T3: a capacidade de troca de cátions, em meq/100 cm^3 .
- V1, V2, e V3: a porcentagem de saturação por bases ($= 100\text{S/t}$).
- K%1, K%2, e K%3: a porcentagem de saturação por potássio.
- Mg%1, Mg%2, e Mg%3: a porcentagem de saturação por magnésio.
- Ca%1, Ca%2, e Ca%3: a porcentagem de saturação por cálcio.
- Argr: a porcentagem de areia grossa (diâmetros entre 2,0 e 0,25 mm) na camada de 0 a 20 cm de profundidade.
- Arfi: a porcentagem de areia fina (diâmetros entre 0,25 e 0,05 mm) na camada de 0 a 20 cm de profundidade.
- Artot: a porcentagem de areia total ($= \text{Argr} + \text{Arfi}$) na camada superficial (0 a 20 cm de profundidade).
- Silte: a porcentagem de silte (diâmetros entre 0,05 e 0,002 mm) na camada superficial.

- Argila: a porcentagem de argila (diâmetros inferiores a 0,002 mm) na camada superficial.
- Mosq: a profundidade até mosqueamentos, observados nos resultados das tradagens. Esta variável somente existe para o local "3034", pois nos outros dois locais não foram observados mosqueamentos, de modo geral.
- Aden: a profundidade até um "adensamento", ou um aumento no esforço da tradagem. Esta variável foi substituída no local "3034" por "mosq", já que neste local o esforço de se tradar era quase sempre grande em todo o perfil.

EFEITOS DO CLIMA E DO SOLO SOBRE O DESENVOLVIMENTO
DE CLONES DE *Eucalyptus* sp NO SUL DA BAHIA
E SOBRE INTERAÇÕES GENÓTIPO-AMBIENTE.

Autor: TRISTRAM DOMINIC SHORTER

Orientador: PROF. DR. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

RESUMO

Avaliou-se o efeito de diferentes variáveis do solo e do clima sobre o desenvolvimento de 10 clones de *Eucalyptus* sp, aos dois anos e oito meses de idade, plantados em três locais no sul da Bahia. Outro objetivo foi identificar a causa de interações genótipo-ambiente, se fossem significativas. Caso não o fossem, propôs-se explicar esta não significância.

Após o exame de modelos obtidos por análises de regressão realizados pelo método "passo-a-passo, para a frente", e de coeficientes de correlação de Pearson, concluiu-se que, nas circunstâncias do estudo, a matéria orgânica da camada de 40 a 60 cm de profundidade, com média por volta de 1,20 g/cm³, estava abaixo do ideal para *E. grandis*, a espécie predominante nos clones. Igualmente baixos estavam o pH, a saturação por bases, e a saturação por cálcio, na camada superficial, quando estes tiveram

médias de 4,45, 31 %, e 38 %, respectivamente. O teor de silte, com médias entre 3 e 5 %, aparentou ter uma relação negativa com o crescimento de *E. grandis*. O coeficiente de determinação do modelo envolvendo todos os dados foi baixo: 0,3984.

A principal causa da diferença de produtividade observada entre os locais foi provavelmente a deficiência hídrica, aliada ou não com a dificuldade de penetração do solo pelas raízes.

As interações genótipo-ambiente não foram significativas. Isto foi atribuído aos clones estudados constituírem um espectro muito estreito, em termos de genótipos, aliado à provável natureza da principal restrição ao crescimento, exigindo, para uma adaptação a ela, amplas diferenças genéticas.

EFFECTS OF CLIMATE AND SOIL ON THE DEVELOPMENT OF
Eucalyptus sp CLONES IN THE SOUTH OF BAHIA AND ON
GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTIONS.

Author: TRISTRAM DOMINIC SHORTER

Adviser: PROF. DR. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

SUMMARY

The present study aimed at evaluating the effects of different soil and climate variables on the development of 10 *Eucalyptus* sp clones aged 2 years and 8 months, planted at three locations in the South of the state of Bahia, Brazil. Another objective was to identify the causes of genotype-environment interactions, if these proved significant, or, if they were not, to explain why.

After the examination of models obtained by "forward, step-by-step" regression analysis, and of Pearson coefficients of correlation, it was concluded that soil organic matter, in the 40 to 60 cm layer, with averages around 1,20 g/cm³, were below ideal levels for *E. grandis*, the main species represented by the clones. Similarly,

pH, base saturation, and calcium saturation were found to be low, in the conditions of this study, when they averaged respectively 4.45, 31 %, and 38 %. Silt content, with averages between 3 and 5 %, appeared to be negatively correlated with the growth of *E. grandis*. The coefficient of determination of the model which used all the data was low: 0.3984.

The main cause for the differences in productivity observed between locations, however, was, most probably, water deficits, with or without the added effect of soil resistance to penetration by tree roots.

Genotype-environment interactions were not significant. This was attributed to a narrow spectre of genotypes represented by the ten clones, together with the main limitation to growth. This type of limitation probably requires ample genetic differences before an adaptation to it will be manifest.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Importância dos eucaliptos no mundo e no Brasil

De acordo com o anuário de produtos florestais da FAO para 1978 a 1989 (FAO, 1991), a produção anual de celulose no mundo se distribuiu como mostra a tabela 1, após dois sucessivos intervalos de cinco anos.

Tabela 1 - Produção de celulose no mundo (1000 t/ano), extraído de FAO (1991).

Região \ Ano	1979	1984	% dif.	1989	% dif.
África	1358	1.356	(-0,1)	1.724	(+27,1)
América Norte e Centro	65.299	71.360	(+9,4)	80.479	(+12,8)
América do Sul (sem o Brasil)	1.240	1.545	(+24,6)	1.644	(+6,4)
Brasil	1.992	3.415	(+71,4)	4.304	(+26,0)
Ásia	12.503	12.386	(-0,9)	14.315	(+15,6)
Europa	30.522	33.553	(+9,9)	37.618	(+12,1)
Oceania	1.693	1.907	(+12,6)	2.295	(+20,3)
USSR	8.730	10.100	(+15,7)	11.326	(+12,1)
TOTAL	123.338	135.622	(+10,0)	153.706	(+13,3)

A tabela 1 mostra a evolução da produção de celulose no Brasil, em comparação com o resto do mundo. Cabe lembrar que esta evolução se deu em um contexto de "crescimento zero" da economia do país durante a década de '80.

Os motivos para esta evolução positiva podem ser deduzidos a partir de um simpósio ocorrido em Bruxelas, em 1979 (SYMPOSIUM ON NEW PULPS FOR THE PAPER INDUSTRY, 1979). Este simpósio foi dedicado principalmente ao impacto produzido pelo eucalipto no mercado mundial de polpa, e às experiências brasileiras na produção e utilização desta essência florestal. Já nessa época, o Brasil despontava como o principal produtor, e com ainda um vasto potencial inexplorado para aumentar sua produção de polpa de madeira de eucaliptos.

Naquela ocasião, diversas apresentações sublinharam as qualidades deste tipo de polpa. Em particular, DILLNER & JONSSON (1979), discutindo os méritos das diversas polpas de madeira de fibras curtas, concluiu: "...as polpas de eucaliptos combinam a maioria das qualidades importantes (para uma boa polpa) de uma maneira marcadamente favorável. Têm boa resistência seca e molhada, conquanto não tenham sido degradadas no processo de polpagem, e ao mesmo tempo têm volume específico e opacidade muito altos."

Assim, não surpreendem as conclusões

apresentadas em um relatório de uma empresa de assessoria ao setor florestal, em 1986 (WOODBIDGE, REED AND ASSOCIATES, 1986). O relatório intitula-se: "World pulp demand with special reference to Eucalyptus" ("Demanda mundial de polpa, com referência especial ao de eucaliptos"). Nele os autores relataram os efeitos de uma crescente disponibilidade de polpa de eucaliptos no mundo:

- a) a grande satisfação dos fabricantes de papel ao se verem fornecidos de uma polpa brilhante, de boa qualidade, a qual traz valiosos benefícios aos seus produtos a um custo razoável,
- b) a aparição de uma nova opção de fibra para o fornecimento de papel e chapas de fibras,
- c) a contribuição à continuidade de suprimento de fibra como matéria prima para responder ao crescente consumo de papel e chapas prensadas,
- d) a atemorização dos fornecedores tradicionais de polpa, que viram sua participação no mercado diminuir.

Os preços atingidos pelas polpas de eucaliptos eram, na época, os mais altos dentre as polpas de madeiras de fibras curtas. Os autores previram também que, no futuro, as polpas de eucaliptos seriam as menos afetadas por oscilações do mercado.

Além da qualidade da nova polpa, o relatório ressaltou também o baixo custo de sua produção: "o rápido crescimento (dos eucaliptos) se traduz em silvicultura de

baixo custo devido à área relativamente pequena que é necessária para suprir uma fábrica de polpa de grande escala." Uma fábrica capaz de produzir 500.000 t/ano de celulose necessitaria de uma área plantada com eucaliptos de 50.000 ha, enquanto que, para uma floresta de coníferas de regiões frias, $1,43 \cdot 10^6$ ha seriam requeridas. Os autores baseiam esta afirmação em valores de crescimento de eucaliptos da ordem de 60 a 80 m³/ha/ano, em comparação com 1,75 m³/ha/ano para a citada floresta de clima frio.

A cifra para a produtividade dos eucaliptos da WRA parece demasiadamente otimista. SUCHEK (1991) estima como estando por volta de 40 m³/ha/ano a produtividade média dos eucaliptos no Brasil, na década de 80 - 89. Assim mesmo, a diferença em relação às florestas temperadas é marcante.

O rápido crescimento dos eucaliptos no Brasil pode ser explicado em parte pela situação geográfica do país. Com extensas áreas nos trópicos, a insolação e as temperaturas permitem um crescimento acelerado. Há ainda, de acordo com SUCHEK (1991), áreas consideráveis de precipitação relativamente uniforme, onde praticamente não ocorre um período com crescimento reduzido, tão comum em outras regiões do mundo.

O outro fator é, evidentemente, o próprio gênero *Eucalyptus*. Sendo exótico no Brasil, não padece aqui das doenças e pragas que, na sua região de origem, limitam

seu uso em plantios comerciais.

1.2 Características distintivas dos eucaliptos

De acordo com FLORENCE (1984), as diversas adaptações e características observáveis no gênero *Eucalyptus* podem ser melhor compreendidas no contexto das mudanças ambientais sofridas desde cerca de 60 milhões de anos pelo continente australiano, época em que se separou do "super-continente" de Gondwanaland.

Durante este período o clima teria passado de subtropical úmido para semi-árido, levando o continente a uma peneplanação generalizada com a formação de paisagens e solos altamente intemperizados. Esta afirmação de FLORENCE (1984) é aberta a questionamentos, pois solos altamente intemperizados não são característicos de climas semi-áridos. Nos últimos 20 milhões de anos, as mudanças teriam se intensificado em direção à desertificação.

Assim, as pressões evolutivas que mais marcaram o gênero *Eucalyptus* teriam sido primariamente um declínio na fertilidade dos solos, e, secundariamente, um secamento progressivo do clima. FLORENCE (1984) sugere várias características do gênero *Eucalyptus* que refletem esta evolução:

- acesso a formas de fósforo relativamente inacessíveis às outras plantas,
- contribuição de micorrizas ectotróficas na absorção de

nutrientes,

- uso eficiente e conservação de uma reserva limitada de nutrientes dentro da biomassa, e
- capacidade de absorção oportunística de nutrientes (após um fogo, por exemplo) e seu armazenamento no alburno até que seja requisitado.

Outros fatores que permitiriam aos eucaliptos crescerem com taxas muito altas são citadas em uma revisão efetuada por CROMER (1984):

- a existência de gemas e brotos capazes de se expandirem indefinidamente sempre que as condições ambientais são favoráveis.
- as altas taxas de fotossíntese possíveis quando não há limitações de ordem nutricional.
- um aumento na proporção de matéria seca alocada às partes aéreas nas árvores com altos teores de nutrientes.

FLORENCE (1984) sustenta que, para uma boa compreensão da distribuição e das adaptações das diversas espécies de *Eucalyptus*, é interessante a idéia de que está sendo cogitado o desmembramento deste gênero em 10 novos gêneros, os quais têm atualmente "status" de subgêneros.

Dentro da Austrália, o (hoje) subgênero *Monocalyptus* desempenha o principal papel na produção comercial de madeira de eucalipto. Entre as espécies usadas como exóticas, no entanto, o subgênero mais importante é, de longe, *Symphyomyrtus*. As razões apresentadas para este

fato são: a ampla faixa de ambientes onde estas espécies são encontradas, refletindo uma grande tolerância a diferenças climáticas e pedológicas, e a possibilidade de estas espécies responderem melhor a condições de maior fertilidade do que aquela encontrada em seus ambientes naturais.

Por exemplo, *E. grandis* (Symphyomyrtus), oriundo das florestas da costa leste, é uma importante espécie exótica, o que não acontece com a espécie localmente mais importante, *E. pilularis* (Monocalyptus).

Dentro do seu meio natural, *E. grandis* é, em grande parte, um componente de sítios mais férteis de encostas inferiores e baixadas, mantendo-se através do excepcional vigor precoce que manifesta depois dos incêndios esporádicos que varrem estas áreas. Assim o potencial incomum desta espécie, e de seu parente próximo *E. saligna*, como exóticas, não fica aparente a partir dos padrões de distribuição natural (FLORENCE, 1984).

1.3. Importância de pesquisas anteriores ao plantio comercial

Os fatos acima mencionados sublinham a posição privilegiada dos produtores de celulose de eucaliptos brasileiros. No entanto, seria imprudente adotar uma atitude comodista frente a esta situação. Segue sendo importante a aplicação de todos os benefícios que a ciência

pode proporcionar, de maneira a assegurar investimentos de baixo risco e alto retorno. Com efeito, nem todos os projetos envolvendo reflorestamentos (inclusive de eucaliptos) têm sido bem sucedidos no Brasil.

O caso do Projeto Jari é um exemplo extremo de um investimento feito sem o apoio de conhecimentos e experiência na área florestal. Um dos principais erros no projeto foi a ignorância de que diferentes espécies respondem diferentemente a diferentes solos. A espécie usada inicialmente, *Gmelina arborea*, foi plantada indiscriminadamente na área inteira do projeto. Somente depois verificou-se que essa espécie é altamente sensível a diferenças entre solos, algo que já constava na literatura (PALMER, 1986).

1.4. Esquema da pesquisa a ser realizada antes de um plantio comercial

A pesquisa, ou coleta de informações que deveria anteceder a um reflorestamento em grande escala, com fins comerciais, poderia ser esquematizada da seguinte forma:

- 1) A definição pela empresa de reflorestamento da área onde, por motivos práticos, ela pretende atuar, ou está considerando a possibilidade de atuar. Estes motivos práticos poderiam ser: facilidade de acesso, facilidade de mecanização, custos de transporte, preços da terra, e

outros.

2) A coleta de toda informação de natureza meteorológica disponível, e o estudo de mapas planialtimétricas, de modo a caracterizar a área climatologicamente, e possivelmente efetuar alguma divisão *a priori* desta área usando este critério.

3) O uso de mapas planialtimétricos e de fotos aéreas para delimitar subáreas de relevo e, talvez, com dominância de determinados solos relativamente uniformes.

4) A ida ao campo para, junto com as fotos aéreas, conseguir descrições dos solos encontrados. A ênfase deve ser nas características mais importantes para essências florestais, tais como profundidade efetiva, classe de drenagem, espessura dos horizontes. Devem ser coletadas amostras para análise química e granulométrica.

5) Com base nas informações coletadas, estimar os fatores que mais provavelmente serão limitantes ao crescimento das árvores nas diferentes partes da área estudada. Estes devem servir então para efetuar divisões (ou subdivisões) da área.

O uso nesta fase de mapas de solos já existentes deve ser feita com cautela, atentando-se à escala em que foi feito o mapeamento. De acordo com VIEIRA & VIEIRA (1983), os tipos de levantamentos adequados para planejamento de uso de terras são o detalhado e o ultra detalhado, com escala de publicação de no máximo 1:25.000.

6) Deve-se decidir, com base nas informações coletadas, que espécie ou espécies, e dentro destas, que procedências devem ser testadas, e aonde: se na área inteira, ou em apenas partes desta. Deveriam ser testadas todas as espécies que tenham uma chance razoável de êxito, quer sejam puras, ou recombinadas na forma de híbridos.

7) Planejar a fase experimental: devem ser implantados experimentos, ou ensaios, nas principais subdivisões da área, levando em conta inclusive as subdivisões secundárias que não puderem ser estudadas separadamente.

Este planejamento é delicado: deve se pesar o valor das informações que serão obtidas contra o custo de sua obtenção.

As informações a serem obtidas são:

- a confirmação do valor das subdivisões da área efetuadas *a priori*, e sua hierarquização em termos de potencial produtivo.
- a determinação dos materiais genéticos mais adequados para as diferentes subáreas,
- alguma indicação das necessidades de adubação,
- alguma indicação das produtividades que podem ser esperadas, levando-se em conta o grau de representatividade dos locais experimentais em relação às áreas inteiras.

Os experimentos são do tipo teste de progênies (incluindo talvez diferentes espécies), com repetições em todas as subáreas de importância.

Evidentemente, torna-se impraticável testar, além de diferentes genótipos e diferentes localidades, também diferentes práticas de manejo, como por exemplo adubação, subsolagem, etc. A melhor opção é definir um "pacote" de práticas de manejo com base nas análises do solo e no conhecimento prévio da(s) espécie(s) estudada(s).

Em fases posteriores, e já escolhidos os materiais genéticos mais adequados, pode-se proceder a ensaios de espaçamento e adubação (sempre levando em conta as divisões da área cujo valor terá sido nesta fase confirmada).

1.5. Natureza e objetivos deste estudo

Este estudo foi realizado aproveitando três ensaios clonais instalados no Sul da Bahia. Esta região é, junto com o estado do Espírito Santo, a região pioneira no Brasil na técnica de clonagem em eucaliptos, sendo ali que se encontram proporcionalmente as maiores áreas plantadas com clones. A técnica empregada foi a do estudo "solo-sítio": o objetivo imediato foi relacionar uma série de variáveis do solo, junto com informações sobre o clima, ao desenvolvimento das árvores nas parcelas experimentais do ensaio. Estes relacionamentos foram representados matematicamente por coeficientes de correlação, e por regressões múltiplas.

O estudo solo-sítio é uma técnica que,

através de um grande número de observações distribuídas por um espaço geográfico, oferece condições sem paralelo para determinar, em condições de campo, o que está de fato limitando o crescimento das árvores. Assim, na medida em que as parcelas experimentais (os "pontos observados") podem ser considerados como uma amostra de uma unidade de mapeamento qualquer, os resultados podem ser extrapolados para essa unidade.

Um aspecto original deste estudo é que, diferentemente da maioria dos estudos do gênero, ele foi baseado não em parcelas locadas em plantios ou populações comerciais, mas em parcelas de um ensaio clonal. Isto possibilita o estudo da interação genótipo-ambiente, um fenômeno normalmente responsável pela diminuição, na prática, dos ganhos genéticos determinados em ensaios.

Tendo estes fatos em vista, os objetivos do estudo foram:

- determinar que ou quais fatores do solo ou do clima são limitantes ao desenvolvimento das árvores nos locais estudados.
- obter equações que possam ser usadas para fins preditivos no local de estudo.
- explicar quaisquer interações genótipo-ambiente encontrados em termos de características do solo e clima, ou, caso estes não sejam significativos, explicar esta ocorrência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fatores da produtividade

O fenótipo de qualquer ser vivo é o resultado das interações entre seu genótipo e o ambiente no qual vive. Com base nesta observação é que se pode classificar as principais vias abertas ao homem para que aumente a produtividade de suas florestas. São elas:

- A escolha e o melhoramento dos materiais genéticos.
- A escolha e a adequação do ambiente (o sítio florestal).

É neste contexto que se deseja situar a importância do presente estudo.

2.2. O melhoramento genético

A primeira etapa para o melhorista florestal é a escolha dos materiais genéticos. No início, as escolhas são entre espécies (às vezes entre gêneros ou mesmo famílias diferentes). A variedade genotípica que ele reterá depende da diversidade de ambientes existente na sua área experimental, e também da medida na qual a gama de materiais genéticos por ele escolhida contém genótipos

adequados para cada um desses ambientes. Este fenômeno, que o melhorista está explorando, é conhecido como "interação genótipo-ambiente".

2.2.1. A interação genótipo-ambiente

O fenômeno da interação genótipo-ambiente, ou IGA, (GONÇALVES, 1990) tem importância fundamental na silvicultura, e em especial na área de melhoramento florestal.

Diversas definições foram propostas para a IGA. QUIJADA (1980) a definiu como sendo "a falta de uniformidade na resposta de dois ou mais grupos de plantas cultivadas em dois ou mais ambientes". O autor apresenta graficamente dois exemplos de IGA (figura 1, a e b).

Figura 1. Diferentes possibilidades para a interação genótipo-ambiente: a) IGA qualitativa; b) IGA quantitativa; c) IGA ausente.

A figura 1 (a) mostra uma interação de um tipo que tem sido chamado de "qualitativo" (GONÇALVES, 1990). É

a mais importante, do ponto de vista prático, pois obriga o melhorista a selecionar os dois genótipos, já que cada um é o melhor em determinado ambiente. A interação mostrada na figura 1 (b) tem importância para a extrapolação dos resultados obtidos para outros ambientes, mais extremos (QUIJADA, 1980). A figura 1(c)

mostra uma situação em que a variável estudada é igualmente afetada pelo genótipo e pelo ambiente, mas onde não ocorre IGA (as retas são paralelas).

É interessante observar, neste ponto, que dificilmente a resposta das plantas a um fator de crescimento é linear ao longo de toda a faixa de variação deste fator. O que normalmente ocorre é que há, nesta faixa de variação, um ponto ou uma região ótima, sendo que acima e abaixo deste ponto o crescimento é prejudicado. As referências que mostram este fato são relativamente raras. O trabalho de BALLONI et al. (1980), onde se indica uma faixa ótima de espaçamento respectivamente para *E. grandis* e para *E. saligna* é uma exceção. Textos gerais, como o de MALAVOLTA et al. (1974), que citam Cozzo (1950), também indicam com frequência o fato de os eucaliptos crescerem melhor em solos com teores medianos de argila, sendo prejudiciais os teores muito altos ou baixos. A razão da maioria dos trabalhos indicarem apenas respostas lineares (como em CARMEAN, 1967), ou, no máximo, curvilíneas (como em SCHLATTER & GERDING, 1984), parece ser que dificilmente

um estudo envolve uma faixa de variação suficientemente ampla dos fatores de produção.

Levando em conta efeitos de fatores ambientais em forma de "V" ou "U" invertidos, as interações representadas na figura 1 poderiam ser esquematizadas como na figura 2.

Figura 2 - Interações genótipo-ambiente, levando em conta efeitos em "U" invertido. a) IGA qualitativa; b) IGA quantitativa; c) IGA ausente.

2.2.2. Importância de interações genótipo-ambiente

Segundo ZOBEL & TALBERT (1984), "a única maneira de estimar a IGA é estabelecer testes genéticos em mais de um ambiente. Quando os testes são implantados em apenas uma localidade, o termo da interação fica oculto no efeito genético. Isto tem duas consequências importantes, se houver IGA apreciável:

1. A herdabilidade pode ser sobreestimada. A fórmula

apropriada para a herdabilidade no sentido estrito quando os testes estão em múltiplos locais é:

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_{NA}^2 + \sigma_{GE}^2 + \sigma_E^2}$$

onde: h^2 = herdabilidade,

σ_A^2 = variância genética aditiva,

σ_P^2 = variância devida ao fenótipo,

σ_{NA}^2 = variância genética não-aditiva,

σ_{GE}^2 = variância devida à interação genótipo-ambiente,

σ_E^2 = variância devida ao erro experimental.

No entanto, na presença de uma IGA e com informação de apenas um ambiente, temos:

$$h^{2'} = \frac{\sigma_A^{2'}}{\sigma_P^2} = \frac{(\sigma_A^2 + \sigma_{GE}^2)}{\sigma_A^2 + \sigma_{NA}^2 + \sigma_{GE}^2 + \sigma_E^2}$$

Os componentes da variância genética aditiva e da IGA são confundidos e não podem ser separados quando os testes são estabelecidos em apenas uma localidade.

2. Materiais genéticos subótimos poderão ser usados em ambientes diferentes do ambiente do teste se a IGA for do tipo qualitativa. Isto será porque os materiais genéticos

escolhidos como sendo os melhores no ambiente do teste não são os melhores nos outros ambientes. O resultado final será um ganho genético inferior no ambiente não testado."

De acordo com VENCOVSKY (1978), a estimativa da variância da IGA pode ser escrita da seguinte forma:

$$\sigma_{ta}^2 = \frac{(\sigma_{t1} - \sigma_{t2})^2}{2} + \sigma_{t1} \cdot \sigma_{t2} \cdot (1 - r_{12})$$

onde: σ_{ta}^2 = variância da IGA,

σ_{t1} e σ_{t2} = desvios padrões dos tratamentos nos ambientes 1 e 2.

r_{12} = correlação entre os tratamentos nos ambientes 1 e 2.

O segundo termo é o mais importante, de acordo com o autor. Esta equação demonstra que nem sempre uma IGA estatisticamente significativa tem importância prática.

As IGAs "qualitativas", ou que envolvem mudanças de posição, podem ser classificadas de diversas maneiras. Uma classificação interessante é a proposta por MATHESON & COTTERILL (1990). Esta se baseia em dois níveis de variação entre materiais genéticos, e dois níveis de diferenciação

ambiental, para resultar em quatro categorias de IGA:

- 1) "Grande" X "grande": trata-se da interação entre espécies ou procedências e grandes regiões, com diferenças climáticas. Estas interações são, de modo geral, extensivamente conhecidas e aproveitadas na prática, a tal ponto que são freqüentemente esquecidas.
- 2) "Grande" X "pequeno": interações entre espécies ou procedências e variações existentes dentro de áreas relativamente restritas. Estas IGAs têm pouca importância prática, segundo os autores, embora sejam muitas vezes estatisticamente significativas.
- 3) "Pequena" X "grande": interações entre famílias ou clones e diferenças entre grandes regiões, ou em ensaios de adubação. Estas IGAs parecem, segundo os autores, ser quase universais. São comercialmente aproveitáveis.
- 4) "Pequena" X "Pequena": as IGAs entre famílias ou clones e variações dentro de um local ou sítio. Segundo os autores, estas IGAs têm pouca aplicação prática, mas mascaram e dificultam o aproveitamento das IGAs tipo 3.

De acordo com os referidos autores, a principal diferença entre IGAs tipo 3 e 4 é que as primeiras são fruto de um fator ambiental identificável, enquanto que as segundas surgem da combinação de vários fatores limitantes não identificáveis, podendo por isso ser consideradas como efeitos "aleatórios".

O estudo das IGAs, visando compreendê-las e,

principalmente, prevê-las, tem o potencial de evitar perdas importantes no setor florestal, e permitir realizar os ganhos previstos pelos melhoristas. Com efeito, a interação entre materiais genéticos e qualquer fator do meio-ambiente somente pode ser estimada se o ensaio com estes materiais genéticos for repetido de modo a se poder admitir esse fator como causa de variação. Na literatura são diversos os fatores do meio-ambiente que já foram apontados como causadores de IGAs:

- teor de fósforo no solo (BURDON, 1971),
- pH do solo (ANDERSON & LADIGES, 1978),
- profundidade do solo (SCHÖNAU & PURNELL, 1987),
- disponibilidade de nitrogênio no solo (de acordo com ZOBEL & TALBERT, 1984, este elemento produz ainda mais IGAs do que o fósforo),
- espaçamentos (BALLONI et al., 1980),
- outros fatores, citados no texto de ZOBEL & TALBERT (1984), são a drenagem do solo, e a resistência a doenças.

O efeito de cada um desses fatores sobre o tamanho (e custo) de um programa de melhoramento é multiplicativo. É evidente que levar todos em consideração tornaria o programa inviável. Por outro lado, a omissão de uma fonte importante de IGA levaria a perdas importantes. Assim seria de grande valia poder decidir *a priori* quais fatores têm maior chance de produzir IGAs.

Na classificação de MATHESON & COTTERILL (1990),

não é levada em conta a amplitude genética existente dentro dos materiais genéticos. MORGENSTERN (1982) separou sua discussão da IGA por clones, progênies, e cruzamentos intervarietais, argumentando que a adaptabilidade geralmente aumenta com o aumento da diversidade. Segundo esse autor, por exemplo, as progênies constituem um nível de variação acima daquele dos clones, estando possivelmente melhor "tamponados" para lidarem com a variação do ambiente.

Assim, dois tipos de variação genética devem ser considerados: aquelas existentes entre materiais genéticos, e aquelas encontradas dentro das mesmas. Por exemplo, um grupo de clones representativo de uma família tem menos chance de apresentar IGAs do que um grupo de clones representativo de uma procedência. Por outro lado, este mesmo grupo de clones representativo de uma procedência tem mais chance de apresentar IGAs do que um grupo de famílias representativa desta mesma procedência. A razão é que a variação dentro das famílias será maior do que dentro dos clones, mascarando a IGA até certo ponto.

Outro ponto a ser considerado é o fator ambiental, enquanto ao grau de complexidade de uma adaptação genética a ele. Como exemplo, pode-se comparar dois fatores ambientais: "espaçamento" e "deficiência de fósforo no solo". É concebível que uma adaptação à deficiência de fósforo envolva apenas um ou dois passos

metabólicos, resultantes de uma ou duas mutações genéticas. De acordo com EPSTEIN (1972, p327), "em alguns casos tem sido mostrado que mutações envolvendo um único gene foram responsáveis por anormalidades nutricionais". Assim, pode-se imaginar que materiais genéticos relativamente próximos geneticamente apresentem uma IGA para este fator ambiental. Este é o caso, aparentemente, em BURDON (1971), onde 18 clones provenientes de 9 progênies oriundas de 9 árvores selecionadas em um povoamento de *Pinus radiata* apresentaram uma IGA para deficiência de fósforo no solo.

O espaçamento, por outro lado, é uma variável de efeitos múltiplos, afetando a luz recebida pela planta, e os suprimentos de água e nutrientes. As diferenças genéticas exigidas por uma adaptação diferencial ao espaçamento são, provavelmente, muitas. Pode-se afirmar que dois materiais genéticos que apresentem uma IGA causada por um gradiente de espaçamentos estariam, em um ambiente natural, em pontos diferentes na seqüência sucessional.

Deste modo, não é de se esperar que dois materiais geneticamente próximos apresentem uma IGA para espaçamento. De fato, CAMPBELL & WILSON (1973), que testaram 30 famílias de uma mesma espécie (*Pseudotsuga menziesii*) em 4 espaçamentos, não encontraram, aos 3 anos de idade, uma IGA significativa. Estes autores encontraram um comportamento semelhante entre árvores da mesma espécie com 43 anos de idade. FRIES (1984) tampouco encontrou uma

IGA entre 2 clones de *Pinus sylvestris* plantados em 3 espaçamentos, aos 20 anos de idade. Da mesma maneira, PATIÑO-VALERA (1986), trabalhando com progênies de polinização livre de uma mesma procedência de *Eucalyptus saligna* plantados em dois espaçamentos, não encontrou uma IGA significativa, aos 32 meses de idade. BALLONI et al. (1980), no entanto, trabalhando com material oriundo de duas espécies diferentes (*E. grandis* e *E. saligna*) encontraram uma IGA significativa (aparentemente, pois não há análise estatística no referido trabalho) aos 9 anos de idade.

Outro fator ambiental que provavelmente exige muitas mudanças genéticas para uma adaptação diferencial a ele é a temperatura. Uma planta mais adaptada que outra a temperaturas baixas deve ter modificações em todas suas enzimas, permitindo que estes atuam mais eficientemente em uma faixa de temperaturas mais baixa. Certamente, as IGAs ao nível de diferentes espécies com temperaturas médias anuais estão entre as mais conhecidas (e aproveitadas). Esta é a principal razão de se plantar diferentes espécies em diferentes latitudes.

Finalmente, uma consideração importante para a probabilidade de se obter uma IGA é a variável-resposta que está sendo estudada. Para a produção normalmente se considera o volume por área, mas igualmente importantes podem ser variáveis relacionadas com a qualidade do

produto. Uma variável importante neste sentido é a densidade básica. De acordo com ZOBEL & TALBERT (1984) esta é uma variável bastante influenciada pelo genótipo, assim como pelo ambiente, mas raramente é sujeita a interações genótipo-ambiente.

2.2.3. O uso de clones

O uso de clones é um desenvolvimento relativamente recente na área de melhoramento florestal. Esta técnica comporta uma série de vantagens (ROJAS, 1990). Entre estas estão ganhos genéticos mais rápidos e seguros, plantios mais uniformes e portanto mais facilmente manejados e explorados, e uma redução do problema de "dominância não compensada". Este último ocorre quando, na eventualidade de uma árvore ser dominada, o aumento no crescimento das árvores circunvizinhas não compensa a redução em volume da árvore dominada.

Em particular, e de maior interesse para o nosso propósito, está a possibilidade de explorar em um grau sem precedentes a interação genótipo-ambiente. ROJAS (1990) cita como sendo de 7 a mais de 25 o número de clones a serem usados em blocos monoclonais de 5 a 20 ha cada. Pode-se visualizar a distribuição destes clones no campo, não mais ao acaso, mas de acordo com microvariações de fatores ambientais tais como "teor de argila no horizonte superficial", "espessura do horizonte superficial", ou

mesmo "declividade". Evidentemente será necessário um grande acúmulo de informações até que se possa chegar nesse ponto.

2.3. O ambiente

2.3.1. O clima

A árvore, do ponto de vista florestal, é essencialmente um organismo que produz biomassa, a partir de H_2O e CO_2 , por intermédio de luz solar, e de enzimas, que necessitam de nutrientes, um meio aquoso, e de temperaturas dentro de uma faixa adequada para seu funcionamento.

2.3.1.1. Energia solar incidente

A radiação solar, teoricamente um dos fatores mais importantes na produção de biomassa, aparece no entanto raramente na literatura. É mencionada por JACKSON (1967), que a considera como causa de diferenças de produtividade a nível de regiões amplas. Trata-se de um fator que exige dados de insolação, nem sempre disponíveis, e provavelmente é, indiretamente, incluído nos estudos que levam em conta a precipitação, pela sua correlação com esta variável.

MARGULES et al. (1987), estudaram a diversidade de espécies de *Eucalyptus* na Austrália em resposta a

diversas variáveis ambientais. Eles encontraram que a variável "radiação solar" não apresentava interações com as outras variáveis preditivas, tinha pouco poder preditivo, e foi significativo a apenas 5%. Por estes motivos, eles a deixaram fora do modelo preditivo final, que incluiu apenas chuvas, temperaturas, e as interações entre estas variáveis.

GREY (1989) afirma que a insolação, na África do Sul (lat. 30° a 40° Sul), não é limitante para *Pinus radiata*, mas que o aproveitamento insatisfatório desta insolação, causado por um baixo índice de área foliar devido a estresse hídrico, é um dos principais problemas da cultura na região.

2.3.1.2. Precipitação

A chuva, na forma de precipitação anual, ou de precipitação durante a estação de crescimento, é talvez o componente climático que mais comumente aparece em estudos "solo-sítio". Por exemplo, no estudo de SHOULDERS & WALKER (1979), a precipitação é, em 8 das 9 equações por eles desenvolvidas, a variável mais importante, explicando entre 14% e 80% da variação na altura das árvores. Segundo SCHLATTER & GERDING (1984), que estudaram *Pinus radiata* no Chile, "a precipitação média anual demonstra alto grau de associação com o índice de sítio."

COILE (1952), em sua extensa revisão sobre o

assunto de relações solo-sítio, tece diversas considerações a respeito da capacidade de penetração de chuvas e sobre a importância do regime de chuvas para a distribuição das raízes no solo.

De acordo com esse autor, são necessários por volta de 13 mm de chuva para que haja molhamento do solo mineral. Quantidades menores do que isto são interceptados em parte pela folhagem, sendo perdidos por evaporação, e em parte pela matéria orgânica do horizonte O. Para estudos solo-sítio, deveriam ser considerados então somente as chuvas maiores do que 13 mm.

Segundo o mesmo autor, o regime hídrico do solo depende do regime de chuvas. Chuvas periódicas distribuídas ao longo do ano podem significar horizontes superficiais com umidade variável, e horizontes sub-superficiais quase sempre secos. Assim, as raízes finas, nesse caso, encontram-se geralmente na superfície.

Quando, de acordo com COILE (1952), a maior parte da precipitação ocorre no inverno como neve, o perfil sempre inicia a estação de crescimento na capacidade de campo, e as raízes têm distribuição mais uniforme no perfil.

A importância da água para as árvores fica evidente quando é possível fixar as outras causas de variação do crescimento, como por exemplo solo e genótipo. BASSET (1964) utilizou uma série temporal de dados de

crescimento de um mesmo grupo de parcelas, e calculou, para cada incremento no crescimento, dois índices de umidade do solo. Estes índices de umidade ("unidades de dias de crescimento" e "dias sem crescimento") explicaram, isoladamente, entre 95% e 97% da variação no crescimento das árvores, e com significância (teste F) altíssima.

2.3.1.3. Temperatura

A importância da temperatura como causa de variação no crescimento das árvores depende da amplitude da variação deste fator. Como será visto, os estudos solo-sítio que englobam regiões pequenas dificilmente levam em conta as temperaturas, ou qualquer outra variável climática, como causa de variação.

Outro fator de importância da temperatura são os valores que ela assume. Por exemplo, no estudo feito por SCHLATTER & GERDING (1984) sobre *Pinus radiata* no Chile, a faixa de latitudes englobada foi muito ampla (32° 00' a 45° 30' Sul). Os autores, porém, acharam que a temperatura, provavelmente, teria menor influência do que a precipitação média anual, sobre o índice de sítio de *Pinus radiata*, nesta região, pois ela não comportou valores extremos. A temperatura não foi usada nesse estudo por falta de dados completos. Cumpre mencionar que esse foi o único estudo solo-sítio encontrado onde a temperatura foi mencionada como possível causa de variação.

O trabalho de MARGULES et al. (1987), previamente mencionado, demonstra a importância dos valores assumidos pela temperatura para as relações entre esta e o número de espécies de *Eucalyptus* por 0,1 ha.

Em diferentes faixas de temperaturas e precipitações, diferentes gradientes ambientais foram observados:

- a temperaturas médias anuais inferiores a 8 °C, o número de espécies podia ser previsto satisfatoriamente com base apenas na temperatura. Quanto mais baixa a temperatura, menor o número de espécies;
- a temperaturas médias anuais acima de 10 °C, a principal causa de variação no número de espécies de *Eucalyptus* por 0,1 ha foi a precipitação média anual (PMA). Os valores mais altos ocorriam com PMAs entre 600 e 1000 mm por ano. Acima de 1300 mm, o número de espécies de *Eucalyptus* declina devido à concorrência de outras espécies.

Os efeitos da temperatura sobre as árvores poderiam ser divididos em dois, a saber:

- efeitos diretos: seriam os efeitos da temperatura sobre os processos fisiológicos da planta, na medida em que afeta a velocidade das reações.
- efeitos indiretos: estes seriam os efeitos da temperatura sobre os gradientes do potencial da água que determinam a evapotranspiração da planta.

Um exemplo de efeito direto poderia ser aquele

que se observa em SHOULDERS (1976). Neste estudo, foram cultivadas plântulas de *Pinus eliottii* em solução nutritiva com:

- 2 níveis de O_2 dissolvido na solução nutritiva,
- 3 temperaturas médias, e
- 2 intensidades luminosas.

O efeito das temperaturas mais altas (28 e 22 °C) foi acentuar, em relação à temperatura mais baixa (16 °C), os efeitos fisiológicos provocados pelos diferentes níveis de O_2 dissolvido.

Outros exemplos de efeitos diretos da temperatura são mencionados por CATINOT (1970), em um trabalho sobre os ciclos anuais de crescimento de árvores tropicais: "a respiração total das folhas em árvores da floresta tropical é entre três e quatro vezes maior que em uma floresta folhosa temperada, devido à temperatura média muito elevada, a qual leva a um consumo enorme de matéria fotossintetizada."

CATINOT (1970) também menciona que temperaturas máximas altas, e temperaturas mínimas abaixo dos 17 °C poderiam levar à suspensão da atividade do cambio, implicando em uma parada no crescimento da árvore.

O mesmo autor propõe um efeito da temperatura que pode ser classificado como "indireto": temperaturas máximas muito altas poderiam levar à suspensão do crescimento devido a uma exagerada transpiração, a qual

levaria a um exaurimento das reservas em água do solo e da planta.

BOTKIN (1969) afirmou: "não há dúvidas de que as taxas de fotossíntese são afetadas pela intensidade da luz, temperaturas, disponibilidade de água e outros fatores." Este autor obteve uma equação empírica para a previsão da fotossíntese em uma floresta litorânea em Nova Iorque (E.U.A.), baseado na intensidade da radiação solar, e na temperatura da folha. É de se supor que a função da temperatura nesta equação tenha sido ao mesmo tempo direta, afetando a velocidade da fotossíntese, e indireta, afetando a disponibilidade da água.

GREEN (1969) realizou medições contínuas do crescimento em circunferência de quatro indivíduos de *Eucalyptus pauciflora*. Também foram medidas, além de outras variáveis climáticas, as temperaturas máximas e mínimas do dia da observação e do dia anterior. Estas variáveis foram relacionadas com o crescimento através de regressões múltiplas "passo-a-passo".

Os resultados foram inconsistentes entre as árvores; as temperaturas não aparentaram ser, isoladamente, a causa da variação do crescimento. Em três das quatro árvores, o crescimento demonstrou ter relação inversa com a temperatura máxima, contradizendo resultados encontrados na literatura pelo autor.

Pode-se pensar que os resultados teriam sido

mais consistentes se houvessem sido usadas como variáveis independentes:

- a temperatura, para explicar os efeitos diretos desta variável,
- o gradiente entre os potenciais da água no solo e na atmosfera, os quais levariam em conta os efeitos indiretos da temperatura (e da precipitação).

O uso de diversas variáveis envolvendo temperaturas foi relacionado por GREY (1989), em uma revisão de literatura a respeito de *Pinus radiata*. Foram estas: desvios de uma temperatura anual de 12 °C, desvios de temperaturas noturnas de 5 °C, e desvios de temperaturas diurnas de 20 °C. Foram relacionados também crescimentos reduzidos em consequência de temperaturas de inverno abaixo de 3 °C.

2.3.1.4. Importância do clima em estudos solo-sítio

RALSTON (1964), em uma revisão da literatura dos 10 anos precedentes sobre estudos solo-sítio, afirmou, a respeito de variáveis meteorológicas, que sua importância depende de sua faixa ou amplitude na área de estudo.

Ele sustentou também que a importância de determinado fator climático é tanto maior quanto mais extrema é a condição imposta à árvore por este fator de crescimento. Como exemplo, uma precipitação anual variando de 600 a 900 mm/ano teria, sem dúvida, um efeito muito mais

marcado sobre *Eucalyptus grandis* do que uma variação de 1000 a 1300 mm. Estas duas afirmações poderiam ser generalizadas para incluir quaisquer variáveis do meio-ambiente.

Ilustrando o efeito da amplitude de variação do clima na sua importância em estudos solo-sítio, observa-se que, de fato, em estudos realizados em áreas pequenas, não aparecem variáveis climáticas. Assim, no trabalho de YOUNG (1954), que estudou 16 sítios dentro de um raio de 15 km da cidade de Orono, Maine (EUA), ou ainda como no de McCOLL (1969), cuja área de estudos situava-se em uma floresta de 2.800 ha, as variáveis climáticas estão ausentes.

Por outro lado, em alguns trabalhos onde a área de estudos é bem maior, tampouco aparecem variáveis relacionados com o clima. Por exemplo, JOHNSON et al. (1987) estudaram as variações no índice de sítio de *Acer rubrum*, na região dos Grandes Lagos dos EUA, em uma área cuja maior extensão (na direção Oés-noroeste - és-sueste) é de 450 km, aproximadamente. Segundo os autores, a maioria da área ocorre em duas regiões homoclimáticas. é de se supor que o principal aspecto climático da região é um excesso de precipitação em relação à evapotranspiração, pela importância com que aparecem variáveis relacionados com a drenagem do solo nas equações desenvolvidas pelos autores. O valor mais alto de R^2 conseguido foi 0,66.

Outro caso é o de BROWN & LOWENSTEIN (1978) que,

trabalhando com coníferas no norte de Idaho, EUA, estudaram uma área que também abrangeu uns 450 km, no seu principal eixo (Norte-Sul). Aqui tampouco foram usadas variáveis climáticas, embora a precipitação, segundo os autores, varie de 640 a 1270 mm/ano, e a temperatura média anual varie de 1 a 8 °C. Não fica claro se estas variações são de um ano para outro, ou ao longo de gradientes geográficos. As variáveis "elevação" e "aspecto" foram usadas, mas não a latitude (que varia em quase 3 graus, de 46° N para 49° N). O melhor valor de R^2 encontrado foi de 0,70.

Deve ser lembrado que estes autores trabalharam com espécies (no caso de BROWN & LOWENSTEIN, 1978, com povoamentos mistos) e que, como observou RALSTON (1964), "até que se possa reconhecer e medir a variação genética no campo, a variabilidade intra-espécie tem de ser tratada inevitavelmente como resíduo experimental em estudos de avaliação de sítios". Neste contexto, os resultados, em termos de R^2 , conseguidos nestes dois trabalhos parecem bastante satisfatórios. Portanto, nenhuma variável climática participou nesses modelos.

Uma explicação estaria na segunda observação de RALSTON (1964), transcrita acima. Isto é, as condições climáticas (insolação, precipitação, temperaturas) sendo longe de serem limitantes para as espécies em estudo, as variações que possam existir nestes locais, mesmo que aparentemente amplas, tem pouco efeito sobre as árvores.

Outra possibilidade é que estes autores de fato conseguiram, não intencionalmente, incorporar o clima nas suas equações, devido a alguma correlação entre elementos do clima e variáveis aparentemente não relacionados que foram usados. Por exemplo, na equação de BROWN & LOWENSTEIN (1978), uma variável importante é a espessura no solo de uma camada de cinzas, depositada por um vulcão há 6.700 anos. É possível que esta espessura apresente um gradiente ao longo do eixo Norte-Sul, e esteja "explicando" uma variação que na verdade é causada por um gradiente de temperatura.

Este é um problema comum a todos os estudos que se valem da análise de regressão múltipla. As correlações encontradas nem sempre refletem verdadeiras relações causa-consequência. Além disto, quanto mais variáveis são utilizadas, maior é a possibilidade de alguma ser aceita como tendo "alto poder preditivo", quando na realidade a relação observada é fruto do acaso.

Cabe lembrar também que o clima é um dos fatores de formação do solo, e que portanto a variação em algumas características deste último pode refletir uma variação de clima. COOPER (1960) encontrou uma relação importante entre a temperatura média do ar (cuja variação se devia a mudanças no aspecto e na elevação) e o tipo de solo, no sul das montanhas Appalaches dos EUA. Nesta região, em vertentes Norte e a determinadas altitudes, são encontrados

solos que, nas vertentes Sul, só aparecem em elevações bem superiores. Assim seria redundante usar, em um estudo solo-sítio realizado nesta área, as variáveis "espessura do solo" e "temperatura média do ar", devido à alta correlação entre os dois.

2.3.1.5. Correlações entre o clima e parâmetros geográficos

Como ficou subentendido nos parágrafos precedentes, o clima, além de se correlacionar com o solo, comumente se correlaciona com variáveis geográficas, tais como latitude, elevação, e aspecto. SCHLATTER & GERDING (1984), por exemplo, encontraram em seu estudo um alto coeficiente de correlação entre latitude e precipitação média anual ($CC = 0,876$). Esta última, por sua vez, tinha alta correlação com o índice de sítio ($CC = 0.549$), o que explica, em parte, a boa correlação entre latitude e índice de sítio ($CC = 0,631$). RALSTON (1964), em sua revisão sobre estudos solo-sítio, menciona que precipitações totais anuais se relacionam com a proximidade ao mar.

A facilidade de se obter valores de variáveis geográficas para as parcelas observadas está normalmente em contraste marcante com a dificuldade de se obter dados das variáveis climáticas propriamente ditas. Assim, em muitos trabalhos, as variáveis climáticas são substituídas por variáveis geográficas. No estudo de BROWN & LOWENSTEIN

(1978), foi usada a elevação do ponto observado. Estes autores explicaram a correlação negativa entre a elevação e o índice de sítio pelas temperaturas inferiores, e pelas estações de crescimento reduzidas que ocorreriam a maiores altitudes. GREY (1979a) encontrou que a "altitude foi um importante fator para a previsão do índice de sítio de *Pinus patula*". Ele não menciona, no entanto, se isto seria devido a uma correlação com temperaturas e/ou com precipitações. No mesmo trabalho, a longitude teve correlação significativa a 5% com o índice de sítio, embora não entrou nas equações preditivas. Provavelmente (pelo que se pode ver em um mapa da área), a longitude tem alta correlação com a altitude, com temperaturas, e, possivelmente, com a precipitação.

2.3.1.6 Interações entre o solo e o clima

Às vezes, as variações de solo e de clima são independentes, e interagem no seu efeito sobre o crescimento das árvores. JACKSON (1972), trabalhando com *Pinus radiata* na Nova Zelândia, encontrou uma situação que pode ser resumida na figura 3.

HERBERT (1990), em relação a um conjunto de experimentos de fertilização de *Eucalyptus grandis* na África do Sul, afirmou que os fatores mais importantes para o crescimento nestas áreas são a precipitação e a profundidade efetiva do solo. A equação encontrada por ele

é:

$$A_b = 26.9677 - 9.4574 * 10^{-5} (d_r * p_a)^{-1} \quad (r = 0.98)$$

onde A_b é a área basal, em $m^2 \cdot ha^{-1}$, das parcelas controle aos 4 anos de idade, d_r é a profundidade efetiva do solo em cm, e p_a é a precipitação média anual em mm.

Figura 3 - Incremento em volume aos 7 anos de idade em relação à precipitação média anual e variáveis selecionadas de profundidade efetiva do solo (JACKSON, 1972).

A partir desta equação, e levando em conta os pontos observados pelo autor, pôde-se elaborar a figura 4. Esta figura reproduz de certa maneira os achados de JACKSON

(1972), representados na figura 3.

RALSTON (1964) conclui que quando a área de estudos é grande e os efeitos das interações clima-solo sobre as plantas são potencialmente complexas, uma maneira prática de simplificar o estudo é estratificá-lo por clima. Em outras palavras, divide-se a área em sub-regiões climaticamente uniformes, e faz-se um estudo para cada sub-região.

dr = profundidade efetiva (cm)

Figura 4 - Efeito da precipitação e da profundidade do solo sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* (baseado em dados de HERBERT, 1990).

2.3.1.7. Condições meteorológicas adequadas para *E. grandis*

SCHÖNAU & SCHLZE (1984), publicaram estimativas de condições climáticas adequadas para *E. grandis*, com base em experiência pessoal e dados de estações meteorológicas situadas onde foi observado um bom crescimento da espécie.

Outras estimativas foram publicadas por BOOTH & PRYOR (1991), a partir do estudo da literatura, e da localização em mapas de plantios comerciais bem sucedidos no mundo inteiro. Eles usaram um programa de computador (WORLD) que mostra todas as regiões do globo que satisfazem a determinadas condições climáticas.

As estimativas encontram-se na tabela 2.

BOOTH & PRYOR (1991) mencionaram que seus dados referem-se a espécies inteiras: as faixas adequadas para determinadas procedências, ou subespécies, dentro de uma espécie podem ser mais estreitas.

Tabela 2 - Condições meteorológicas adequadas para *E. grandis*.

Fatores ** ** Autores	Ppt. média anual	Duração déficit hídrico (meses)	Regime de Chuvas	Temp. média anual	Temp. máxima média do mês mais quente	Temp. média Jan.: mês mais quente
SCHÖNAU & SCHLZE (1984)	>900 mm	(0-2) *	Não mencio- nado.	> 16 oC	Não menciona da.	< 27 oC
BOOTH & PRYOR (1991)	700 a 2500 mm	0 a 7	s, u/b	14 a 25 oC	25 a 34 oC	Não mencio- nada.

Fatores ** ** Autores			Temp. mínima absol.	Temp. mínima méd. do mês mais frio	Temp. média mínima diurna: Julho	Temp. média Jul.: mês mais frio
SCHÖNAU & SCHLZE (1984)			Não mencio- nada.	Não mencio- nada.	> 4 oC*	> 11 oC
BOOTH & PRYOR (1991)			> -8 oC	3 a 16 oC	Não mencio- nada.	Não mencio- nada.

* Dado de Webb (1980), citado por SCHÖNAU & SCHLZE (1984).
s = chuvas concentradas no verão;
u = chuvas com distribuição uniforme;
b = chuvas com distribuição bimodal.

2.3.2. O Solo

COILE (1952), em extensa revisão sobre estudos solo-sítio, afirmou: "a qualidade do sítio é em grande parte determinada por propriedades do solo, ou outros atributos do sítio, que influenciam a qualidade e a quantidade de espaço para crescimento para as raízes das

árvores."

RALSTON (1964), revendo os trabalhos solo-sítio realizados no período 1953-1963, escreveu, a respeito de variáveis edáficas: "desvios substanciais em qualidade de sítio em volta da média para uma classe fisiológica homogênea são freqüentemente relacionados com os suprimentos disponíveis de água, ou nutrientes, ou atmosfera do solo."

O método empregado em estudos solo-sítio foi descrito por CARMEAN (1975) da seguinte maneira: "muitas parcelas são locadas em povoamentos florestais mais antigos que representem toda a variação de sítios, solos, topografia, e clima encontradas dentro de determinada região ou área florestal. O índice de sítio é estimado a partir de árvores nestas parcelas usando medições de altura e idade ou, mais recentemente, através de técnicas de análise de tronco. Em seguida, estas estimativas de índice de sítio são correlacionadas com aspectos associados do solo, da topografia, e do clima, usando métodos de regressão múltipla. As equações resultantes são usadas para calcular tabelas de previsão de sítio e gráficos de tendências para a estimativa, no campo, do índice de sítio. Os aspectos comumente correlacionados com o índice de sítio são normalmente de fácil reconhecimento e mapeamento por técnicos florestais de campo."

2.3.2.1. Variáveis facilmente observáveis no campo

O uso de variáveis observáveis no campo tem vantagens evidentes, pois são de aquisição muito mais rápida e barata do que resultados de análises de laboratório, especialmente as químicas.

Na literatura, é comum encontrar trabalhos em que foram registradas apenas variáveis facilmente observáveis. Existem sistemas de classificação de sítios baseados em um conjunto de variáveis desse tipo apenas. Um exemplo seria o sistema desenvolvido por BAKER & BROADFOOT (1978), para folhosas do Sul dos E.U.A., o qual foi elaborado com base na experiência prática dos autores.

Outros autores usam apenas esse tipo de variável para que o resultado obtido (as equações desenvolvidas) seja de uso prático e imediato, como é o caso de CARMEAN (1965).

Numerosos autores usaram variáveis facilmente observáveis no campo para estratificar seus dados. É o caso de ALBAN (1974), que usou como critério de estratificação a presença ou não de camadas de textura fina no solo, de CARMEAN (1965), que usou textura do solo e drenagem interna, de SCHÖNAU & PURNELL (1987), com profundidade do solo, de SHOULDERS & WALKER (1979), com drenagem interna, e de TURNER & HOLMES (1985), com material de origem.

Um estudo em que o valor prático de variáveis observáveis no campo ficou bastante evidente é o de MUNN &

VIMMERSTEDT (1980). Estes autores apresentam 3 equações preditivas de qualidade de sítio, obtidas respectivamente com variáveis de campo, com variáveis obtidas em laboratório (químicas), e com os dois tipos de variáveis juntos: os valores de R^2 e erro padrão da média para as três equações são praticamente iguais.

Diversos estudos mostraram o valor de variáveis topográficas (TRIMBLE, 1964, CARMEAN 1967, e GREY 1979a). Em particular, o trabalho de McCOLL (1969) mostra como diferentes associações de espécies de *Eucalyptus* são encontradas, em uma área de topografia suavemente ondulada no Sudeste da Austrália, em diferentes posições no relevo. Estas diferentes posições de relevo, por sua vez, estão associadas com diferentes regimes hídricos do solo, graus de lixiviação e outras propriedades (que também são influenciadas pelo material de origem).

A vantagem de variações topográficas é que podem ser determinadas e mapeadas com extrema facilidade no escritório, com o auxílio de mapas planialtimétricos, e de fotografias aéreas.

Há, porém, casos em que variáveis observáveis no campo, consideradas a priori como importantes para o desenvolvimento das árvores, falham espetacularmente nesse sentido. É o caso no estudo apresentado por GREY (1979b), onde 120 parcelas foram demarcadas em plantios de *Pinus patula* de 17 anos ou mais, em um distrito de Transkei,

África do Sul. O autor anotou para cada parcela a presença ou não de horizonte B, e, em caso positivo, o tipo morfológico deste horizonte. Uma análise de variância mostrou que esse fator não teve qualquer efeito sobre o desenvolvimento de *Pinus patula*.

SHETRON (1972) estudou o desenvolvimento de quatro espécies, em diferentes solos do Michigan (EUA). Para cada espécie, o autor relacionou as médias e as variâncias do Índice de sítio em diferentes solos. Ficou estabelecido que, em certos casos, o simples conhecimento da série de solo presente em um sítio era o suficiente para se poder estimar, com boa segurança, o índice de sítio do local. Em outros casos, porém, a variabilidade do Índice de sítio para o solo do local era muito alta para se poder fazer previsões seguras.

O autor procurou, então, um meio para diminuir a margem de erro nessas previsões. Foram registradas em cada parcela propriedades visíveis do solo consideradas como importantes para os suprimentos de água e de nutrientes para as árvores. Foram elas: "profundidade até camadas de textura fina", "profundidade até fragipan", "profundidade até materiais calcáreos", "espessura do horizonte espódico", "posição da parcela na encosta", "aspecto", "declividade em %" e "profundidade até mosqueamento". Estudou-se a relação entre essas variáveis e os Índices de Sítio através de regressões. Em apenas 9 das 24 combinações

espécie-série de solo estas variáveis foram úteis para diminuir a variabilidade observada.

Outros estudos mostraram que, embora úteis, as variáveis "de campo" necessitam por vezes de serem complementadas por variáveis resultantes de análises químicas do solo. É o caso de MADER (1976), que, trabalhando com *Pinus strobus* L. em Massachussetts (EUA), encontrou que "as equações baseadas apenas em dados topográficos e dados de solo do campo não foram eficientes no geral. A adição de fatores físicos do solo de fácil determinação produziu resultados razoáveis, mas para obter os melhores resultados foi necessário agregar os resultados de análises físicas e químicas mais complicadas".

HARDING et al. (1985) usaram a análise discriminante para estudar o efeito do solo sobre o desenvolvimento de *Picea glauca* (Moench)Voss. no Norte de Minnesota (EUA). Em uma das funções desenvolvidas, as variáveis escolhidas eram do tipo facilmente observável, relacionadas com o volume de solo disponível para o crescimento das raízes. Na outra função, as variáveis eram relacionadas com a declividade e com o estado nutricional do solo.

O que se pode concluir, a partir das linhas precedentes, é que as variáveis facilmente observáveis no campo, embora certamente preferíveis às outras, pela rapidez e baixo custo de sua coleta, nem sempre têm o poder

de caracterizar satisfatoriamente a qualidade dos sítios. Assim sendo, nos estudos "solo-sítio" que precedem levantamentos e mapeamentos mais gerais, não devem ser desprezadas variáveis de aquisição mais morosa, tais como as variáveis conseguidas por análises físicas e químicas do solo. Estas podem, por exemplo, se revelar úteis em subáreas da área estudada, onde a variabilidade da qualidade de sítio seja alta e não explicada por outras variáveis. Afinal, é relativamente freqüente que, em um estudo solo-sítio, alguns estratos (séries de solo, classes topográficas, etc) demonstram ter variabilidade de potencial produtivo baixo, não necessitando maiores refinamentos, enquanto que outros têm variabilidade alta (SHETRON, 1972).

2.3.2.2. Profundidade do horizonte superficial

Variáveis tais como "Profundidade do horizonte A1", ou "Profundidade do horizonte A", ou "Profundidade do solo superficial" aparecem com uma certa freqüência em estudos solo-sítio. Tratam-se de variáveis de aquisição barata, podendo ser registradas no ato da coleta das amostras. O significado das correlações que apresentam estas variáveis com o desenvolvimento das árvores e, ainda, seu valor para fins preditivos são muito mais sujeitos a controvérsia.

NIELSEN & HOLE (1964), trabalhando no Wisconsin,

E.U.A., calcularam que, em condições de floresta, e na presença de minhocas *Lumbricus terrestris*, um horizonte A levaria entre 30 e 40 anos para se formar. Pode-se imaginar que em climas tropicais o processo seria muito mais rápido. Esta instabilidade ao longo do tempo da profundidade do horizonte A é o principal argumento contra seu uso em equações preditivas. Assim, há estudos em que, o número de variáveis estando excessiva (por faltarem graus de liberdade no resíduo), esta variável não foi usada (MUNN & VIMMERSTEDT, 1980).

RALSTON (1964), em sua extensa revisão, considera que a espessura do horizonte superficial pode ser uma indicação do grau de erosão que o solo tem sofrido, e pode apresentar correlações tanto com o nível de fertilidade do solo, quanto com o volume de espaço disponível ao sistema radicular. Por estes motivos, ele considera como sendo difícil a interpretação do efeito da profundidade do horizonte superficial sobre o crescimento das árvores.

As hipóteses de RALSTON (1964) sobre o significado e papel do horizonte superficial fazem supor que um "A" mais espesso estaria normalmente associado a um desenvolvimento melhor das árvores que nele crescem. No entanto, isto nem sempre é o caso.

Alguns autores (HARDING et al., 1985; SCHÖNAU & ALDWORTH, 1990) mediram a "espessura do horizonte A", mas

não mencionam mais essa variável. Aparentemente, ela não apresentou correlações significativas, embora os autores não propõe explicações para isto.

JOHNSON et al. (1987), trabalhando em Wisconsin e Michigan (E.U.A.) relataram um efeito negativo do horizonte A sobre a produção de biomassa de *Acer rubrum*. Nos sítios estudados por esses autores, uma drenagem melhor é, de modo geral, associado a menores índices de sítio, indicando a ocorrência comum de estresse hídrico.

Ao discutirem este resultado, os autores mencionam que o processo de acúmulo de matéria orgânica muitas vezes se beneficia de uma drenagem deficiente. Esta teria o efeito de desacelerar a sua decomposição levando, então, a horizontes A mais espessos. Se este foi o principal fator envolvido na formação dos horizontes A nestes sítios, fica difícil entender a relação negativa entre eles e a produção de biomassa, já que esta demonstrou ser beneficiada por uma drenagem mais deficiente.

Na verdade, de modo geral, parece difícil explicar como horizontes A menos espessos podem estar associados a índices de sítio mais altos. É legítimo supor que os fatores que favorecem o desenvolvimento de um horizonte A são:

- 1) os que favorecem a produção de biomassa pelos vegetais (fotossíntese),
- 2) os que desfavorecem a decomposição (ou a respiração) da

matéria orgânica no solo.

No caso do trabalho de JOHNSON et al. (1987), a única possibilidade parece ser que algum fator que esteja desfavorecendo a decomposição da matéria orgânica também esteja prejudicando o crescimento das árvores, embora em menor grau. Este fator poderia ser, por exemplo, a temperatura (quanto mais baixa a temperatura, menor a produção de biomassa, mas menor ainda seria a decomposição da matéria orgânica produzida). Outro fator do solo que pode produzir este efeito é o pH: de acordo com FASSBENDER, a valores de pH abaixo de 5,0, ocorre acúmulo de matéria orgânica, por diversos motivos químicos e biológicos.

2.3.2.3. Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica no solo se relaciona, e às vezes é confundido, com outras variáveis do solo, tais como: "Profundidade do hor. A", "Profundidade do hor. O" (o qual corresponde à serapilheira), "teor de N total do solo". Assim, RALSTON (1964) escreveu: "correlações com o índice de sítio (I.S.) têm sido relatados com diferenças visíveis de matéria orgânica. Apesar dos muitos fatores que contribuem à espessura do horizonte A, em solos arenosos e bem drenados, este parâmetro normalmente tem correlação positiva com o I.S." Como se vê, as variáveis "Teor de matéria orgânica" e "Profundidade do A", são confundidos no trecho supracitado. Parece-nos melhor considerar estas

variáveis como diferentes, embora possam ter alta correlação entre si.

Nesta secção, será discutida brevemente uma variável que pode estar correlacionada com "Teor de matéria orgânica": "teor de N no solo". A seguir, será comentado o papel da matéria orgânica em relação à retenção de água disponível às plantas no solo, e em relação à drenagem do solo. Finalmente, alguns comentários serão feitos enquanto à importância da matéria orgânica para a qualidade de sítios florestais.

2.3.2.3.1. "Teor de nitrogênio no solo" e matéria orgânica

O nitrogênio é um nutriente de primeira importância para as plantas, como tem sido demonstrado em inúmeros experimentos de adubação, inclusive alguns com eucaliptos (BARROS et al., 1984; HERBERT, 1990).

Melhores sítios são associados com teores mais altos de N total no solo em diversos trabalhos (ALBAN, 1974a; BROWN & LOWENSTEIN, 1978; MADER, 1976; SCHLATTER & GERDING, 1984). TURVEY et al. (1986) não encontraram correlação significativa entre "N total" e as variáveis de produção por eles medidas, mas esta variável contribuiu em uma função que discriminou entre grupos de produtividade. Não foi encontrado na literatura algum caso de correlação negativa entre teor de N no solo e qualidade de sítio.

De acordo com KEENEY (1980), a matéria orgânica (junto com raízes pequenas) é o principal reservatório de N no solo, em sistemas florestais. De fato, ALBAN (1974a) encontrou uma correlação estreita entre N do solo e teor de carbono total ($R^2 = 0,87$). SCHLATTER & GERDING (1984) encontraram um coeficiente de correlação de 0,557, altamente significativo, entre C total do horizonte A, e o conteúdo em N do horizonte D.

HERBERT (1990), comentando diversos experimentos de fertilização com delineamento fatorial, realizados na África do Sul, afirmou que a resposta à fertilização com N é função do teor de matéria orgânica (M.O.) no solo. Isto é, quanto maior o teor de M.O. no solo, menor é a resposta ao N. Os dados apresentados por ele parecem indicar que outros fatores estão envolvidos nesta resposta, além dos teores de M.O. no solo, possivelmente, como ele próprio observa, os equilíbrios na planta dos teores de P e N, e S e N.

A afirmação de HERBERT (1990) contrasta com os achados de KUSHLA & FISHER (1980). Estes autores usaram a regressão multivariada para desenvolver equações preditivas da resposta à adubação nitrogenada por *Pinus elliottii* em cinco solos diferentes na planície costeira do Sudeste dos E.U.A.. O teor de matéria orgânica aparece (com sinal negativo) em apenas uma dessas equações. MADER (1976), trabalhando com *Pinus strobus* no Massachussetts (E.U.A.),

encontraram que "melhores sítios tinham mais N no horizonte A ou no perfil, e mais matéria orgânica no B, mas menos no A, indicando talvez uma taxa C/N mais favorável e uma maior disponibilidade de N".

Assim, embora a matéria orgânica do solo seja a principal fonte de N para as plantas, a sua relação com a qualidade do sítio, como fornecedora de N, é complexa.

2.3.2.3.2. Matéria orgânica e água disponível às plantas

COILE (1952), afirmou: "o húmus, esteja não incorporado, na forma de uma camada orgânica, ou incorporado no solo mineral como horizonte A, exhibe características favoráveis de retenção de água disponível às plantas". Na mesma linha, SHOULDERS & WALKER (1979) afirmaram que "...a matéria orgânica enaltece grandemente a capacidade de um solo de armazenar água...", o que seria favorável ao desenvolvimento da vegetação em sítios de drenagem intermediária. De acordo com SCHLATTER & GERDING (1984), "a capacidade de água disponível depende da textura, da matéria orgânica, e da estrutura do solo".

Estas afirmações tendem a serem corroboradas por um estudo de SHETRON (1974), relacionando a disponibilidade de água com o desenvolvimento do horizonte espódico em solos do Michigan (E.U.A.). Este estudo mostrou que o C orgânico foi a segunda variável, em importância, para

prever a capacidade de água disponível no horizonte B21, depois do teor de Fe livre. No horizonte C, entretanto, o C orgânico não foi uma variável importante neste respeito.

Um trabalho realizado por JAMISON & KROTH (1958) apresenta evidências convincentes contra a matéria orgânica do solo, como retentora de água disponível às plantas. No estudo, que envolveu 271 amostras oriundas de 54 perfis distribuídas através do estado de Missouri (E.U.A.), foi encontrado que:

- a matéria orgânica teve correlações quase sempre positivas com a água disponível;
- estas correlações foram quase sempre inferiores às aquelas correspondentes ao silte grosso (diâmetros entre 0,05 e 0,02 mm);
- houve correlação positiva entre silte grosso e matéria orgânica;
- em um dos grupos de amostras, onde a relação entre silte grosso e matéria orgânica foi inversa, a água disponível mostrou-se relacionada com a primeira variável, e não com a segunda.

No Brasil, o problema pôde ser abordado pelo autor, analisando dados brutos publicados por BARROS (1974), referentes a alguns solos de Minas Gerais. Estes dados consistem de 34 amostras de solo, constando para cada uma os teores de argila, silte, areia, e matéria orgânica, além da Capacidade de Água Disponível (CAD). O autor usou a

regressão multivariada "passo-a-passo, para a frente", usando como variável dependente a CAD, e como "independentes" as demais mencionadas. A ordem de "entrada" das variáveis foi: 1)Silte, 2)Areia, 3)Matéria orgânica, e 4)Argila. O R^2 adicional conseguido com a "entrada" da matéria orgânica (com parâmetro positivo) foi 0,052.

Este resultados estão de acordo com a seguinte afirmação de BRADY (1983, 6ª Ed. em português, p201): "Embora o humo possua uma elevada capacidade de campo, sua capacidade de murchamento é relativamente elevada. Assim, o saldo da contribuição direta para a unidade assimilável é menor do que seria de se esperar".

2.3.2.3.3. Matéria orgânica e drenagem do solo

RALSTON (1964) propôs a idéia de que a correlação entre o teor de matéria orgânica (M.O.) no solo e a qualidade do sítio dependeria do nível de drenagem predominante nos solos estudados. "Apesar de uma grande quantidade de inter-relações complexas nos solos, correlações com o I.S. têm sido relatadas com diferenças visíveis de M.O.. Apesar dos muitos fatores que contribuem à espessura do horizonte A, em solos arenosos e bem drenados, este parâmetro normalmente tem correlação positiva com I.S.. Em solos mal drenados, onde o acúmulo de M.O. é, muitas vezes, indicativo de má drenagem, podem ser observadas correlações inversas desta propriedade com o

I.S.."

Na literatura, foram achados, para condições de drenagem boa (sítios relativamente secos), dois casos de correlação positiva entre I.S. e teor de M.O. no horizonte B (MADER, 1976, e BROWN & LOWENSTEIN, 1978), seis casos de ausência de correlação entre M.O. e qualidade de sítio (SHOULDERS & WALKER, 1979: 4 equações; MUNN & VIMMERSTEDT, 1980, e TURVEY et al., 1986), e dois casos de correlações negativas (MADER, 1976: M.O. no horizonte A; GREY, 1979a).

Para condições de drenagem bastante variada, foram encontrados dois casos de correlação positiva (SCHLATTER & GERDING, 1984 e SCHÖNAU & ALDWORTH, 1990).

Para sítios de drenagem intermediária, SHOULDERS & WALKER (1979) desenvolveram 3 equações preditivas (para 3 espécies) onde não foi incluído o teor de matéria orgânica, e uma equação onde a M.O. aparece com parâmetro negativo.

Finalmente, para condições de excesso de umidade no perfil do solo, SHOULDERS & WALKER (1979) publicaram 2 equações onde a M.O. tem parâmetro positivo, e uma equação na qual a matéria orgânica não participa. Igualmente em condições superúmidas, HAMILTON & KRAUSE (1985) não encontraram relação entre o teor de M.O. no solo e a qualidade de sítio. Não foram encontrados casos de correlação negativa entre a M.O. no solo e qualidade de sítio em condições de má drenagem.

Em resumo, de acordo com as idéias de RALSTON

(1964), deveríamos ter, em condições de drenagem boa, correlações positivas entre a matéria orgânica do solo e a qualidade de sítio, e, em condições de drenagem restrita, correlações negativas. Embora estas hipóteses pareçam lógicas, não foram confirmadas pelo que se pôde achar na literatura (tabela 3).

Tabela 3: Relação entre a drenagem do perfil e as correlações entre matéria orgânica do solo e qualidade de sítio: número de casos encontrados na literatura.

Correlações M.O. - I.S.	Drenagem		
	Boa	Intermed./ variada	Deficiente
> 0	2	2	2
n.s.	6	3	2
< 0	2	1	0

Em relação a este achado, pode-se dizer que, certamente, piores condições de drenagem não são a única causa possível para uma reduzida decomposição da matéria orgânica. No Brasil, é sabido que grandes acúmulos de matéria orgânica podem ser associados a maiores elevações (BRASIL, 1958), devido, provavelmente, a temperaturas mais baixas.

Certamente, esta parece ser a explicação para os resultados obtidos por GREY (1979a), em condições de boa drenagem. No estudo por ele apresentado, as altitudes

variaram de 1023 m a 1926 m, tiveram correlações negativas com o I.S. ainda mais significativos que as do teor de C orgânico, e eram, segundo o autor, estreitamente relacionados com a temperatura.

SHOULDERS & WALKER (1979) explicam seus resultados (duas correlações positivas em situações de drenagem restrita, e uma negativa com drenagem intermediária) da seguinte maneira: "...provavelmente a matéria orgânica melhorou a estrutura e a aeração de solos superficiais de sítios úmidos"; "em solos com menos de 3 % de matéria orgânica no horizonte A (em situações de drenagem intermediária), as alturas de [...] (*Pinus palustris* Mill.) aumentaram com o decréscimo da matéria orgânica. Visto que a matéria orgânica enaltece grandemente a capacidade de um solo de armazenar água, este relacionamento pode indicar que *P. palustris* nestes sítios não compete bem com o resto da vegetação ou com a evaporação. Isto é, a umidade advinda de chuvas leves de verão ou é usada por outras plantas, ou então evapora."

Evidentemente, seja qual for o resultado obtido, é possível achar uma explicação para tal. Prever resultados neste campo de estudo, por outro lado, parece estar fora do alcance da ciência, pelo menos por enquanto.

2.3.2.4. Frações granulométricas

2.3.2.4.1. Funções das frações granulométricas

TURNER (1984), em um trabalho de revisão e discussão, comenta a respeito das variáveis texturais (relativas ao fracionamento granulométrico) que são mais apropriadas para estudos solo-sítio do que outras variáveis de natureza biológica ou química (tais como presença de micorrizas ou fósforo disponível pelo extrator de Olsen) por serem independentes da influência das árvores. Ele afirmou que, nestes estudos, uma combinação de variáveis de natureza climática com variáveis físicas do solo (dentro das quais estão as variáveis texturais) parece geralmente ser a mais crítica, refletindo a disponibilidade de água para as árvores.

A hipótese da importância das frações texturais para a disponibilidade de água é confirmada no importante trabalho de JAMISON & KROTH (1958). Estes autores estudaram o efeito de cada fração textural sobre a retenção de água disponível às plantas, ou Capacidade de Água Disponível às plantas (CAD). Eles encontraram que:

- a areia (2 a 0,05 mm de diâmetro) tinha efeitos sempre negativos sobre a CAD.
- a argila (<0,002 mm) tinha efeitos geralmente negativos sobre a CAD.
- o silte grosso (0,05 a 0,02 mm) foi o que melhor se

correlacionou com a CAD.

- o silte fino (0,02 a 0,002 mm) teve um efeito intermediário entre o silte grosso e a argila.

Citando os autores: "A partir de considerações teóricas, a ordem de CAD das frações granulométricas deveria ser silte grosso > silte fino > argila > areia fina > areia grossa".

"Um incremento no teor de argila em um solo barro siltoso reduzirá o armazenamento pela diluição da massa do solo com argila e pelo preenchimento dos espaços entre as partículas de silte com partículas menores que retêm uma maior parte da água armazenada na faixa não-disponível. Para solos arenosos com baixa percentagem de silte um aumento de argila deveria aumentar a CAD".

Como já foi mencionado, estes resultados foram de certo modo reproduzidos numa análise de regressão múltipla feita com dados publicados por BARROS (1974), cujos resultados estão na tabela 4.

Porém a retenção de água disponível pelo solo não é o único fator de crescimento importante influenciado pela textura do solo. Segundo RALSTON (1964), "se observada ao longo da faixa inteira de tipos de textura e de argila, a resposta do crescimento é curvilínea, aumentando em função do suprimento de umidade à medida que as frações "finas" aumentam até o ponto em que o espaço de ar se torna limitante, onde um incremento adicional de argila resulta

em uma taxa de crescimento reduzida".

Tabela 4: Resultados da regressão múltipla "passo-a-passo, para a frente", realizada com dados publicados por BARROS (1974), usando como variável dependente "água disponível".

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	5,672				
Silte	0,507	1	0,6571	0,6571	0,0001
Areia	-0,076	2	0,0691	0,7262	0,0002
Mat. org.	0,293	3	0,0517	0,7779	0,0004
Argila	-0,022	4	0,0041	0,7821	0,2953

Obs: Nº de observações = 64.

"Estim.ª coef.reg." é a estimativa do coeficiente no modelo final, incluindo todas as variáveis não rejeitadas.

"R² do modelo" corresponde ao modelo intermediário, obtido no passo indicado.

"Prob>F" é a significância na aceitação da variável admitida.

As hipóteses da disponibilidade de água e a aeração são provavelmente as mais citadas para explicar os efeitos das frações granulométricas sobre o crescimento das árvores. Assim mesmo, muitos são os casos encontrados na literatura que parecem contradizer estas hipóteses, ou pelo menos indicar a presença de outros fatores envolvidos (tabela 4 e 5: relações encontradas em SHOULDERS & WALKER, 1979).

Em alguns casos é levantada a possibilidade de uma variação na proporção das frações granulométricas estar influenciando alguma propriedade química do solo. No estudo

de WHITE (1958), foi determinado de maneira conclusiva que, em um solo arenoso (Hinckley coarse sand) do vale superior do rio Hudson, um aumento no crescimento de *Pinus resinosa* era devido à profundidade menor, e maior espessura, de uma camada de textura mais fina (areia fina siltosa). O autor determinou que o material desta camada tem CAD cerca de 3 vezes maior do que o material que se encontra acima e abaixo. Também contém mais K disponível do que o resto do solo (onde o baixo teor do elemento é fator limitante ao crescimento). Como o solo tem drenagem excessiva, não se pode concluir se o efeito da camada mais fina é devido à sua maior retenção de água, seu conteúdo maior de K, ou, e o que seria mais provável, aos dois.

Não foi encontrada na literatura um caso de um efeito positivo de argila sobre o crescimento ser atribuído à maior retenção de nutrientes por esta fração. Isto se deve provavelmente ao fato de que "CTC" geralmente é uma variável medida em estudos solo-sítio; se realmente a argila tivesse o efeito supracitado, a variável que entraria primeiro, em uma regressão múltipla "passo a passo, para a frente" seria "CTC", e não "argila".

SHÖNAU & ALDWORTH (1990) sugeriram outra explicação para o efeito de uma fração granulométrica. Em seu estudo solo-sítio, envolvendo *Acacia mearnsii*, no Leste da África do Sul, eles encontraram que maiores teores de areia grossa no horizonte B21 favoreciam o desenvolvimento

(o I.S.) da espécie. A explicação por eles proposta foi que a areia grossa favorecia a friabilidade do subsolo, facilitando assim a penetração pelas raízes. Com efeito, a resistência que o solo apresenta à penetração pelas raízes é um fator importante para o ser crescimento. TACKETT & PEARSON (1964) mostraram, em um experimento de laboratório, que um solo de difícil penetração (medida pela sua densidade global), exige para um desenvolvimento comparável do sistema radicular, um teor de O_2 muito mais alto na atmosfera do solo.

2.3.2.4.2. Interações

É provável que muitas vezes os efeitos das frações granulométricas sobre o desenvolvimento das árvores não sejam "simples", mas dependentes dos níveis de outras variáveis. Em outras palavras, haveria interação entre os efeitos das frações texturais e as de outras variáveis sobre o crescimento.

Por exemplo, HUTCHEON & RENNIE (1960), estudando a relação entre estresse hídrico e disponibilidade de nutrientes em plantas de trigo, encontraram "um decréscimo altamente significativo na disponibilidade de fósforo do solo para a planta na medida em que se acentuaram as condições de falta de água". Em outras palavras, a disponibilidade de P depende não só dos níveis de P, mas da tensão da água no solo. Como a disponibilidade da água não

raro depende dos componentes texturais do solo, é legítimo pensar que estes poderiam interagir com o teor de P disponível.

COOLING & JONES (1970) relataram casos de correlações entre a disponibilidade de boro e a porcentagem de silte no solo. Isto significa provavelmente interações entre os efeitos da porcentagem de silte e do teor de B no solo sobre o crescimento.

GREY (1989), em uma revisão sobre os requerimentos de sítio de *Pinus radiata*, citou Joubert (1965): "foi encontrado que a influência de um conteúdo crescente de argila era mais importante em áreas planas do que em áreas declivosas na África do Sul". Trata-se portanto de uma interação declividade-teor de argila.

Também é possível que o efeito de certas frações granulométricas, devido às suas diferentes capacidades de reter água, interaja com a profundidade do solo, de maneira semelhante ao que acontece com "precipitação anual", na figura 2.1.

2.3.2.4.3. Estratificação com base em textura

A estratificação das observações de acordo com a textura do solo pode ser uma solução interessante quando interações do tipo descrito acima são detectadas ou suspeitadas. A perda em graus de liberdade no resíduo pode ser compensada pela redução na significância de interações

que, de outro modo, iriam mascarar os efeitos das variáveis simples.

A estratificação é, às vezes, adotada quando diferenças texturais muito marcantes estão presentes nos dados. É o caso em ALBAN (1974), onde o efeito de camadas de textura mais fina sobre o desenvolvimento do raizame era tão marcante que estas camadas foram usadas como critério de estratificação dos dados. CARMEAN (1965) estratificou seus dados pela textura do subsolo devido à relação evidente que havia entre este fator e a drenagem dos perfis.

2.3.2.4.4. A textura na classificação e no mapeamento de solos

A classificação de solos é uma forma de estratificação com fins gerais não especificados, mas que poderiam incluir a previsão do crescimento de árvores. As classificações muitas vezes usam algum critério textural: o teor de argila no horizonte B, ou o "perfil textural".

SCHÖNAU & FITZPATRICK (1981) trazem informações a respeito do sistema de classificação usado na África do Sul. Nesse sistema, a textura, representada pela porcentagem de argila, é usada para diferenciar entre séries de solos. Também é usado a este nível o fracionamento da areia. Estes dois critérios foram usados para atribuir categorias de rendimento potencial para as

diferentes séries de solo, devido à relação entre a textura do solo e sua capacidade de retenção de água disponível às plantas.

O perfil textural, ou o gradiente de textura é o principal critério para se distinguir entre solos podzólicos e latossolos, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Este critério nem sempre é útil para se distinguir entre classes de produtividade. TURVEY et al. (1990) estudaram 181 sítios distribuídos pelo Sul da Austrália e Tasmânia, que foram separados em grupos de acordo com vários critérios. A utilidade de cada critério para a previsão do I.S. de *Pinus radiata* foi estudada através de análises de variância. Um dos critérios estudados foi o "perfil textural" (orgânico, uniforme arenoso, uniforme médio, uniforme fino, com transição gradual, e com transição abrupta). Este foi o único critério avaliado com valor F não significativo ao nível de 5 %.

Para fins de mapeamento, e devido a problemas de escala, as séries de solo podem ser agrupadas em "unidades de mapeamento", de acordo com um ou outro critério. As unidades de mapeamento em 3 municípios do Norte de Minnesota (E.U.A.) foram definidos usando como critérios, além da declividade e do regime hídrico dos solos, a textura do solo superficial (ESU & GRIGAL, 1979). Estes autores estudaram a utilidade das unidades de mapeamento

para separar áreas diferentes em termos de I.S. e área basal de *Populus tremuloides*. A avaliação foi feita através de testes F, e foram usados mais de 140 sítios por município. As análises revelaram que as unidades de mapeamento sustentavam povoamentos cuja área basal, mas não o I.S., eram significativamente diferentes. As áreas basais não foram ajustadas para a densidade dos povoamentos, nem para sua idade. Sendo o I.S. uma variável bem mais confiável do que a área basal para caracterizar a qualidade de um local (CLUTTER et al., 1984), este resultado indica que as unidades de mapeamento (e os critérios usados para defini-los) não foram úteis para a previsão do crescimento.

2.3.2.4.5. Alguns resultados

Nas tabelas 5 e 6 estão apresentados alguns resultados da literatura com respeito ao uso de variáveis granulométricas para a previsão do crescimento de árvores. Por motivos de espaço, nem todos os resultados achados foram incluídos. Na seleção destes resultados, procurou-se dar prioridade aos mais representativos, e também aqueles que, aparentemente, contradizem as hipóteses vigentes sobre o papel dos componentes texturais no crescimento das plantas. Os casos onde estas variáveis foram medidas, mas finalmente não apresentaram correlação com as variáveis de crescimento, e nem foram usadas nas regressões, também foram considerados importantes. Em alguns trabalhos

(SCHÖNAU & ALDWORTH, 1990 e SHOUDERS & WALKER, 1979) foram encontrados efeitos opostos de frações granulométricas, segundo eram estes da superfície ou da subsuperfície. Por este motivo (entre outros), foram elaboradas tabelas separadas para resultados dos horizontes superficiais e subsuperficiais.

Tabela 5 - Efeitos de componentes texturais dos horizontes superficiais sobre o I.S..

Frações texturais	$\bar{x}$	CV	Min	Max	Coef. corr.	coef. reg.	Ref	Drenagem / Espécie
Areia gr.@	8	80	0	33	-0,19	-0,39	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia gr.\$			0	10		0,38	(2)	V / <i>P. radiata</i>
Areia gr.\$			10	100		-0,14	(2)	V / <i>P. radiata</i>
Areia md.@	19	74	0	57			(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia fn.@	28	33	12	61	-	-	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia tt.@	55	31	22	88	-	-	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia	74	9	58	92	-0,44	-	(3)	B?/ <i>P. radiata</i>
Areia			7	72		2,06	(4)	R/ <i>P. elliottii</i>
Areia			7	72		-0,40	(4)	R / <i>P. taeda</i>
Areia			16	93		-	(4)	M / 3 espécies
Areia #			16	45		-0,01	(4)	M/ <i>P. echinata</i>
Areia #			4	93		-0,18	(4)	M/ <i>P. echinata</i>
Areia			71	94	-	-	(4)	B / 4 espécies
Silte	49	14*			-	-	(5)	B?/várias esp.
Silte @	12	58	2	30	-	-	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Silte #			19	73		2,09	(4)	R/ <i>P. elliottii</i>
Silte #			19	73		-0,42	(4)	R / <i>P. taeda</i>
Silte			2	66	-	-	(4)	M / 4 espécies
Silte			4	22	-	-1,76	(4)	B/ <i>P. palustris</i>
Argila	17	8*			0,42	-	(5)	B?/várias esp.
Argila @	33	41	10	59			(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Argila \$			0	10		0,65	(2)	V / <i>P. radiata</i>
Argila \$			10	60		0,12	(2)	V / <i>P. radiata</i>
Argila	7	43	0	15	-	-	(3)	B?/ <i>P. radiata</i>
Argila #			5	35	-	2,20	(4)	R/ <i>P. elliottii</i>

Tabela 6 - Efeitos de componentes texturais dos horizontes subsuperficiais sobre o I.S..

Frações texturais	$\bar{x}$	CV	Min	Max	Coef. corr.	coef. reg.	Ref	Drenagem / Espécie
Areia gr.@	7	73	0	25	-0,16	0,43	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia md.@	14	89	0	57	-0,15	0,24	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia fn.@	26	34	11	61	-	-	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia tt.@	48	36	12	91	-	-	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Areia #			8	45	-	0,20	(4)	R/ <i>P. taeda</i>
Areia #			45	88	-	-0,23	(4)	R / <i>P. taeda</i>
Areia			8	88	-	-	(4)	R / 2 espécies
Areia f#			5	63	-	0,22	(4)	M/ <i>P. echinata</i>
Areia f#			63	90	-	-0,11	(4)	M/ <i>P. echinata</i>
Areia			64	96	-	-	(4)	B / 4 espécies
Silte @	10	48	2	22	-	-	(1)	B/ <i>A. mearnsii</i>
Silte #			20	50	-	0,003	(6)	R/ <i>Q. velutina</i>
Silte			9	73	-	-	(4)	R / 3 espécies
Silte			2	56	-	-	(4)	M / 4 espécies
Silte			2	24	-	-	(4)	B / 4 espécies
Silte			1	20	-	2,30	(4)	B/P. <i>palustris</i>
Silte + argila	63	17	39	88	-	-	(7)	B?/ <i>P. patula</i>
Argila @	43	34	7	72	-	-	(1)	B / <i>A. mearnsii</i>
Argila	46	23	23	68	-	-	(7)	B? / <i>P. patula</i>
Argila #			4	20	-	0,23	(4)	R/P. <i>palustris</i>
Argila #			20	56	-	-0,30	(4)	R/P. <i>palustris</i>
Argila			4	56	-	-	(4)	R / 2 espécies
Argila #			6	60	-	-0,13	(4)	M/P. <i>elliottii</i>
Argila #			6	60	-	-	(4)	M/P. <i>elliottii</i>
Argila			1	44	-	-0,57	(4)	B/P. <i>palustris</i>

Observações: ver a página seguinte.

Obs: @ : Os coeficientes de correlação e os parâmetros de regressão não correspondem a todos os dados para os quais aparecem as médias, CV, e valores mínimo e máximo.

\$: Parâmetros estimados a partir de gráficos.

: Aproximações lineares de relações quadráticas, cúbicas e inversas.

* : Estes não são CVs: são apresentados na forma: 17 + ou - 8, 49 + ou - 14.

£ : Outras duas espécies tiveram comportamento similar.

Referências:(1): SCHÖNAU & ALDWORTH (1990);

(2): SCHLATTER & GERDING (1984);

(3): TURVEY et al. (1986);

(4): SHOULDERS & WALKER (1979);

(5): BROWN & LOWENSTEIN (1978);

(6): CARMEAN (1965);

(7): GREY (1979a).

Drenagem: B: Boa;

M: Média;

R: Ruim;

V: Variada.

2.3.2.5. pH, cálcio, alumínio, acidez potencial, saturação por bases e CTC

Como são intimamente interligadas, a consideração destas variáveis de maneira conjunta permite formar uma idéia melhor das relações que as envolvem.

Esta interligação pode ser vista em BROWN & LOWENSTEIN (1978), por exemplo. Neste estudo, o índice de sítio (I.S.) de diversas coníferas se correlaciona positivamente com a variável "Ca" (cálcio). Isto poderia indicar uma resposta positiva ao pH, ou à saturação por bases, ou aos teores de outros nutrientes além do Ca. Porém, o I.S. responde positivamente, também, à acidez potencial, enquanto que não há resposta nem ao pH, e nem à saturação por bases. A correlação com a CTC é positiva, e

tudo leva a crer que esta relação é que explica as outras.

A razão exatamente desta correlação com a CTC, nesse estudo, está aberta a especulações. O I.S. também apresenta correlações positivas (embora mais fracas) com o teor de matéria orgânica e com a porcentagem de argila, o que pode ser uma indicação da solução.

Outro exemplo pode ser visto em TURNER & HOLMES (1985), que, estudando *Pinus radiata* em New South Wales, Austrália, encontraram que o teor de Ca, o pH, e o teor de Al, na superfície do solo, eram significativamente correlacionados entre si. Os teores de Ca, plotados contra o volume de madeira, permitiram separar as parcelas em dois grupos. Para cada grupo, foi desenvolvida uma equação preditiva baseada apenas no teor de Ca. Citando os autores: "quando as propriedades químicas do solo são usadas, e nenhum nutriente é limitante por si só, podem ser de grande importância elementos correlacionados com uma série de outros elementos e/ou relacionados com o grau de desenvolvimento do solo. Neste estudo, esse elemento seria o cálcio trocável".

As correlações entre o pH e o desenvolvimento das árvores, quando existem, são geralmente positivas. Este foi o caso nos estudos de MCCOLL (1969), MADER (1976), e SCHÖNAU & ALDWORTH (1990) (neste último estudo, a correlação positiva foi com "saturação por bases"). Nestes trabalhos a relação positiva foi entre a qualidade de sítio

e o pH de horizontes sub-superficiais. TURNER & HOLMES (1985) encontraram uma relação positiva entre qualidade de sítio e o pH do horizonte superficial.

O pH tem, por vezes, correlação negativa com a qualidade de sítio. GREY (1979a) encontrou uma correlação negativa entre o pH do horizonte A e diversos índices de crescimento de *Pinus patula*, na África do Sul. SCHÖNAU & ALDWORTH (1990), trabalhando em toda a região Leste do mesmo país, relataram uma correlação negativa entre a saturação por bases do horizonte A e o I.S. de *Acacia mearnsii*.

Estes últimos autores postularam que uma saturação por bases inferior no horizonte A estaria ligada a um índice pluviométrico mais alto, o qual teria favorecido as árvores.

Em certos casos, o pH (ou a saturação por bases) não afeta as árvores, enquanto que a CTC tem efeito positivo. Este parece ser o caso em ALBAN (1974) e, como já foi explicitado, em BROWN & LOWENSTEIN (1978).

As propriedades pH, teor de Ca, Acidez potencial, Alumínio, Saturação por bases (V%), e CTC, geralmente associadas ao grau de lixiviação do solo, podem, em certos casos, ser substituídas por variáveis de relevo nas equações preditivas. No trabalho de MCCOLL (1969), fica evidente como uma seqüência topográfica está associada com um gradiente de lixiviação. Esse gradiente determina por

sua vez a ocupação dos sítios por espécies de eucaliptos que seguem um gradiente de tolerância a este estresse ambiental.

De maneira semelhante, GREY (1979a) obteve coeficientes de correlação significativas entre Ca e pH, por um lado, e I.S. de *Pinus patula*, por outro (como já foi mencionado). Estas duas variáveis químicas não aparecem nas equações de previsão publicadas pelo autor. Pode-se pensar que estão sendo substituídos por outras variáveis que, elas sim, aparecem, tais como material de origem, distância da linha divisora de águas, declividade, e "unidade de superfície geomórfica". Esta última é uma variável criada pelo autor.

Ao se considerar a influência das variáveis químicas discutidas, não se pode perder de vista a importância do genótipo das árvores que estão sendo influenciadas.

No trabalho de McCOLL (1969), este fator aparece claramente: diferentes espécies foram estudadas, em um ensaio em casa de vegetação, sendo que algumas foram mais prejudicadas pelo estado lixiviado do solo onde foram plantadas do que outras. A mais prejudicada foi *Eucalyptus saligna*, que, segundo FLORENCE (1984), é geneticamente próxima de *E. grandis*, sendo as duas do grupo "eastern blue gum". A menos prejudicada foi *E. gummiifera*.

Esta última espécie foi estudada por MULLETTE et

al. (1974) e MULLETTE (1975). Eles encontraram que, contrariamente às teorias aceitas para a maioria das plantas, *E. gummifera* responde melhor a fosfatos de Al e Fe insolúveis do que ao P solúvel. Esta espécie também se desenvolve melhor com 1 ppm de $Al_2(SO_4)_3$ na solução nutritiva do que com 0 ou 0,5 ppm.

ANDERSON & LADIGES (1978) encontraram um caso de comportamento diferenciado entre procedências de uma mesma espécie, em relação ao pH do solo. No referido estudo, plântulas de *Eucalyptus obliqua* oriundas de populações de solos ácidos (pH = 5,3), neutras (pH = 6,2 a 7,5) e básicas (pH = 8) tiveram um crescimento diferenciado quando plantadas em solos neutros a básicos. As plântulas oriundas de solos ácidos manifestaram com maior frequência clorose em solos de alto pH, talvez devido a uma intoxicação por P. Altos níveis de Ca e um pH moderadamente alcalino possivelmente aumentaram a disponibilidade de P, e diminuíram a disponibilidade de Fe, ou então o P absorvido inativou o Fe absorvido dentro das plantas.

Com respeito a *E. grandis*, NEVES et al. (1982) compararam os efeitos de diferentes métodos de calagem sobre mudas desta e de duas outras espécies de eucaliptos. A terra usada foi coletada de um solo altamente imtemperizado, um latossolo sob cerrado com alta saturação por Al^{3+} . Foram comparadas: calagem no vaso inteiro, e calagem apenas no quinto superior do vaso. Não houve

diferença significativa entre os pesos da matéria seca das partes aéreas colhidas aos 60 dias. Os autores observaram que a distribuição de raízes pelo vaso era mais uniforme nos vasos onde a calagem havia sido realizada apenas no quinto superior.

Alguns resultados a respeito de pH, Al, Ca e eucaliptos estão relacionados na tabela 7. Nesta tabela, o único caso de resposta positiva significativa à calagem ocorreu com um teor de alumínio no solo bem mais alto que nos demais.

2.3.2.6. Potássio

De acordo com TISDALE et al. (1985), a disponibilidade do potássio para as plantas depende da presença de outros cátions. A "razão de atividade":

$$AR_e^K = \frac{\text{atividade de K}}{\sqrt{\text{atividade de Ca e Mg}}} = \frac{(a_K)}{\sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}}}$$

de uma solução em equilíbrio com um solo tem fornecido uma estimativa satisfatória da disponibilidade do potássio (TISDALE et al., 1985, p252), demonstrando a importância do Ca e do Mg. Em solos muito ácidos, o alumínio pode ser importante, e em solos alcalinos ou salinos, o sódio também pode exercer uma influência.

Os mesmos autores afirmam porém (p 268), que a "razão de atividade" nem sempre se correlaciona com as medições de potássio absorvido pelas plantas. Além disto,

Tabela 7: Experimentos envolvendo calagem: alguns resultados.

pH (CaCl ₂)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Solo	Resposta à calagem	Idade na avaliação	Espécie	Expto / Fonte
5,5	1,2	2,4*	?	n.s.	3 meses	<i>E. dunni</i>	(1)
3,9	1,45	0,17	?	n.s. ou <0 ?	8,5 anos	<i>E. grandis</i>	De Kaap (2)
4,5	0,63	2,24	Oxissol (4)	n.s. (p/ DAP)	5 anos	<i>E. grandis</i>	"C13" (3)
4,2	2,63	1,36	Oxissol (4)	>0 **	4,25 anos	<i>E. grandis</i>	"C17" (3)
4,8	-	0,15*	LV, fase arenosa	n.s.	5 anos	<i>E. grandis</i>	(5)
4,2	0,89	4,8	Entissol (4)	signif. p/ falhas	8,25 anos	<i>E. grandis</i>	"C10" (3)
5,7	?	4,11 Tr.#	"Cerrado vermelho arenoso"	n.s	1,25 anos	<i>E. saligna</i>	(6)

*Teor de Ca + Mg.

Teor de Mg ("Tr" = traços); o calcário foi aplicado apenas uma semana antes do plantio.

(1) LISBÃO (1980).

(2) HERBERT et al. (1982). Este trabalho não descreve propriamente um teste do efeito de calcário, e sim dois ensaios adjacentes, um dos quais com calcário e o outro sem.

(3) WRI (ou ICFR) report for 1979-1980 (33 rd. year) Oct. 1980.

(4) SCHÖNAU (1981).

(5) MELLO et al. (1970).

(6) KNUDSON et al. (1967).

é bastante difícil determinar as atividades de íons na solução do solo. Por estes motivos, é comum considerar-se as quantidades absolutas de potássio no solo.

A fórmula do teor mínimo adequado de potássio

trocável para milho utilizada no estado de Ohio (TISDALE et al. p262):

$$K_{troc} = 0,372 + (0,00846 \times CTC) \text{ (meq/100 cm}^3\text{)}^1$$

reflete a importância de se considerar tanto o teor absoluto de K trocável quanto a presença de outros cátions (representados conjuntamente pelo CTC). A equação indica que o menor teor aceitável para milho é de 0,372 meq/100 cm³ em Ohio.

Segundo RAIJ (1991, cap.11), o comportamento do potássio em solos tropicais parece ser bem mais simples do que em solos temperados, devido à quase inexistência nos primeiros de potássio "não-trocável", ou "fixado", característico de certas argilas 2:1.

Por este motivo, entre outros, o parâmetro de disponibilidade de potássio no Brasil tem sido quase sempre o potássio trocável. Os resultados de diversos trabalhos apresentados por RAIJ (1991) evidenciam que, para teores de potássio trocável no solo iguais, as respostas à adubação potássica por diferentes culturas são muito semelhantes. Assim, o teor de potássio trocável correspondente a 70 % da produção máxima varia desde 0,04 a 0,11 meq/100 cm³. Os teores resultantes em uma produção relativa de 90 % variam

¹

A equação original foi transformada de lb/A para meq/100 cm³, considerando uma profundidade de aração de 6,66 pol. ou 16,933 cm (ver TISDALE et al., 1985, p270).

de 0,09 a 0,21 meq/100 cm³, e aqueles correspondentes a 100 % da produção relativa giram em torno de 0,25 meq/100 cm³, para a maioria das culturas.

Ao mesmo tempo, a variação dessas respostas em torno da média é alta. Isto vem sublinhar as observações feitas tanto por TISDALE et al. (1985) quanto por RAIJ (1991), de que diversos fatores não diretamente ligados ao potássio no solo afetam sua disponibilidade às plantas.

Com efeito, o principal mecanismo de deslocamento do potássio até as raízes das plantas é a difusão, a qual é afetada pela temperatura e pelo teor de água do solo.

Os fatores que afetam a absorção do potássio pelas raízes e o crescimento destas também devem ser levados em conta: aeração do solo, presença de elementos tóxicos (Al ou Mn), temperatura, resistência do solo à penetração.

Alguns resultados obtidos em ensaios de adubação de *E. grandis* e *saligna* podem ser apreciados na tabela 8.

Várias são as observações que podem ser feitas a partir desta tabela. Uma seria que, apesar dos teores de potássio trocável estarem muitas vezes abaixo dos níveis correspondentes a 70 % da produção relativa em diversas culturas (0,04 a 0,11 meq/100 cm³: ver acima), citados por RAIJ (1991), os eucaliptos não respondem na maioria dos casos à adubação potássica. Outra observação é que a

resposta não demonstra correlação com os teores de K trocável determinados no solo. Com efeito, no experimento C 19, os teores de K trocável (0,03 meq/100 g no horizonte A), são os mais baixos, mas não há resposta. Por outro lado, há resposta positiva no experimento C 10, justamente onde o teor de K trocável (1,02 meq/100 g) é de longe o mais alto. HERBERT (1990) propõe que as altas taxas P/K nas folhas das árvores desse experimento podem explicar este resultado.

Tabela 8 - Potássio trocável no solo versus resposta à adubação com potássio em alguns ensaios na África do Sul.

K troc. (meq/ 100 cm ³)	Classif. do solo (USDA)	Resposta a K / dose ideal de K por árvore	Idade na avaliação	Espécie / (Experimen- to)	Referência
A:1,02 B:1,04	Ust- orthent	>0 12,5 g	4 anos	<i>E. grandis</i> (C 10)	HERBERT (1991)
A:0,1 B:0,05	Haplustox	n.s. 0 g	4 anos	<i>E. grandis</i> (C 13)	HERBERT (1991)
A:0,21 B:0,13	Haplustox	n.s. 0 g	4 anos	<i>E. grandis</i> (C 17)	HERBERT (1991)
A:0,03 B:0,013	Quartzzi- psamment	n.s. 0 g	4 anos	<i>E. grandis</i> (C 19)	HERBERT (1991)
A:0,113 B:0,07	Haplustox	n.s. 0 g	4 anos	<i>E. grandis</i> (C 25)	HERBERT (1991)
A:0,11 B:0,05	Haplhumox	>0*	4 anos	<i>E. grandis</i> (C 29)	HERBERT (1991)
0,07	LV, text. argilosa	>0@	6,5 anos	<i>E. saligna</i> (vale do Jequi- tinhonha)	BARROS et al. (1984)
A: 0,05 B: 0,04	LV, fase arenosa	n.s.	5 anos	<i>E. saligna</i> (Mogi Guaçu)	MELLO et al. (1970)
A: 0,04 B: 0,08	"Cerrado vermelho arenoso"	n.s.	1,25 anos	<i>E. saligna</i> (Minas Ge- rais)	KNUDSON et al. (1970)

*: foi significativo apenas na ausência de adubo fosforado.

@: foi significativo apenas na presença de adubo fosforado.

2.3.2.7. Fósforo

A introdução do método da resina trocadora de íons para uso rotineiro na determinação do P disponível no estado de São Paulo deu-se em 1983. RAIJ, pesquisador ao

qual em grande parte se deve a adoção deste método, publicou critérios de interpretação para os resultados, aplicáveis a diversas culturas (tabela 9, extraído de RAIJ, 1991, p 98).

Tabela 9 - Limites de classes de teores de fósforo no solo no estado de São Paulo.

Interpretação do nível de fósforo	Produção relativa (%)	P extraído por resina (mg/dm ³)
Muito baixo	0 - 69	0 - 6
Baixo	70 - 89	7 - 15
Médio	90 - 99	16 - 40
Alto	100	41 - 80
Muito alto	100	> 80

GONÇALVES (1990) é um dos poucos autores que relacionam o desenvolvimento de *Eucalyptus* (*E. grandis* e *saligna*) com o teor de P no solo extraído pelo método da resina. Este autor encontrou que esta foi uma das variáveis de solo com melhor relação com a qualidade de sítio. Os resultados por ele apresentados apontam para um efeito positivo do fósforo, sendo teores entre 10 e 24 ppm mais favoráveis ao crescimento das árvores do que teores em torno de 1,6 e 2,1 ppm.

De acordo com RAIJ (1991), "existe uma variedade muito grande de métodos de extração de P de solos em uso em diferentes regiões do mundo, o que não deixa de ser um

reflexo da complexidade do comportamento do elemento, bem como da falta de concordância sobre o que seria o método mais adequado".

Aparentemente, diferentes métodos se prestam melhor para diferentes solos. Outro fator na escolha do método é que este deveria simular a extração de P pela cultura. É provável que diferentes culturas tenham entre si variações quanto à forma e à eficiência da extração. Alguns fatores envolvidos podem ser: efeito das raízes sobre o pH do solo adjacente, exsudações orgânicas destas, e associações com micorrizas. MULLETTE et al. (1974) e MULLETTE (1975) apresentam resultados que apontam a meios de absorção de fósforo pouco comuns por *Eucalyptus gummifera*.

Em um experimento, ficou evidenciado que a absorção de P solúvel em água por esta espécie era melhor na presença de 1 ppm de Al, como $Al_4(SO_4)_3$. Outro experimento indicou um efeito prejudicial de 0,5 ppm de H_2PO_4 , na solução sobre a sobrevivência das plantas, as quais tinham desenvolvimento máximo na presença de P insolúvel, na forma de fosfatos de Fe e Al, como já foi mencionado.

Um problema com o uso de amostras de solo para se avaliar a disponibilidade de P surge no caso de haverem sido feitas anteriormente adubações localizadas com P. Diversos autores mencionam o fósforo como sendo um elemento

praticamente imóvel no solo. Segundo TISDALE et al. (1985), "distâncias típicas de difusão de nutrientes até a raiz são: N - 1 cm, P - 0,02 cm, K - 0,2 cm." Os autores não mencionam em quanto tempo esses nutrientes se deslocariam essas distâncias. Segundo SMECK (1972), há considerável redistribuição de P no solo, mas somente quando se considera lapsos de tempo suficientes para a formação de solos. KHASAWNEH et al. (1974) estudaram a redistribuição de P no solo semanas após sua aplicação na forma do íon ortofosfato. Encontraram uma queda linear no teor de P extraível, à medida que aumentava a distância do ponto de aplicação do adubo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. A área do ensaio

Foram aproveitados para este estudo três ensaios clonais instalados no extremo Sul da Bahia.

3.1.1. Localização

A região dos ensaios abrange de modo geral a área entre as latitudes $17^{\circ} 30'$ e $18^{\circ} 15'$ Sul, e entre as longitudes $39^{\circ} 15'$ e $40^{\circ} 00'$ Oeste. A distância do mar está entre 15 e 30 km (figura 12).

3.1.2. Clima

De acordo com a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA, 1977), a região do extremo sul da Bahia pode ser dividida em três subáreas uniformes quanto ao clima, de acordo com a classificação de Koppen (figura 5).

Figura 5 - O clima na região de estudo, de acordo com a classificação de KOPPEN (Fonte: EMBRAPA, 1977).

- Aw corresponde a um clima quente com temperatura do mês mais frio superior a 18°C . O verão é chuvoso e o inverno é seco.

- Am é um clima tropical chuvoso, de monção. O inverno é seco com o mês menos chuvoso acusando precipitação inferior a 60 mm. O mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C .

- Af corresponde a um clima quente cujo mês mais frio tem temperatura média superior a 18°C . O mês mais seco tem precipitação igual ou superior a 60 mm.

Alguns outros parâmetros climáticos podem ser vistos na figura 6.

Escala gráfica:

Temperatura média anual (°C) Precipitação (mm) Umidade relativa (%)

Figura 6 - Temperaturas médias anuais (°C), precipitação média anual (mm), e índice de umidade na região extremo-Sul da Bahia (Fonte: EMBRAPA, 1977).

De acordo com a EMBRAPA (1977): "o índice de umidade foi determinado em conformidade com o que foi estabelecido por Thornthwaite, sendo que a capacidade de campo foi estabelecida para 125 mm.

O índice de umidade ou índice hídrico se constitui num valor abstrato representativo de um processo de contabilização da água em que a precipitação representa a forma de abastecimento e a evapotranspiração indica a perda sofrida."

3.1.3. Geologia

Sempre de acordo com a EMBRAPA (1977), há no extremo Sul da Bahia três áreas, em termos geológicos. Estes agrupamentos geológicos são:

- O Pré-cambriano indiviso, o qual não nos interessa diretamente, por não afetar a área de estudos (figura 7),

A área do Terciário, e

A área do Holoceno (figura 7).

Esta última área compreende "extensões aluvionares que se encontram nos vales do rios Inhambupe, Pardo, Jequitinhonha, Jucuruçu, e outros. Na zona cacauieira ocorrem extensos lençóis de areia conglomerática na base, gradando para areia mais fina e rica em matéria orgânica no topo, sobrepostos à formação Barreiras. Cordões litorâneos e arenitos de praia remanescentes de praias antigas consolidadas ocorrem na desembocadura de alguns rios. Em Caravelas, a faixa torna-se mais ampla."

O Terciário, representado pela formação Barreiras, é a formação mais importante na área de estudos, segundo EMBRAPA (1977). "Esta formação capeia parte das bacias do Tucano, do Recôncavo e do substrato cristalino, estendendo-se até o sul do estado, cobrindo toda a área de Belmonte a Santa Cruz Cabrália."

Figura 7 - Esboço geológico da região de estudo (Fonte: EMBRAPA, 1977).

"Tanto em litologia quanto em espessura existem grandes diversificações. Seus sedimentos apresentam cores creme, amareladas, avermelhadas, brancas e arroxeadas; a formação é constituída por camadas arenosas e argilosas por vezes conglomeráticas. A espessura é variável, atingindo por vezes 100 metros."

"Sedimentos cenozóicos indiferenciados, de caráter aluvionar, comuns sobre o substrato cristalino têm sido mapeados como correlatos à Formação Barreiras."

Em alguns pontos onde a geologia foi registrada pela equipe de trabalho do SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DO SOLO (SNLCS), (EMBRAPA, 1977) e que correspondem aproximadamente à área do Terciário mostrado no mapa, foram constatados os minerais biotita,

hornblenda, microclina, plagioclásios, granada, e a rocha gnaíse.

3.1.4. Relevo

As zonas dos diversos tipos de relevo da região correspondem, no geral, às zonas geológicas (figura 8).

Figura 8 - Esboço de relevo da região de estudo. (Fonte: EMBRAPA, 1977).

Citando a EMBRAPA (1977): A Baixada Litorânea "corresponde aos terrenos recentes do Holoceno (planícies litorâneas de origens fluviais, flúvio-marinhos e marinhos) que compreendem os níveis continentais mais inferiores da orla marítima, por vezes penetrando vários quilômetros para o interior através dos terraços fluviais dos baixos cursos de alguns rios principais."

"Os Tabuleiros Costeiros correspondem aos

baixos platôs costeiros do Terciário e coberturas sobre o Pré-Cambriano. São superfícies tabulares, recortados por vales relativamente profundos que guardam certo paralelismo entre si ."

"Estão relacionados com sedimentos de estratificação predominantemente horizontal da Formação Barreiras (Terciário), que se estendem pela faixa costeira com largura variável e decréscimo de espessura à medida que se afasta do litoral. Por vezes, nota-se apenas uma cobertura de material argilo-arenoso sobre o Pré-Cambriano."

"Ao Sul do rio Jequitinhonha (paralelo de 16 °), os tabuleiros vão se alargando, chegando a atingir cerca de 130 km ao sul do rio Itanhém, onde dominam quase toda a paisagem até o limite com Minas Gerais e Espírito Santo."

"O relevo predominante nestas áreas é plano e suave ondulado. Nas áreas onde o dissecamento é grande, a topografia chega a ondulada e até mesmo a forte ondulada. Predominam altitudes entre 20 e 30 metros. Sobre os tabuleiros destacam-se os solos das classes Latossol Vermelho Amarelo Distrófico coeso e, em segundo plano, Podzólico Vermelho Amarelo Tb com e sem fragipan. Encontram-se pequenas áreas de Podzol e Areias Quartzosas Distróficas."

3.1.5. Vegetação original

De acordo com a EMBRAPA (1977), esta era constituída principalmente de florestas subperenifólias e ocasionalmente subcaducifólias nas regiões de clima Aw e Am, enquanto que ao leste, na região de maior precipitação, predominava a floresta perenifólia. Na baixada litorânea, ocorriam florestas e campos de restinga (incluindo mangues).

3.1.6. Solos

O levantamento dos solos da área efetuado em 1963-1973 pela equipe do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos (SNLCS), (EMBRAPA, 1977), foi feito ao nível "exploratório-reconhecimento". Assim, o trabalho apresentado é adequado como guia geral a respeito dos tipos de solos que podem ser encontrados na região, não podendo ser usado para fins de planejamento.

Pelo mapa de solos do SNLCS (EMBRAPA, 1977) (figura 9) observa-se que as associações de solos correspondentes aos locais experimentais são como segue:

- local "006/88": associações PV20 ou LVd37.
- local "004/88": associações PV20 ou PV2.
- local "3034": associações PV2 ou LVd37.

Estas associações são:

PV20: Associação Podzólico Vermelho Amarelo abruptico + Podzólico Vermelho Amarelo abruptico com fragipan Tb A

moderado textura arenosa/argilosa + Podzol A proeminente e moderado, textura arenosa, fase floresta perenifólia e relevo plano a suave ondulado.

Figura 9 - Mapa de solos do SNLCS (EMBRAPA, 1977), mostrando os locais experimentais deste estudo (+). (Fonte: EMBRAPA, 1977).

PV2: Associação Podzólico Vermelho Amarelo + Podzólico Vermelho Amarelo equivalente eutrófico Tb A moderado, textura média/argilosa, fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado e ondulado.

LVd37: Associação Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso textura argilosa e média argilosa + Podzólico

Vermelho Amarelo Tb textura média/argilosa, A moderado, fase floresta subperenifólia, relevo plano e suave ondulado.

3.2. O ensaio clonal

3.2.1. Material genético testado

O experimento constou de um total de 49 clones representativos principalmente da espécie *Eucalyptus grandis* Hill(Maiden), incluindo as procedências: Rio Claro e Zimbabwe (Rodésia).

3.2.1. O delineamento experimental

O delineamento usado foi de blocos incompletos em látice, 7 por 7, com 3 repetições, Y, Z e X, situadas lado a lado. Foram três ensaios, situados cada um em um local diferente, conhecidos pelo código do projeto de reflorestamento correspondente. Foram estes locais: "006/88", situado para o Norte, na latitude 17° 30' e longitude 39° 28', "004/88", situado no centro da área estudada (latitude 17° 59', longitude 39° 39'), e "3034", no Sul, na latitude 18° 10' e longitude 39° 54', praticamente na divisa da Bahia com o Espírito Santo (figura 9).

A figura 10 mostra a disposição dos três ensaios.

A alocação das parcelas dentro das

repetições "Y", "Z" e "X" foi feita conforme o delineamento em látice; a disposição das parcelas e das repetições foi idêntica em todos os locais.

As parcelas eram quadradas, constituídas de 25 árvores plantadas, sendo que apenas as 9 árvores centrais foram medidas, ficando as 16 restantes como bordadura.

LOCAIS:

"006/88"

"004/88"

"3034"

Repetições:

Figura 10 - Esquema do ensaio.

3.2.3. Instalação do ensaio

No local "006/88" (Lat. $17^{\circ}30'$, Long. $39^{\circ}28'30''$), onde a vegetação anterior era a denominada "macega", o preparo do terreno foi feito com encoivaramento, destoca, grade niveladora, grade aradora com discos de 32 cm de diâmetro, balizamento e coveamento manual. O espaçamento usado foi de 3 x 3 m. Foram aplicados por planta 100 g de NPK 6:30:6 na cova. Aos 45 dias após o plantio, foram aplicados 350 kg/ha de FAPS (Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado). A instalação do ensaio no

local "006/88" foi completada no 26 de Abril de 1989.

O local "004/88" (Lat. $17^{\circ}59'$, Long. $39^{\circ}39'$) era, antes da instalação deste ensaio, ocupado por pasto. Nesta foi feita uma destoca, e limpeza por meios químicos, seguidas de preparo do solo com grade aradora com discos de 32 cm de diâmetro, grade niveladora, e coveamento manual. O espaçamento e a adubação foram os mesmos que no local "006/88", com a exceção de que apenas 150 kg/ha de FAPS foram aplicados, ao invés de 350. Foi feita neste local irrigação antes, durante, e após a instalação, a qual foi terminada no dia 19 de Abril de 1989.

No local "3034" (Lat. $18^{\circ}10'$, Long. $39^{\circ}54'$), a vegetação anterior ao ensaio era constituída de eucaliptos. Para a instalação do experimento, foi retirada a galhada produzida pela exploração, foi usado Tordon para a eliminação das cepas, foi passado uma grade niveladora, e foi feito um coveamento manual. O espaçamento foi de $2,73 \times 2,73$ m. A adubação foi idêntica àquela feita no local "006/88". A instalação do ensaio neste local foi concluída no dia 5 de Junho de 1989.

3.2.4. Medições

Foram efetuadas medições com 1,5 anos e com 2 anos e 9 meses de idade, respectivamente em Novembro de 1990 e Janeiro de 1992.

Na primeira medição foi registrada a altura

de cada uma das 9 árvores centrais de cada parcela, assim como um fator de forma (notas de 1 a 5). Na segunda medição, as mesmas observações foram registradas, acrescidas do CAP (circunferência à altura do peito).

3.3. Procedimentos do estudo solo-sítio

3.3.1. Os clones usados

O critério de seleção foi, utilizando-se das medições dos ensaios com 1,5 anos de idade, escolher clones de desempenho promissor, variável e fraco. Posteriormente foi constatado que havia entre esses 10 clones duas procedências: Rio Claro (SP), e Zimbabwe (antiga Rodésia). De acordo com FERREIRA (1993)¹, o material de Rio Claro é predominantemente de *Eucalyptus grandis*, possivelmente combinado com uma ou mais outras espécies. O material de Zimbabwe é *Eucalyptus grandis*, talvez com alguma hibridação com *Eucalyptus botryoides*. Os clones foram:

¹ FERREIRA, M.G. (Deptº de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, SP) Comunicação pessoal, 1993.

Clone	Procedência	Desempenho aos 1,5 anos
6	Rio Claro	promissor
57	Rio Claro	promissor
271	Rio Claro	promissor
517	Rio Claro	médio a fraco
805	Rio Claro	promissor a médio
987	Rio Claro	médio a fraco
1018	Zimbabwe	promissor
1030	Zimbabwe	médio a fraco
1255	Zimbabwe	fraco
2219	Rio Claro	fraco

3.3.2. Descrição dos solos

Em cada local foram abertas entre duas e três trincheiras as quais foram descritas, e das quais algumas amostras foram retiradas visando posterior identificação das cores e determinação de densidade global. Os resultados destas descrições e determinações estão resumidas nas tabelas no Anexo 1.

Com base nas descrições, os solos dos locais experimentais foram classificados como segue:

- "006/88": Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico A moderado.
- "004/88": na maior parte da área, Podzólico Vermelho Amarelo textura Arenosa/média, transição abrupta, (provavelmente) álico; em parte da repetição Y, Podzol

hidromórfico (conhecido localmente como "mussununga").

- "3034": Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média.

3.3.3. Coleta das amostras de solo

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito do solo e do clima sobre o desenvolvimento dos clones, visando em particular explicar quaisquer interações genótipo-ambiente observadas. Para este fim era desejável obter uma caracterização de solo que pudesse ser associada individualmente com cada parcela experimental.

JONSSON et alii (1988), em um experimento instalado em um solo franco-arenoso, na Tanzânia, encontraram que *Eucalyptus camaldulensis* e *E. tereticornis*, aos 2 anos de idade, tinham uma distribuição vertical de raízes finas praticamente uniforme até 1 m de profundidade, enquanto que *Cassia siamea*, *Prosopis chilensis*, e *Leucaena leucocephala* (o último com 6 anos de idade), apresentavam quantidades decrescentes de raízes finas até 80 cm de profundidade.

Com base nestes resultados, foi decidido colher amostras até 1 m de profundidade. Julgou-se que cada amostra não deveria representar uma camada de mais de 20 cm de espessura, para facilitar a interpretação dos resultados obtidos. Por outro lado, teria sido muito oneroso analisar amostras correspondentes a cinco camadas de solo. Assim, foi decidido coletar amostras correspondentes às camadas 0

a 20 cm, 40 a 60 cm, e 80 a 100 cm de profundidade.

De modo a melhor representar cada parcela (de 15 m por 15 m), as amostras foram compostas de três subamostras, correspondentes a três tradagens, situadas na parcela conforme a figura 11.

Figura 11 - Esquema de uma parcela experimental, mostrando as posições das árvores e dos pontos amostrados.

Em certos casos onde, a partir do caderno de campo, foi possível notar uma variabilidade no solo acima da média, voltou-se ao campo de modo a efetuar mais duas tradagens. O resultado das duas tradagens extras foi misturado com as amostras já retiradas na proporção 2:3.

As tradagens foram feitas com um trado de caneco. O ponto tradado foi sempre o centro do quadrado formado pelas 4 árvores em volta.

A cada tradagem foram anotadas a profundidade do horizonte A (determinada aproximadamente pelo resultado das tradagens), a profundidade em que foi observado um aumento de resistência à tradagem, e a profundidade em que foram observados mosqueamentos. No caso

em que não fosse feita nenhuma dessas observações até 1 m de profundidade, continuou-se tradando até 1,40 m, no máximo, o que correspondia ao comprimento do trado. Também foi anotada a presença de pedras no perfil, com a profundidade correspondente, e quaisquer outras informações que pareciam relevantes.

As amostras foram tomadas da seguinte forma em cada parcela: a amostra da primeira tradagem de 0 a 20 cm foi despejada em cima de uma folha de plástico grande. Esse material foi homogeneizado manualmente, após o quê foi retirada uma quantidade sempre aproximadamente igual, usando as mãos como medidas, a qual foi introduzida em um saquinho etiquetado. O produto da tradagem de 20 a 40 cm de profundidade foi descartado. Com o material resultante da tradagem de 40 a 60 cm de profundidade, procedeu-se da mesma forma que com a amostra de 0 a 20 cm (tendo sido previamente limpa a folha de plástico usada para a homogeneização). O caneco do trado também foi limpo de qualquer material aderente antes de entrar na camada de 40 a 60 cm.

O produto da tradagem de 60 a 80 cm foi descartado, o caneco foi novamente limpo, e o produto da tradagem de 80 a 100 cm homogeneizado e amostrado com as mãos.

Os três saquinhos correspondentes às três profundidades amostradas foram mantidos abertos de modo a

receberem as amostras oriundas das outras duas tradagens. Assim, de cada parcela obteve-se três amostras compostas, correspondentes cada uma a três subamostras de uma profundidade específica. Como já foi dito, em certos casos, foram feitas mais duas tradagens, de modo que, nessas parcelas, as amostras são o resultado de cinco subamostras.

Desta maneira foram obtidas:

$3(\text{locais}) \times 3(\text{repetições}) \times 10(\text{clones}) \times 3(\text{profundidades}) = 270 \text{ amostras.}$

Estas amostras foram conservadas úmidas, em sacos de plástico bem fechadas, por pelo menos 3 meses antes de serem analisadas. A amostragem foi realizada em Janeiro de 1991.

3.3.4. Coleta dos dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos em sete postos meteorológicos situados próximo das áreas de estudo, como mostra a figura 12.

O período relevante começa com a instalação do experimento, em Abril de 1989, e termina com a segunda medição deste, em Janeiro de 1992.

Os dados, pluviométricos e termométricos diários, foram condensados para permitir o cálculo do balanço hídrico, de 5 em 5 dias, pelo método de THORNTHWAITE & MATHER (1957).

Figura 12 - Localização dos postos meteorológicos na área experimental.

3.3.5. Processamento dos dados climáticos

O cômputo do balanço hídrico foi realizado por meio de um programa apropriado: "BHIDRICO" (DOURADO NETO & JONG van LIER, 1991). O programa exige a definição de diversos parâmetros:

* O grupo da cultura: Foi usado o grupo 4, correspondente às culturas mais resistentes ao déficit hídrico.

* A profundidade de solo Z_e para o qual é feito o cálculo, no início e no final do período. Foi usado, como profundidade inicial, 0,50 m, e como profundidade final (aos 2 anos e 8 meses), 1,0 m. O programa interpola estes valores, para estágios intermediários, segundo a seguinte fórmula:

$$Z_{ed} = Z_{e_{inicial}} + (Z_{e_{max}} - Z_{e_{inicial}}) \cdot (d/DM)^F \quad (\text{quando } d < DM)$$

onde: Z_{ed} = profundidade do sistema radicular no dia d após o plantio;

$Z_{e_{max}}$ = profundidade máxima do sistema radicular;

d = dia para o qual está sendo feito o cálculo;

DM = nº de dias após o plantio em que $Z_{e_{max}}$ é atingida.

F = fator de forma de crescimento do sistema radicular (foi usado $F = 0,1$).

* O valor do coeficiente de cultura, " K_c ", que é a relação entre o volume de água perdido, em condições ideais (sem déficit hídrico), por uma plantação de *Eucalyptus grandis* e o volume de água perdido, também em condições ideais, por um terreno integralmente coberto por grama batatais. O K_c é exigido para o início e para o final do período.

Como valores de K_c para *Eucalyptus grandis* não constam na literatura, foram usadas arbitrariamente, para o valor inicial, 0,3, e como valor aos 2 anos e 8

meses, 1,1. Estes valores correspondem aproximadamente àqueles usados para culturas de citros. A interpolação destes valores pelo programa é linear.

* A CAD, ou Capacidade de Água Disponível, para as diversas camadas do solo. A obtenção da CAD é morosa e cara. Como este estudo visava desenvolver técnicas aplicáveis em larga escala, foi julgado interessante restringir-se às análises mais rotineiras. Para poder efetuar o balanço hídrico, foi usada uma CAD de 10 %, para todos os solos, de modo que os resultados de déficit e excedente obtidos têm valor comparativo dentro deste estudo, não podendo ser comparados àqueles obtidos em outros trabalhos científicos.

* O armazenamento inicial do solo. Os cálculos foram feitos a partir do 1º de janeiro de 1989, usando um armazenamento inicial de 0 mm. Foi observado que em todos os casos, o solo ficava saturado em algum dia antes da data de plantio, ou seja, antes do final de abril.

Foram levantados para cada ano e para cada posto os dados de temperatura máxima média do mês mais quente, temperatura média do mês mais quente, temperatura mínima absoluta, temperatura média do mês mais frio, e temperatura mínima média do mês mais frio.

Para cada posto foram tabeladas as médias termométricas, por ano, e também os totais de precipitação, déficit hídrico, e excedente hídrico.

3.3.6. Análises físicas

Entre as amostras de solo colhidas, apenas aquelas correspondentes à profundidade 0 - 20 cm foram todas analisadas fisicamente, por ser esta camada a mais relevante, tendo em vista a idade das árvores. Das profundidades 40 a 60 cm e 80 a 100 cm, algumas amostras foram analisadas para auxiliar na classificação dos solos.

As análises físicas consistiram na determinação do teor de argila e silte pelo método do densímetro, na determinação da areia grossa (diâmetros entre 2,00 e 0,25 mm) por peneiragem e pesagem, e na determinação da areia fina (com diâmetros entre 0,25 e 0,05 mm) por diferença em relação ao peso total da amostra. A fração com mais de 2 mm de diâmetro foi descartada. Todos os resultados foram expressos em porcentagem do total.

3.3.7. Análises químicas

Estas foram efetuadas, nos meses de abril e maio de 1991, no laboratório da Indústria Mineradora Pagliato Ltda. Foram do tipo "análise para fertilidade", com resultados expressos em termos do volume de terra fina seca ao ar. Consistiram em:

- Ph em CaCl_2 a 0,01 M,
- matéria orgânica dada em porcentagem, equivalendo a g/100 cm^3 de terra, pelo método da oxidação por $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (método colorimétrico), de acordo com QUAGGIO & RAIJ (1979).

- enxofre, em mg/dm^3 ,
- fósforo, pelo método da resina (saturado com ions bicarbonato), em mg/dm^3 .
- potássio, cálcio, magnésio, extraídos com resina catiônica, em miliequivalentes/100 cm^3 ,
- acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), determinada potenciométricamente pela solução tampão SMP, em miliequivalentes/100 cm^3 ,
- soma de bases e capacidade de troca de cátions (CTC), todos expressos em miliequivalentes/100 cm^3 ,
- saturação por bases (V%, ou $100.S/CTC$), K%, Mg%, e Ca%, todos expressos como porcentagem da capacidade de troca de cátions.

3.3.8. Análises estatísticas

A digitação dos dados foi feita no programa LOTUS 1-2-3, e todas as análises foram efetuadas no programa SAS (Statistical Analysis System).

As análises estatísticas realizadas foram:

1) Estatísticas simples: foram registrados os valores mínimo, médio e máximo, além do coeficiente de variação, para todas as variáveis, separadamente para cada local.

Estas estatísticas foram igualmente calculadas para cada clone, para as variáveis referentes às árvores.

2) Análises de variância: As variáveis silviculturais foram

submetidas a análises de variância de acordo com o modelo apresentado na tabela 10, após terem sido analisadas para verificação de não-aditividade de efeitos de clones e locais, de homoscedasticidade quando agrupadas por clone e por repetições dentro de locais.

A normalidade dos resíduos resultantes desta análise de variância também foi verificada.

Tabela 10 - Modelo para a análise da variância das variáveis dendrométricas.

F.V.	g.l.
Locais (L)	2
Repetições/Locais (R/L)	6
Clones (C)	9
Locais x Clones (L x C)	18
Resíduo	54
TOTAL	89

Foram igualmente efetuadas análises de variância de acordo com o modelo da tabela 11.

As variáveis de solo também foram submetidas aos mesmos testes que as variáveis silviculturais, de modo a verificar seu preenchimento dos requisitos da análise de variância. Como muitas variáveis se mostraram aquém do desejável nestes testes, foram submetidas a transformações de modo a tentar corrigir as tendências indesejáveis. Foram estas transformações, supondo uma variável "x": $\log(x)$, $\sqrt{x}$,

$\arcsen(\sqrt{x})$, x^2 , $1/x$, $1/(\sqrt{x})$, $1/(x^2)$. Não foi possível encontrar uma transformação bem sucedida em todos os casos. As variáveis de solo foram analisadas de acordo com o modelo da tabela 12.

Tabela 11 - Modelo para a análise da variância das variáveis dendrométricas, levando em conta a divisão dos clones em procedências.

C.V.	g.l.
Locais (L)	2
Repetições/Locais (R/L)	6
Procedências (P)	1
Clones/Procedências (C/P)	8
Locais x Procedências (L x P)	2
Locais x clones/Procedências (L x C/P)	16
Resíduo	54
TOTAL	89

Tabela 12 - Modelo para a análise das variáveis de solo.

F.V.	g.l.
Locais (L)	2
Repetições/Locais (R/L)	6
Resíduo	81
TOTAL	89

3) Matrizes de coeficientes de correlação: Foi obtida uma matriz de coeficientes de correlação de Pearson, junto com

as significâncias desses coeficientes, entre todas as variáveis coletadas. Esta matriz não foi influenciada entre os resultados por ser excessivamente grande.

Foram tabelados apenas os coeficientes de correlação significativos a 5 % entre as variáveis de solo e três variáveis de crescimento.

Também foram tabelados coeficientes de correlação significativos a 5 % entre as variáveis de solo e a variável "altura máxima aos 2,7 anos", separadamente para cada local.

Finalmente, os coeficientes de correlação entre as variáveis silviculturais foram registrados.

4) Regressões multivariadas pelo método "Passo a passo, para a frente" : foram feitas regressões "gerais", aonde entraram todas as observações, usando como variáveis dependentes "altura máxima aos 1,5 anos", "altura máxima aos 2,7 anos", "volume aos 2,7 anos" e "altura máxima corrigida para o efeito de clones aos 2,7 anos" (ver abaixo), e usando todas as variáveis independentes.

Outras regressões realizadas tiveram como variáveis dependentes "altura máxima aos 2,7 anos", e "altura máxima corrigida (para o efeito de clones) aos 2,7 anos", e usaram separadamente como variáveis "independentes" as variáveis "granulométricas", as variáveis "químicas", e as variáveis das diferentes profundidades (0 a 20 cm, 40 a 60 cm, e 80 a 100 cm).

Foram feitas também regressões separadamente para cada local, usando como variável dependente "altura máxima aos 2,7 anos", e como variáveis independentes todas as variáveis de solo. Os modelos resultantes não têm, evidentemente, valor preditivo, visto a desproporção entre o número de observações (igual a 30) e o número de variáveis (que são 40).

As variáveis dependentes analisadas foram:

- num_arv, e num_arv2: o número de árvores em cada parcela, nas idades 1 ano e 6 meses, e 2 anos e 9 meses. Esta variável agrega os efeitos da sobrevivência das árvores e das bifurcações que nelas podem ocorrer.
- alttot, e alttot2: a soma das alturas das árvores presentes em cada parcela, nas duas idades referidas.
- altmax e altmax2: a altura da árvore mais alta na parcela, nas duas idades referidas.
- altura máxima corrigida aos 2,7 anos: corresponde à variável "altmax2", mas sem o efeito de cada clone. Esta variável permite esclarecer o efeito do solo sobre todos os genótipos em conjunto. Para obtê-la, foram obtidos os resíduos, para cada observação, no modelo:

$\text{Altmax2} = \text{média geral} + \text{efeito dos clones} + \text{resíduo}.$

Subtraído o efeito dos clones, obteve-se:

$\text{Altmax2 corrigido} = \text{média geral} + \text{resíduo}.$

- arbas: a área basal total das árvores na parcela, na idade de 2 anos e 8 a 9 meses. Para cada observação, o

cálculo foi feito por:

$$arbas = \sum_{i=1}^n \frac{(CAP_i)^2}{4\pi}$$

onde:

CAP_i = circunferência na altura do peito da árvore i , com
 $arbas$ = área basal da parcela, $i=1$ a n .

n = número de árvores da parcela (= 9 - falhas).

- volume: o volume total das árvores na parcela, na idade de 2 anos e 9 meses. Para cada observação, o cálculo foi feito por:

$$VOLUME = \sum_{i=1}^n \frac{(CAP_i)^2 \times ALTURA_i \times FF_i \times 10}{4\pi}$$

onde

CAP_i = circunferência na altura do peito da árvore i ,

$altura_i$ = altura da árvore i ,

FF_i = fator de forma da árvore i ($i=1$ a n).

n = número de árvores da parcela (=9 - falhas).

As variáveis independentes analisadas foram:

- Prof_A: a profundidade do horizonte A, obtida pelo exame do resultado das tradagens.

- Ph1, Ph2, e Ph3: o Ph em $CaCl_2$, de amostras obtidas das profundidades 0 a 20 cm, 40 a 60 cm, e 80 a 100 cm.

- M01, M02, e M03: o teor de matéria orgânica, em %, das três profundidades acima referidas.
- S041, S042, e S043: os teores de enxofre, em mg/cm², nas três profundidades.
- P1, P2, e P3: os teores de fósforo, em mg/dm³, nas três profundidades mencionadas.
- K1, K2, e K3: os teores de potássio, em meq/100 cm³.
- Ca1, Ca2, e Ca3: os teores de cálcio, em meq/100 cm³.
- Mg1, Mg2, e Mg3: os teores de magnésio, em meq/100 cm³.
- Acpot1, Acpot2, e Acpot3: a acidez potencial (ou H + Al), em meq/100 cm³.
- S1, S2, e S3: a soma de bases (= Ca + Mg + K), em meq/100 cm³.
- T1, T2, e T3: a capacidade de troca de cátions, em meq/100 cm³.
- V1, V2, e V3: a porcentagem de saturação por bases (= 100S/t).
- K%1, K%2, e K%3: a porcentagem de saturação por potássio.
- Mg%1, Mg%2, e Mg%3: a porcentagem de saturação por magnésio.
- Ca%1, Ca%2, e Ca%3: a porcentagem de saturação por cálcio.
- Argr: a porcentagem de areia grossa (diâmetros entre 2,0 e 0,25 mm) na camada de 0 a 20 cm de profundidade.
- Arfi: a porcentagem de areia fina (diâmetros entre 0,25 e 0,05 mm) na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

- Artot: a porcentagem de areia total ($= Argr + Arfi$) na camada superficial (0 a 20 cm de profundidade).
- Silte: a porcentagem de silte (diâmetros entre 0,05 e 0,002 mm) na camada superficial.
- Argila: a porcentagem de argila (diâmetros inferiores a 0,002 mm) na camada superficial.
- Mosq: a profundidade até mosqueamentos, observados nos resultados das tradagens. Esta variável somente existe para o local "3034", pois nos outros dois locais não foram observados mosqueamentos, de modo geral.
- Aden: a profundidade até um "adensamento", ou um aumento no esforço da tradagem. Esta variável foi substituída no local "3034" por "mosq", já que neste local o esforço de se tradar era quase sempre grande em todo o perfil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Significado e valor relativo das variáveis relacionadas com as árvores

Estas variáveis foram: aos 1,5 anos de idade, "nº de árvores", "altura total", (a soma das alturas das árvores de cada parcela), e "altura máxima", igual à maior altura encontrada em cada parcela. Aos 2 anos e 8 a 9 meses (2,7 anos), as variáveis foram: "nº de árvores", "altura total", "altura máxima", "altura máxima corrigida", "área basal", e "volume".

Os resultados das análises de variância de "nº de árvores", com 1,5 e 2,7 anos de idade (tabelas 12 e 13) revelam que esta variável foi pouco influenciado pelo local aos 1,5 anos ($\alpha = 0,13$); aos 2,7 anos, o efeito foi maior, sendo significativa a 5 %. O efeito do material genético ("clone"), é sempre altíssimo, e não há interação local-clone.

A matriz de coeficientes de correlação "geral" (com todas as variáveis versus todas as variáveis: não foi incluída nos resultados) indica que "nº de árvores" é uma das variáveis com menos relação com as variáveis de

solo. Aos 1,5 anos, não há correlação significativa observada, enquanto que aos 2,7 anos, há relações significativas apenas com "areia grossa" e "areia fina" (mas não com "areia total").

Tabela 12 - Anovas: efeitos dos locais, das repetições dentro de cada local, dos clones, e da interação local-clone sobre algumas variáveis dendrométricas. Dados de probabilidade de erro na rejeição da hipótese nula e Cvs.

* F. de V. Variável *	locais	repet. (local)	clones	local X clone	CV
Volume (2,7 anos)	<0,01	0,81	<0,01	0,19	20
Ár. basal (2,7 anos)	<0,01	0,92	<0,01	0,59	14
Alt. max. (2,7 anos)	<0,01	0,10	<0,01	0,78	6
Nº árvores (2,7 anos)	0,01	0,62	<0,01	0,24	10
Alt. max. (1,5 anos)	<0,01	0,25	<0,01	0,49	8
Nº árvores (1,5 anos)	0,13	0,10	<0,01	0,32	9

Estas observações sugerem que "nº de árvores" é uma variável que depende pouco do sítio, pelo menos no início, sendo determinado mais por fatores biológicos: o próprio genótipo da planta (como demonstram as tabelas 12 e 13), além, provavelmente, da ocorrência de pragas e doenças e do cuidado ato do plantio. Estas

ocorrências são, para o efeito deste estudo, de natureza aleatória.

Tabela 13 - Anovas: efeitos dos locais, das repetições dentro dos locais, das procedências, dos clones dentro de cada procedência, e das interações local*procedência e local*clone dentro das procedências sobre diversas variáveis dendrométricas. Dados de probabilidade de erro na rejeição da hipótese nula e Cvs.

* F. de V. * * * Variável *	Local	Repet. (local)	Proc.	Clones (Proc.)	local X Proc.	local X clone (proc.)	CV
Volume (2,7 anos)	<0,01	0,85	0,41	<0,01	0,27	0,18	20
Ár. basal (2,7 anos)	<0,01	0,92	0,03	<0,01	0,28	0,63	14
Alt. max. (2,7 anos)	<0,01	0,07	0,74	<0,01	0,37	0,79	6
Nº árvores (2,7 anos)	0,01	0,64	0,06	<0,01	0,12	0,34	10
Alt. max. (1,5 anos)	<0,01	0,26	0,09	<0,01	0,93	0,38	8
Nº árvores (1,5 anos)	0,12	0,09	0,22	<0,01	0,09	0,47	9

Em relação às outras variáveis dendrométricas, a tabela 14 mostra que "nº de árvores" é altamente correlacionado, aos 1,5 anos, com "altura total", mas não se correlaciona com "altura máxima". Aos 2,7 anos, há uma correlação boa de "nº de árvores" com quase todas as outras variáveis dendrométricas, exceto "altura máxima" (com "volume" a correlação não chega a ser significativa

aos 5 %).

Tabela 14 - Coeficientes de correlação entre variáveis dendrométricas; probabilidade $> R$ para $H_0: R_{\rho} = 0$.

	Volume 2,7 anos	Alt. max. 2,7 anos	Nº árv. 2,7 anos	Alt. max. 1,5 anos	Nº árv. 1,5 anos
Alt.max. 2,7 anos	0,648 0,0001				
Nº árv. 2,7 anos	0,192 0,070	0,088 0,411			
Ár. bas. 2,7 anos	0,867 0,0001	0,638 0,0001	0,420 0,0001	0,739 0,0001	0,272 0,009
Alt.max. 1,5 anos	0,708 0,0001	0,657 0,0001	0,131 0,218		
Nº árv. 1,5 anos	0,094 0,379	-0,006 0,955	0,753 0,0001	0,112 0,294	
Alt.tot. 1,5 anos	0,647 0,0001	0,572 0,0001	0,412 0,0001	0,906 0,0001	0,454 0,0001

Obs: Alt.max. = Altura da árvore mais alta;
 Nº árv. = Número de árvores na parcela (estande);
 Ár.bas. = Área basal;
 Alt.tot. = Altura total.

Parece lógico afirmar que qualquer variável com alta correlação com o número de árvores também é dependente da ocorrência aleatória de fatores biológicos, e será portanto má indicadora da qualidade de sítio. Tal não é o caso de "altura máxima" que, tanto aos 1,5 anos quanto aos 2,7 anos, apresenta correlações baixas e não significativas com "nº de árvores", ao mesmo tempo em que apresenta (aos 2,5 anos), uma correlação com "volume" apenas superada (e por pouco) por "área basal". É, além

disto, a única variável relacionada com as árvores que tem estas características.

Assim, a melhor opção, em termos das variáveis estudadas, para se avaliar o "sítio", parece ser "altura máxima", um resultado que está plenamente de acordo com a literatura (ver CLUTTER et al., 1983).

Poderia se imaginar para "altura total", aos 1,5 anos, um papel na avaliação do potencial dos clones, já que se trata de uma variável que integra o crescimento com a sobrevivência, mas o coeficiente de correlação de "altura máxima" aos 1,5 anos com "volume" (aos 2,7 anos) é da mesma ordem de grandeza que o de "altura total" com esta variável. Assim, "altura máxima" aos 1,5 anos serve tanto para avaliar o sítio quanto para avaliar o genótipo.

Aos 2,7 anos, a comparação de um genótipo com outro deve ser feita através do volume, evidentemente, já que este dado está disponível a essa idade.

4.2. O esquema de amostragem

Como já foi explicado na parte "material e métodos", este estudo se utilizou de 90 observações, para cada uma das quais foram registradas variáveis de crescimento das árvores, além de variáveis relacionadas com o solo, oriundas da análise física e química deste. Estas observações se dividiram entre 3 localidades distantes entre si de uns 50 km, sendo 30 para cada local. Este

esquema foi julgado o mais promissor com vistas a um dos dois principais objetivos do estudo, que era a identificação de fatores causadores de interações genótipo-ambiente dentro de um ensaio clonal, ou dos motivos por uma ausência de tais interações.

Este objetivo se inseria dentro de um objetivo menos específico, que era determinar os efeitos, em geral, de fatores do meio ambiente sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis*. Pretendia-se determinar principalmente quais fatores estariam limitando o crescimento de indivíduos da espécie na área de estudos (sul da Bahia). Evidentemente, o sucesso no estudo das interações genótipo-ambiente observadas dependeria em boa parte da identificação desses fatores limitantes.

O agrupamento das 90 observações em 3 grupos de 30, estando estas 30 associadas a uma área muito pequena (3625 m², ao máximo), foi porém relativamente pouco eficiente para o estudo geral dos fatores limitantes na área. Como pode ser visto na tabela 15 (que não inclui, por motivos de brevidade, as variáveis "saturação" de Ca, K, e Mg, mas apenas os teores simples destes), os três locais foram significativamente diferentes para muitas das variáveis geradas pela análise das amostras em laboratório. Assim, o uso, em uma única regressão, de todas as observações significa o agrupamento de resultados (como por exemplo de "profundidade do horizonte A") que na verdade se

Tabela 15 - Médias das variáveis de solo para os três locais, significância do efeito dos locais: casos onde o efeito de "local" foi significativo a 5%.

**** Variáveis	Locais ****	004/88	006/88	3034	Prob > F
Prof. do hor. A (cm)		19,5	27,7	18,5	0,0001
Ph 1 *		4,5	5,1	5,1	0,0001
Ph 2 *		4,8	4,5	4,4	0,0001
Ph 3 *		4,6	4,4	4,2	0,0001
Mat org 3 (%)		1,05	0,82	0,57	0,0001
Sulfato 1 (mg/dm ³)		3,66	4,45	2,03	0,0012
Sulfato 3 (mg/dm ³)		24,03	21,25	18,03	0,0033
Fósforo 1 (mg/dm ³)		2,53	3,66	4,60	0,039
K 1 (meq/100 cm ³)		0,029	0,040	0,091	0,0001
K 2 (meq/100 cm ³)		0,030	0,068	0,060	0,0001
Ca 1 (meq/100 cm ³)		1,187	2,307	2,487	0,0001
Ca 3 (meq/100 cm ³)		0,810	0,723	0,367	0,0001
Mg 1 (meq/100 cm ³)		0,137	0,328	0,387	0,0001
Ac.pot.2 (meq/100 cm ³)		3,390	3,200	3,880	0,034
Ac.pot.3 (meq/100 cm ³)		4,063	3,177	3,650	0,0003
S 3 (meq/100 cm ³)		0,997	0,973	0,673	0,0128
CTC 1 (meq/100 cm ³)		4,267	5,186	5,403	0,0001
CTC 2 (meq/100 cm ³)		4,570	4,186	4,983	0,044
CTC 3 (meq/100 cm ³)		5,060	4,150	4,323	0,0099
V 1 (%)		31	51	52	0,0001
V 3 (%)		18,50	22,60	14,83	0,0246
Areia grossa 1 (%)		66	63	57	0,0001
Areia fina 1 (%)		24	21	25	0,0017
Areia total 1 (%)		90	84	82	0,0001
Silte 1 (%)		4	3	5	0,0001
Argila 1 (%)		6	13	13	0,0001

* 1, 2 e 3 correspondem às camadas: 0 a 20 cm, 40 a 60 cm e 80 a 100 cm, respectivamente.

dividem em 3 populações diferentes de dados. As variáveis resposta também se dividem em 3 populações com médias significativamente diferentes (tabela 12 e 13). Como foram usadas 48 variáveis "independentes" nas regressões que usaram todas as variáveis, era natural que a distribuição das médias de algumas destas variáveis, nos 3 locais, espelhasse (direta ou inversamente) a distribuição das médias das variáveis-resposta. Assim, ocorreram diversos casos de variáveis com alto poder "preditivo" do crescimento quando todas as observações foram analisadas conjuntamente, mas com fraco desempenho preditivo quando as observações foram analisadas separadamente local por local. Teria sido mais eficiente, do ponto de vista do estudo das relações entre o sítio e os clones, se a divisão dos pontos amostrados tivesse sido, por exemplo, em 6 grupos de 15.

Como será visto posteriormente, esta não foi a única dificuldade encontrada na determinação dos fatores limitantes ao crescimento na área de estudos.

4.3. Efeitos do solo sobre o desenvolvimento dos clones

4.3.1. Importância das diferentes camadas de solo; diferenças observadas entre 1,5 e 2,7 anos

Ao iniciarmos este estudo, havíamos duas hipóteses sobre as três profundidades amostradas (0 a 20 cm, 40 a 60 cm, e 80 a 100 cm). Uma era que a camada

superficial (0 a 20 cm) haveria de se mostrar mais importante na previsão do crescimento de *Eucalyptus*. Isto porque, devido a problemas de aeração, e de ciclagem de nutrientes, entre outros, as raízes deveriam concentrar-se nesta camada (ver o resultado da descrição de solos em anexo). A outra idéia era que, com o passar do tempo (entre 1,5 anos e 2,7 anos), as camadas mais profundas iriam ganhar importância às custas das camadas superficiais, à medida que o sistema radicular fosse se aprofundando.

Em primeiro lugar, observando-se as tabelas 16 a 20 nota-se que a variabilidade das variáveis "químicas" (a julgar pelos coeficientes de variação) é freqüentemente maior na camada "80 a 100 cm". Isto acontece principalmente nos locais "006/88" e "3034". Existem, é claro, variáveis notoriamente "mais variáveis" (com CV maior) na superfície: o Ph e o sulfato são bons exemplos.

Para julgar a importância das camadas mais superficiais para *Eucalyptus* aos 1,5 anos, dispomos das tabelas 22 e 23. Na tabela 22, nota-se que apenas uma variável "química" da camada 0 a 20 cm (K %) tem correlação significativa com "altura máxima aos 1,5 anos". As outras variáveis "superficiais" com correlação significativa ("Profundidade de A" e as variáveis "granulométricas") não podem realmente ser usadas para avaliar a importância relativa de diferentes camadas, pois só foram determinadas na superfície. As outras camadas têm, respectivamente, 3 e

Tabela 16 - Variáveis de solo no local "004/88".

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Profundidade de A (cm)	11,7	27,0	19,48	21,64
pH 1	3,6	5,3	4,53	9,58
pH 2	4,3	5,4	4,79	5,84
pH 3	4,3	5,1	4,62	4,08
Matéria orgânica 1 (g/cm ³)	1,4	4,2	2,36	29,05
Matéria orgânica 2 (g/cm ³)	0,2	2,5	1,12	43,88
Matéria orgânica 3 (g/cm ³)	0,5	2,4	1,05	49,15
S04 1 (mg/dm ³)	1	14	3,67	102,88
S04 2 (mg/dm ³)	1	31	12,73	57,38
S04 3 (mg/dm ³)	14	48	24,03	34,25
P 1 (mg/dm ³)	1	9	2,53	73,84
P 2 (mg/dm ³)	1	7	1,33	88,81
P 3 (mg/dm ³)	1	5	1,33	69,17
K 1 (meq/100 cm ³)	0,01	0,10	0,03	62,63
K 2 (meq/100 cm ³)	0,01	0,11	0,03	78,92
K 3 (meq/100 cm ³)	0,01	0,16	0,05	75,83
Ca 1 (meq/100 cm ³)	0,1	2,5	1,19	57,57
Ca 2 (meq/100 cm ³)	0,1	3,8	1,03	75,36
Ca 3 (meq/100 cm ³)	0,1	2,7	0,81	83,25
Mg 1 (meq/100 cm ³)	0,1	0,3	0,14	45,00
Mg 2 (meq/100 cm ³)	0,1	0,4	0,13	50,10
Mg 3 (meq/100 cm ³)	0,1	0,4	0,14	61,07
Acidez pot. 1 (meq/100 cm ³)	1,8	7,2	2,93	36,51
Acidez pot. 2 (meq/100 cm ³)	1,0	5,8	3,39	37,53

Obs : Os números "1", "2" e "3" que seguem as variáveis significam "profundidade 0 a 20 cm", "profundidade 40 a 60 cm" e "profundidade 80 a 100 cm".

Tabela 17 - Variáveis de solo no local "004/88" (continuação).

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Acidez pot. 3 (meq/100 cm ³)	2,8	7,2	4,06	28,88
Soma 1 (meq/100 cm ³)	0,2	2,6	1,33	53,23
Soma 2 (meq/100 cm ³)	0,2	4,3	1,18	70,85
Soma 3 (meq/100 cm ³)	0,2	3,2	1,00	78,8
CTC 1 (meq/100 cm ³)	2,5	7,9	4,27	24,38
CTC 2 (meq/100 cm ³)	1,2	9,0	4,57	35,82
CTC 3 (meq/100 cm ³)	3,6	10,4	5,06	33,9
V 1 (%)	6	57	31,07	47,8
V 2 (%)	4	48	25,63	46,28
V 3 (%)	4	36	18,50	50,36
K% 1	0,2	2,2	0,70	59,54
K% 2	0,2	1,4	0,64	50,93
K% 3	0,2	2,8	1,00	60,28
Mg% 1	1,3	7,7	3,29	41,77
Mg% 2	1,8	8,3	3,18	53,06
Mg% 3	1,3	4,6	2,69	32,22
Ca% 1	2,8	54,3	27,45	52,87
Ca% 2	2,0	42,6	22,01	52,95
Ca% 3	1,0	31,8	14,70	60,44
Areia grossa (%)	53	78	66,23	9,92
Areia fina (%)	15	35	23,77	23,3
Areia total (%)	82	95	90,00	2,74
Silte (%)	2	6	4,03	23,91
Argila (%)	2	14	5,97	43,68
Adensamento (cm prof)	39	119	64,6	29,85

Obs : Números "1", "2" e "3" : ver obs. sob tabela 14.

Tabela 18 - Variáveis de solo no local "006/88".

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Prof_A (cm)	20,0	41,7	27,70	21,23
pH 1	4,4	6,0	5,11	7,64
Ph 2	4,1	5,1	4,49	5,11
pH 3	4,0	4,9	4,44	5,9
Matéria orgânica 1 (g/cm ³)	1,6	5,1	2,65	26,21
Matéria orgânica 2 (g/cm ³)	0,4	2,5	1,20	39,88
Matéria orgânica 3 (g/cm ³)	0,2	2,4	0,82	71,86
S04 1 (mg/dm ³)	1	17	4,45	74,46
S04 2 (mg/dm ³)	4	34	13,46	52,96
S04 3 (mg/dm ³)	9	40	21,25	35,44
P 1 (mg/dm ³)	1	9	3,73	57,12
P 2 (mg/dm ³)	1	5	1,6	64,83
P 3 (mg/dm ³)	1	3	1,1	36,6
K 1 (meq/100 cm ³)	0,01	0,10	0,04	47,78
K 2 (meq/100 cm ³)	0,01	0,28	0,07	71,57
K 3 (meq/100 cm ³)	0,01	0,29	0,07	84,02
Ca 1 (meq/100 cm ³)	0,9	4,1	2,30	33,64
Ca 2 (meq/100 cm ³)	0,1	2,5	0,71	66,65
Ca 3 (meq/100 cm ³)	0,1	2,5	0,72	84,19
Mg 1 (meq/100 cm ³)	0,1	0,6	0,35	42,67
Mg 2 (meq/100 cm ³)	0,1	0,5	0,22	47,07
Mg 3 (meq/100 cm ³)	0,1	0,4	0,18	51,38
Acidez pot. 1 (meq/100 cm ³)	1,3	3,8	2,49	26,27
Acidez pot. 2 (meq/100 cm ³)	1,8	5,8	3,11	31,63

Obs : Os números "1", "2" e "3" que seguem as variáveis significam "profundidade 0 a 20 cm", "profundidade 40 a 60 cm" e "profundidade 80 a 100 cm".

Tabela 19 - Variáveis de solo no local "006/88"
(continuação).

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Acidez pot. 3 (meq/100 cm ³)	1,8	6,4	3,18	33,29
Soma 1 (meq/100 cm ³)	1,1	4,5	2,67	31,81
Soma 2 (meq/100 cm ³)	0,2	3,0	1,00	56,95
Soma 3 (meq/100 cm ³)	0,2	3,1	0,97	72,19
CTC 1 (meq/100 cm ³)	3,6	6,4	5,16	15,48
CTC 2 (meq/100 cm ³)	2,9	7,7	4,11	25,02
CTC 3 (meq/100 cm ³)	2,5	9,5	4,15	35,97
V 1 (%)	28	78	51,13	24,94
V 2 (%)	3	44	24,87	47,61
V 3 (%)	4	42	22,60	48,63
K% 1	0,3	2,3	0,82	51,79
K% 2	0,2	7,8	1,81	78,3
K% 3	0,3	7,1	1,63	80,46
Mg% 1	2,0	11,4	6,45	39,08
Mg% 2	1,7	10,0	5,52	47,13
Mg% 3	1,9	10,0	4,17	49,82
Ca% 1	25,0	70,7	43,93	26,54
Ca% 2	1,7	36,8	17,50	53,05
Ca% 3	2,0	36,8	16,53	59,57
Areia grossa (%)	48	76	62,83	11,36
Areia fina (%)	12	34	21,07	24,17
Areia total (%)	72	92	83,90	4,71
Silte (%)	2	5	3,23	31,12
Argila (%)	4	26	12,87	30,39
Adensamento (cm prof)	40	150	73,9	29,94

Obs : Números "1", "2" e "3" : ver obs. sob tabela 16.

Tabela 20 - Variáveis de solo no local "3034".

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Prof_A (cm)	10,5	28,3	18,53	23,75
pH 1	4,5	6,7	5,15	10,42
Ph 2	4,0	6,6	4,35	11,31
Ph 3	3,9	6,0	4,15	9,34
Matéria orgânica 1 (g/cm ³)	1,8	4,0	2,68	22,87
Matéria orgânica 2 (g/cm ³)	0,3	2,8	1,06	46,01
Matéria orgânica 3 (g/cm ³)	0,2	2,4	0,57	78,61
S04 1 (mg/dm ³)	1	7	2,03	85,17
S04 2 (mg/dm ³)	3	20	13,1	35,99
S04 3 (mg/dm ³)	12	31	18,03	23,82
P 1 (mg/dm ³)	1	32	4,6	129,38
P 2 (mg/dm ³)	1	1	1	0
P 3 (mg/dm ³)	1	1	1	0
K 1 (meq/100 cm ³)	0,02	0,26	0,09	49,53
K 2 (meq/100 cm ³)	0,02	0,17	0,06	48,74
K 3 (meq/100 cm ³)	0,02	0,16	0,05	53,03
Ca 1 (meq/100 cm ³)	0,9	7,8	2,49	57,16
Ca 2 (meq/100 cm ³)	0,1	3,3	0,89	79,68
Ca 3 (meq/100 cm ³)	0,1	2,5	0,37	142,23
Mg 1 (meq/100 cm ³)	0,1	1,0	0,39	58,32
Mg 2 (meq/100 cm ³)	0,1	0,4	0,14	55,01
Mg 3 (meq/100 cm ³)	0,1	0,7	0,15	103,8
Acidez pot. 1 (meq/100 cm ³)	1,0	3,4	2,42	24,25
Acidez pot. 2 (meq/100 cm ³)	1,1	6,4	3,88	25,79

Obs : Os números "1", "2" e "3" que seguem as variáveis significam "profundidade 0 a 20 cm", "profundidade 40 a 60 cm" e "profundidade 80 a 100 cm".

Tabela 21 - Variáveis de solo no local "3034"
(continuação).

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Acidez pot. 3 (meq/100 cm ³)	1,3	5,8	3,65	23,43
Soma 1 (meq/100 cm ³)	1,0	8,6	2,98	54,78
Soma 2 (meq/100 cm ³)	0,3	3,6	1,10	69,94
Soma 3 (meq/100 cm ³)	0,2	3,3	0,67	118,49
CTC 1 (meq/100 cm ³)	4,1	9,6	5,4	23,7
CTC 2 (meq/100 cm ³)	3,2	7,6	4,98	18,13
CTC 3 (meq/100 cm ³)	3	8	4,32	22,3
V 1 (%)	23	90	52,4	29,13
V 2 (%)	5	77	22,07	68,98
V 3 (%)	5	63	14,83	102,94
K% 1	0,5	3,6	1,7	41,85
K% 2	0,4	2,9	1,23	48,46
K% 3	0,5	3,8	1,25	51,29
Mg% 1	2,2	13,2	6,86	39,19
Mg% 2	1,7	7,4	2,78	48,05
Mg% 3	1,6	20	3,81	100,54
Ca% 1	20,5	81,3	43,68	30
Ca% 2	1,8	70,2	17,69	80,23
Ca% 3	2,0	48,1	9,52	126,56
Areia grossa (%)	44	67	56,67	9,61
Areia fina (%)	17	33	24,87	17,05
Areia total (%)	71	85	81,53	3,71
Silte (%)	3	7	5,07	20,69
Argila (%)	10	22	13,4	19,36
Mosqueamento (cm prof.)	70	150	105,3	21,1

Obs : Números "1", "2" e "3" : ver obs. sob tabela 18.

2 variáveis com coeficientes significativos.

Na tabela 23, onde figura o modelo desenvolvido para "Altura máxima aos 1,5 anos", são três as variáveis "químicas" de superfície admitidas, duas para a camada 40 a 60 cm, e três, de novo, para a camada 80 a 100 cm.

É verdade que a primeira variável "química" a aparecer na regressão é "potássio da camada 0 a 20 cm", mas como será visto posteriormente, a relação entre o potássio da camada 0 a 20 cm com o crescimento pode ser mais aparente do que real.

Assim, não fica claro, a partir das tabelas 22 e 23, a existência de uma importância maior, aos 1,5 anos, da camada 0 a 20 cm.

Para a idade 2,7 anos, podemos avaliar as correlações com "altura máxima aos 2,7 anos" e "volume aos 2,7 anos" (tabela 22). Nesta tabela, algumas variáveis "químicas" de superfície (SO_4 e $Mg \%$) têm, aos 2,7 anos, uma importância maior do que tinham aos 1,5.

Nas tabelas 24 e 25 (para "altura máxima aos 2,7 anos" e "altura máxima corrigida aos 2,7 anos") porém, as variáveis "químicas" de superfície parecem ter perdido sua importância. A única que aparece é " $K \%$ ", da camada 0 a 20 cm, para a qual vale a restrição feita anteriormente.

Tabela 22 - Coeficientes de correlação de Pearson e significâncias entre variáveis do solo e algumas variáveis dendrométricas.

	Altura máxima aos 1,5 anos		Altura máxima aos 2,7 anos		Volume aos 2,7 anos	
	CC	Prob>R	CC	Prob>R	CC	Prob>R
Silte 1	-0,519	0,0001	-0,391	0,0001	-0,371	0,0003
K% 1	-0,483	0,0001	-0,404	0,0001	-0,552	0,0001
Prof. A	0,454	0,0001	0,192	0,072	0,332	0,002
Mg% 2	0,265	0,012	-0,018	0,870	0,211	0,046
M. org. 2	0,245	0,020	0,299	0,004	0,182	0,087
Ph 3	0,234	0,026	0,234	0,026	0,363	0,0004
P 2	0,225	0,033	0,178	0,094	0,221	0,036
Ar. gr. 1	0,225	0,033	0,181	0,089	0,250	0,017
Ac. pot. 3	-0,219	0,038	-0,034	0,748	-0,153	0,150
Ar. tot. 1	0,222	0,047	0,276	0,008	0,317	0,002
SO ₄ 1	0,205	0,054	0,252	0,017	0,346	0,0009
Mg% 1	-0,107	0,316	-0,230	0,029	-0,234	0,025
Ca% 3	0,150	0,094	0,208	0,049	0,178	0,094
Argila 1	-0,078	0,465	-0,182	0,086	-0,230	0,029

Obs: todos os casos de coeficientes significativos a 5% foram incluídos; estão em negrito.

Finalmente, nas tabelas 26, 27 e 28, com regressões limitando-se a cada uma das três profundidades para a variável dependente "altura máxima aos 2,7 anos", nota-se que o R^2 do modelo final vai se reduzindo, respectivamente, desde o modelo para a camada de 0 a 20 cm até o modelo para a camada 80 a 100 cm. Isto é devido, em

Tabela 23 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 1,5 anos", a partir de todas as variáveis medidas; regressão pelo método "passo-a-passo".

Variável admitida	Variável excluída	Estim.â coef.reg.	Passo	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F
INTERCEÇÃO		8,102				
Silte 1		-0,482	1	0,2694	0,2694	0,0001
Prof. A		0,079	2	0,0908	0,3601	0,0008
Potássio 1		-17,195	3	0,0860	0,4462	0,0005
Ca% 1		0,066	4	0,0695	0,5156	0,0009
Ac. pot. 3		-0,140*	5	0,0309	0,5465	0,0205
Cálcio 1		-0,742	6	0,0231	0,5696	0,0402
Ar. fina 1		0,045	7	0,0230	0,5926	0,0366
Mat. org. 2		1,185	8	0,0158	0,6084	0,0780
Magnésio 3		2,594	9	0,0124	0,6208	0,1144
Mat. org. 3		-1,004	10	0,0141	0,6349	0,0890
	Acidez pot. 3		11	0,0030	0,6319	0,4274
Ac. pot. 2		-0,276	12	0,0145	0,6463	0,0796

Obs: "Estim.â coef.reg." é a estimativa do coeficiente de regressão do modelo final, incluindo todas as variáveis não rejeitadas, exceto quando se indica o contrário.

"R² do modelo" corresponde ao modelo intermediário, obtido no passo indicado.

"Prob>F" é a significância na aceitação da variável admitida.

* Estimativa do coeficiente de regressão no passo 10 antes da variável ser excluída.

parte, à presença de "silte" e "areia fina", determinadas somente na camada 0 a 20 cm.

Na série equivalente (tabelas 29, 30, e 31) para a "altura máxima corrigida aos 2,7 anos, porém, é o

Tabela 24 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos", a partir de todas as variáveis medidas; regressão pelo método "passo-a-passo".

Variável admitida	Variável excluída	Estim.ª coef.reg.	Passo	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F
INTERCEÇÃO		19,093				
K% 1		-0,302*	1	0,1662	0,1662	0,0001
Mat. org. 2		1,152	2	0,0561	0,2223	0,0152
Silte 1		-0,483	3	0,0407	0,2630	0,0341
Ar. fina 1		0,072	4	0,0293	0,2923	0,0672
Ca% 3		0,043	5	0,0276	0,3200	0,0716
Magnésio 3		-3,396	6	0,0305	0,3505	0,0545
	K% 1		7	0,0141	0,3364	0,1887
Potássio 2		-8,128	8	0,0374	0,3738	0,0307
Ac. pot. 2		-0,274	9	0,0246	0,3984	0,0740

Obs: "Estim.ª coef.reg." é a estimativa do coeficiente de regressão do modelo final, incluindo todas as variáveis não rejeitadas.

"R² do modelo" corresponde ao modelo intermediário, obtido no passo indicado.

"Prob>F" é a significância na aceitação da variável admitida.

*: no passo 6, antes da variável ser excluída.

contrário que ocorre, apesar da "vantagem" que leva a camada 0 a 20 cm.

Uma maneira de sintetizar as evidências é agrupá-las por método de análise. Assim, os coeficientes de correlação, vistos em conjunto, parecem indicar um aumento na importância do horizonte superficial (tabela 20). As regressões, por outro lado (tabelas 23 e 24, e também a

Tabela 25 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando todas as variáveis.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(17,6332)				
K % 1	-0,3338	1	0,1577	0,1577	0,0001
P 3	-0,4213	2	0,0557	0,2134	0,0162
Ca 3	0,7000	3	0,0514	0,2648	0,0176
Silte 1	-0,2383	4	0,0269	0,2917	0,0793
Mg 3	-3,1981	5	0,0220	0,3137	0,1085
pH 2	0,6552	6	0,0261	0,3398	0,0772

Tabela 26 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis correspondentes à camada de 0 a 20 cm de profundidade.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(19,314)				
K% 1	-0,475	1	0,1662	0,1662	0,0001
Silte 1	-0,371	2	0,0521	0,2183	0,0188
Areia fin. 1	0,052	3	0,0202	0,2385	0,1371
S04 1	0,075	4	0,0252	0,2637	0,0939

série 26, 27, e 28) apontam para uma diminuição da importância da camada 0 a 20 cm.

Em suma, os resultados apresentados não oferecem uma indicação clara de uma importância maior da

camada 0 a 20 cm, e nem da sua esperada evolução negativa com o tempo. A falta de variáveis "granulométricas" para as camadas 40 a 60 cm e 80 a 100 cm provavelmente contribuiu para esta situação. Possivelmente, dados de crescimento futuros do mesmo experimento venham a esclarecer algo sobre a evolução da importância das diferentes camadas.

Tabela 27 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis correspondentes à camada de 40 a 60 cm de profundidade.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(18,923)				
Mat. org. 2	1,526	1	0,0890	0,0890	0,0048
Acidez pot. 2	-0,407	2	0,0487	0,1377	0,0311
Potássio 2	-9,193	3	0,0596	0,1973	0,0145

4.3.2. Profundidade do horizonte A

As estatísticas simples da variável "Profundidade do horizonte A" estão nas tabelas 16, 18 e 20. A diferença entre locais para esta variável é significativa ao nível de 1% (tabela 15), destacando-se principalmente o local "006/88", com um horizonte A bem mais espesso do que nos demais locais.

Nesta região (sul da Bahia), não está claro, *a priori*, se a variável "Profundidade do horizonte A" deveria ter correlação positiva ou negativa com o

crescimento das árvores. Com efeito, uma espessura maior deste horizonte poderia estar associada tanto com uma fertilidade superior (e portanto maior produção de biomassa) ou com uma drenagem pior (resultando em menor decomposição da matéria orgânica).

Tabela 28 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis correspondentes à camada de 80 a 100 cm de profundidade.

Variáveis	Estim. & coef. reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(14,597)				
Ph 3	1,095	1	0,0570	0,0570	0,0251
Mg% 3	-0,202	2	0,0542	0,1113	0,0253
Ca% 3	0,033	3	0,0355	0,1468	0,0651
Fósforo 3	-0,369	4	0,0227	0,1695	0,1355

Tabela 29 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis da camada 0 a 20 cm.

Variáveis	Estim. & coef. reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(19,8761)				
K % 1	-0,4715	1	0,1611	0,1611	0,0001
Silte 1	-0,2052	2	0,0361	0,1972	0,0525
SO4 1	0,0613	3	0,0226	0,2198	0,1204

Tabela 30 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis da camada 40 a 60 cm.

Variáveis	Estim.à coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(14,6875)				
Ph 2	0,8586	1	0,0897	0,0897	0,0046
Mat. org. 2	1,1207	2	0,0636	0,1533	0,0133
CTC 2	-0,2470	3	0,0280	0,1813	0,0940
K 2	-7,7102	4	0,0230	0,2043	0,1255
Mg 2	2,5635	5	0,0243	0,2286	0,1118

Tabela 31 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis da camada 80 a 100 cm.

Variáveis	Estim.à coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(13,7089)				
Ph 3	1,2832	1	0,1187	0,1187	0,0010
Mg % 3	-0,1746	2	0,0463	0,1650	0,0327
Ca % 3	0,0320	3	0,0441	0,2091	0,0333
P 3	-0,4008	4	0,0348	0,2439	0,0540

Os coeficientes de correlação de "Profundidade de A" com as variáveis silviculturais "altura total aos 1,5 anos", "altura máxima aos 1,5 anos"; "área basal aos 2,7 anos", e "volume aos 2,7 anos" são positivos, e significativos a 1 % (algumas destas correlações estão na

tabela 22).

Na regressão passo-a-passo que relacionou todas as variáveis independentes (foram 48 variáveis) com a altura máxima nas parcelas na idade de 1,5 anos, a variável "Profundidade do horizonte A" foi incluída no modelo em 2º lugar, com um acréscimo de R^2 de 0,0908 (tabela 23).

Aos 2,7 anos, no entanto, a importância de "Profundidade do horizonte A" decaiu: esta variável não está no modelo que relacionou a altura máxima aos 2,7 anos com as variáveis de solo (tabela 24), e tampouco figura no modelo para "altura máxima corrigida aos 2,7 anos" (tabela 25). A esta altura é oportuno frisar que as variáveis foram incluídas nestes modelos conquanto suas contribuições aos mesmos fossem significativas ao nível de 0,15.

A variável em questão foi mais importante apenas no modelo para previsão da área basal aos 2,7 anos, onde foi incluída, no 2º passo, aumentando o R^2 em 0,086 (esta regressão não está incluída nos resultados).

Não há relação significativa entre a profundidade do horizonte A e o número de árvores observadas nas parcelas, em qualquer idade¹.

A diminuição da importância do horizonte A para a predição do crescimento das árvores com o aumento da

¹Este resultado encontra-se em uma tabela onde figuram os coeficientes de correlação de todas as variáveis usadas versus as mesmas variáveis, a qual não foi incluída na parte "resultados" por ser excessivamente grande.

idade poderia ser interpretada como uma manifestação da diminuição da dependência destas em relação ao horizonte superficial. Porém, como foi visto anteriormente, o exame das evidências não permite concluir que as camadas mais profundas ganharam importância com o passar do tempo. O fato que mais sobressai ao se comparar os modelos das tabelas 23 e 24 é a redução, aos 2,7 anos, do R^2 . No modelo para "altura máxima aos 1,5 anos", o R^2 final é igual a 0,6463 (tabela 23), enquanto que o R^2 final do modelo envolvendo "altura máxima aos 2,7 anos" é igual a 0,3984, apenas (tabela 24). Mesmo a equação final para a previsão do volume aos 2,7 anos (resultado não incluído nos resultados) apresenta $R^2=0,5448$, marcadamente inferior ao coeficiente de determinação da regressão com altura máxima aos 1,5 anos.

Assim, a diminuição da importância da profundidade do horizonte A pode ser vista no contexto de uma redução geral da influência do solo sobre o crescimento entre 1,5 e 2,7 anos.

4.3.3. Matéria orgânica

Como pode ser visto nas tabelas de estatísticas simples (tabelas 16, 18, e 20), os teores de matéria orgânica nos três locais são relativamente baixos. BRADY (1974) afirma serem típicos de horizontes superficiais teores de 3 a 5 %.

Os três locais não diferem entre si, ao nível de 5 %, para teores de matéria orgânica, exceto para a profundidade 80 a 100 cm (tabela 15): os teores são mais altos no local "004/88", e mais baixos no local "3034".

A matéria orgânica da camada 80 a 100 cm não aparece na tabela 22, de coeficientes de correlação envolvendo todas as observações. Está, porém, na tabela 32: tem correlação positiva com a altura máxima aos 2,7 anos no local "006/88" (onde o teor de matéria orgânica é intermediário), e apresenta correlação negativa no local "3034" (que é o local com teor mais baixo).

A matéria orgânica da camada 80 a 100 cm foi incluída no modelo para previsão da altura máxima aos 1,5 anos em 10º lugar (tabela 23). Porém, e principalmente, está ausente dos outros modelos, incluindo aqueles que envolvem variáveis da camada 80 a 100 cm (tabelas 28 e 31) e aqueles desenvolvidos individualmente para cada local (tabelas 33, 34 e 35).

Isto faz pensar que as correlações associadas com a matéria orgânica da camada 80 a 100 cm, observadas na tabela 32, são devido não à própria matéria orgânica, mas a alguma outra variável a ela associada.

Mais significativa parece ser a matéria orgânica da camada 40 - 60 cm (embora a variabilidade entre locais seja menor do que na camada 80 a 100 cm). Esta variável tem correlação positiva e significativa com

Tabela 32 - Coeficientes de correlação com a altura máxima aos 2,7 anos, por local, e significâncias, para variáveis selecionadas.

Locais:	004/88		006/88		3034	
Variáveis:	CC	Prob>R	CC	Prob>R	CC	Prob>R
K% 1 \$	0,084	0,657	-0,341	0,065	-0,210	0,266
Silte 1 \$	-0,149	0,431	-0,219	0,244	-0,228	0,226
M. org. 2 \$	*0,366	0,046	0,546	0,002	0,065	0,733
Ar. tot. 1 \$	-0,298	0,109	0,101	0,595	0,199	0,293
SO4 1 \$	0,229	0,223	0,141	0,467	-0,096	0,615
pH 3 \$	-0,035	0,855	0,416	0,022	-0,239	0,204
Mg% 1 \$	0,110	0,562	-0,313	0,092	-0,055	0,772
Ca% 3 \$	0,223	0,215	0,014	0,942	0,020	0,916
V% 1	0,448	0,013	-0,324	0,081	-0,077	0,684
Ca% 1	0,438	0,016	-0,255	0,173	-0,062	0,744
Soma 1	0,428	0,018	-0,200	0,288	-0,007	0,970
pH 1	0,421	0,020	-0,111	0,559	-0,068	0,722
P 3	-0,390	0,033	0,099	0,604	#	#
Ca 2	0,380	0,038	0,055	0,772	-0,258	0,169
Soma 2	0,371	0,043	0,024	0,899	-0,277	0,139
Ac. pot. 2	0,175	0,356	0,466	0,009	-0,146	0,440
CTC 2	0,325	0,079	0,459	0,011	-0,398	0,029
M. org. 3	-0,017	0,930	0,418	0,022	-0,369	0,045
Ac. pot. 1	-0,322	0,083	0,408	0,025	0,091	0,634
Adensamento.	-0,009	0,964	0,412	0,026	-	-
Ac. pot. 3	-0,104	0,585	0,371	0,044	-0,278	0,137
Mosqueamento	-	-	-	-	-0,169	0,373

\$: variáveis com correlação significativa na análise geral (com "altura máxima aos 2,7 anos).

* : os coeficientes significativos a 5% estão em negrito.

: esta variável teve variância nula neste local.

Tabela 33 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" no local 004/88 a partir de todas as variáveis.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(15,968)				
V 1	0,063	1	0,2011	0,2011	0,0129
Ac. pot. 2	0,548	2	0,1527	0,3539	0,0177
S04 3	-0,047	3	0,0594	0,4133	0,1168
Mg 3	4,442	4	0,0584	0,4717	0,1089

Tabela 34 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" no local 006/88 a partir de todas as variáveis.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(18,698)				
Mat. org. 2	0,917	1	0,2942	0,2942	0,0029
K 1	-14,625	2	0,0901	0,3843	0,0673

Obs: Para as unidades das variáveis, referir-se às tabelas 14 e 15.

"altura máxima aos 2,7 anos", nos locais "004/88" e "006/88" (tabela 32). Ela aparece em 2º lugar no modelo preditivo "geral" da altura máxima aos 2,7 anos (tabela 24), embora não apareça no modelo "geral" para altura máxima corrigida aos 2,7 anos (tabela 25). A variável consta na equação preditiva da altura máxima aos 1,5 anos

Tabela 35 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" no local 3034 a partir de todas as variáveis.

Variáveis	Estim. e coef. reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(22,989)				
CTC 2	-0,656	1	0,1586	0,1586	0,0293
Silte 1	-0,386	2	0,0929	0,2515	0,0782

(tabela 23), embora com menos importância do que na equação correspondente para 2,7 anos. Também foi incluída no modelo preditivo de altura máxima corrigida aos 2,7 anos usando variáveis somente da camada 40 - 60 cm. Neste modelo, "matéria orgânica" foi incluída em 2º lugar (tabela 30). No modelo correspondente para altura máxima não corrigida aparece em 1º lugar (tabela 27). Em todos os modelos onde aparece (são 6 ao todo), "matéria orgânica da camada 40 a 60 cm" tem coeficiente positivo.

A tentativa de explicar o papel da matéria orgânica da camada 40 a 60 cm no crescimento dos clones é um convite a especulações tortuosas. Examinando a matriz de coeficientes de correlação de todas as variáveis de solo versus todas as outras², um fato se torna imediatamente evidente: a importância da matéria orgânica para a CTC. Em

² Não foi incluída nos resultados devido ao seu tamanho excessivo, como foi explicado anteriormente.

outras palavras, a matéria orgânica da camada 0 a 20 cm tem correlação altíssima com a CTC da mesma camada, o mesmo valendo para as outras duas camadas. Ao mesmo tempo, a argila (que foi determinada somente na camada 0 a 20 cm), não tem correlação significativa com a CTC determinada em qualquer camada. Isto vem apenas confirmar um fato já conhecido com respeito a solos tropicais.

Infelizmente, a constatação feita acima não ajuda a esclarecer o papel da matéria orgânica, particularmente da camada 40 a 60 cm, com relação ao crescimento dos clones de *Eucalyptus*. Com efeito, as variáveis CTC aparecem em apenas dois modelos: trata-se do CTC da camada 40 a 60 cm, e nos dois casos o coeficiente é negativo. De qualquer modo, se o efeito positivo da matéria orgânica fosse devido ao seu efeito sobre a CTC, seria simplesmente a CTC que apareceria os modelos, e não a matéria orgânica.

Outras correlações positivas, entre a matéria orgânica e o teor de cálcio, entre a matéria orgânica e a acidez potencial, e entre a matéria orgânica e a soma de bases, tampouco ajudam a esclarecer a questão, pois nenhuma destas variáveis químicas parece ter um papel claro no crescimento dos clones (ver pp 155-6).

Uma possibilidade não verificável é que a matéria orgânica estaria atuando como fonte importante de nitrogênio. Neste respeito, poderia ter sido uma

contribuição valiosa a análise foliar dos clones para esse nutriente.

Outras explicações para o papel da matéria orgânica na camada 40 a 60 cm têm uma conotação mais "física".

Assim, a matéria orgânica poderia estar facilitando a penetração desta camada pelas raízes dos clones, diminuindo a densidade do solo, e portanto, a resistência desta à penetração. Ou então a matéria orgânica, ao agregar-se às partículas de argila, e formando partículas de tamanhos maiores, pode estar favorecendo a aeração da camada, facilitando a percolação da água através de poros maiores. Estes mesmos poros também poderiam permitir uma maior retenção de água disponível às plantas.

Um fato curioso é que a relação entre a matéria orgânica da camada 40 a 60 cm com a altura máxima aos 2,7 anos está menos evidente no local "3034". Este é justamente onde os valores desta variável, sendo mais baixos, embora não significativamente (tabela 15), são mais extremos, e onde a relação deveria estar mais acentuada (tabela 32).

Quanto à matéria orgânica da camada 0 a 20 cm, ela não aparece uma única vez nos resultados apresentados, demonstrando uma total ausência de relação com as variáveis de crescimento.

Resumindo os parágrafos anteriores, existem

evidências de uma influência positiva da matéria orgânica da camada 40 a 60 cm sobre o crescimento. Quanto às outras camadas, as evidências para uma influência da matéria orgânica são inexistentes (camada 0 a 20 cm), ou contraditórias (camada 80 a 100 cm).

4.3.4. Enxofre

O sulfato, quanto à sua distribuição no solo, exibiu o comportamento típico deste elemento, ao concentrar-se principalmente nas camadas inferiores. As concentrações encontradas na camada 0 a 20 cm são relativamente comuns, embora baixas, especialmente no local "3034" (tabelas 16, 18 e 20). TISDALE et al. (1985, p 295) afirmam que muitas plantas crescem adequadamente em solos contendo de 3 a 5 ppm de sulfatos solúveis. Porém, os mesmos autores relatam que solos deficientes em enxofre têm comumente teores de sulfatos entre 5 e 10 ppm. O alto coeficiente de variação dos teores de sulfatos, principalmente nas camadas mais superficiais, é típico deste nutriente: sua concentração geralmente aumenta de maneira abrupta após uma certa profundidade, a qual varia de ponto para ponto.

Ao examinar a tabela de coeficientes de correlação "globais" (tabela 22), pode-se notar que o enxofre da camada 0 a 20 cm tem uma correlação positiva e significativa ao nível de 6 % cm com a altura máxima a 1,5

anos. Há, também, uma correlação positiva e significativa a 0,1 % com o volume produzido nessa idade (tabela 22).

Estas correlações, no entanto, são provavelmente o resultado da estrutura da amostragem. Examinando-se os coeficientes de correlação obtidos separadamente para cada local (tabela 32), não se acha nenhuma correlação positiva remotamente significativa entre sulfato e "altura máxima aos 2,7 anos".

Observando-se as tabelas correspondentes às regressões para "altura máxima aos 2,7 anos", usando todas as observações (tabelas 26 a 28, e tabelas 36 a 37), nota-se que uma variável "sulfato" entra em um modelo apenas, a saber, aquele que se restringe às variáveis da camada 0 a 20 cm (tabela 26). Nas regressões feitas para "altura máxima aos 2,7 anos corrigida", mais uma vez uma variável "sulfato" entra apenas no modelo de variáveis da camada superficial (tabela 29). Nos dois modelos, a participação de "sulfato da camada 0 a 20 cm" é fraca: no modelo para "altura máxima aos 2,7 anos", o α é de 9,4 %, mas "areia fina", que entrou no modelo antes de SO_4 , tem um α de 13,7 %. O α de "sulfato da camada 0 a 20 cm" no modelo da tabela 29 é 12,0 %. Nos dois modelos, "sulfato" é a última variável incluída. Na regressão realizada apenas para o local "3034" (tabela 15: "3034" é o local com teores de sulfato mais baixos, na superfície e na camada 80 a 100 cm), nenhuma variável "sulfato" consta (tabela 35).

Tabela 36 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis resultantes da análise granulométrica do solo.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(25,232)				
Silte 1 (%)	-0,567	1	0,1532	0,1532	0,0001
Argila 1 (%)	-0,102	2	0,0286	0,1818	0,0848
Areia grossa 1 (%)	-0,049	3	0,0277	0,2095	0,0859

Tabela 37 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos" a partir das variáveis oriundas da análise química do solo.

Variáveis	Estim.ª coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(20,104)				
K% 1	-0,682	1	0,1662	0,1662	0,0001
Mat. org. 2	1,142	2	0,0561	0,2223	0,0152
Fósforo 3	-0,481	3	0,0315	0,2538	0,0631
Ac. pot. 2	-0,301	4	0,0233	0,2772	0,1053
Potássio 2	-6,238	5	0,0233	0,3004	0,1024

Obs: Para as unidades das variáveis, referir-se às tabelas 14 e 15.

O que consta é a variável "sulfato na camada 80 a 100 cm", com $\alpha = 12\%$, no modelo para o local "004/88" (tabela 33), onde está com coeficiente positivo, justamente

onde os valores desta variável estão mais altos (tabela 15). A média de enxofre nesta camada e neste local sendo igual a 24,03 mg/dm³ (tabela 16), dificilmente este elemento pode estar limitando o crescimento das árvores aqui. É bem possível que a presença desta variável neste modelo seja casual, pois foram usadas todas as variáveis preditivas possíveis, 49 em total, e somente as observações do local "004/88", que são 30.

Realmente, a única variável "sulfato" cuja presença em modelos preditivos é lógica é a que corresponde à camada 0 a 20 cm, sendo aí que se encontram os teores mais baixos do elemento (tabelas 14, 16, e 18), como já foi observado acima. A presença desta variável em duas regressões "globais", que foi comentada anteriormente, deve ser contrastada com sua ausência do modelo envolvendo somente o local "3034", aquele onde os teores são mais baixos, mas onde o coeficiente de variação é alto (tabela 20), e com a ausência de uma correlação significativa com "altura máxima aos 2,7 anos" nesse local, ou em qualquer outro (tabela 32).

Assim, poder-se-ia concluir que o teor de sulfato determinado no solo, a estes níveis, não é importante variável preditiva do crescimento dos clones de *Eucalyptus*.

Porém, é conhecida a variação no solo dos teores de sulfato solúvel, tanto no espaço quanto no tempo,

estando dependentes das condições de óxido-redução, da imobilização e liberação pela matéria orgânica, das contribuições gasosas e da maresia, e da lixiviação pelas chuvas. Devido às flutuações sazonais e anuais que resultam destes fatores, o valor de determinações de sulfato feitos em um período restrito, para representar um período de crescimento de 1,5 ou 2,7 anos, é limitado. Além destes problemas, o tempo de armazenamento das amostras, antes da análise, e as condições de armazenamento (umidade e temperatura), certamente são fatores com bastante influência sobre o resultado final da análise. No caso deste estudo, o modo de armazenamento das amostras provavelmente criou condições redutoras nestas, o que pode ter resultado em níveis de sulfatos abaixo daqueles encontrados no solo original.

Uma alternativa à análise de solo para enxofre poderia ter sido a análise foliar. Devido à relativa imobilidade deste nutriente na planta, porém, bastante cuidado teria que ser dispensado à parte da copa amostrada.

4.3.5. Ph, cálcio, acidez potencial, saturação por bases, soma de bases, e CTC

Analisando-se as tabelas de médias (tabelas 16 a 21) e a que compara as médias dos três locais (tabela 15) podem ser feitas várias observações.

médias mais aceitáveis (acima de 5,0) apenas na camada superficial dos locais "006/88" e "3034". Porém, como é possível ver na tabela 7, p.76, valores de Ph por volta de 4,5 nem sempre garantem uma resposta à calagem por *Eucalyptus*.

Para a saturação por bases, o padrão assemelha-se ao do pH: está sempre baixa (menor que 30 %), com exceção da camada superficial dos locais "006/88", e "3034", onde ultrapassa os 50 %. Com o aumento da profundidade, a saturação diminui. No local "3034", chega à média de 15 % para a camada 80 a 100 cm (tabela 15).

As variáveis "soma de bases" e "acidez potencial", que, somadas, resultam na CTC, são variáveis para os quais não se pode determinar valores "altos", "médios", ou "baixos", de modo geral, pois somente se tornam qualificáveis à luz da CTC. Examinada desta maneira, a acidez potencial, espelhando o comportamento da saturação por bases, parece estar aceitavelmente baixa apenas na camada superficial dos locais "006/88" e "3034".

Para o cálcio, o mais fácil é avaliar a variável "saturação por cálcio", que é a proporção da CTC ocupada pelo elemento. De acordo com TISDALE et al. (1985, p.332), "muitas culturas respondem a aplicações de cálcio quando o grau de saturação por cálcio da CTC (pH = 7) está abaixo de 37 %". Desta maneira, a saturação por cálcio poderia ser considerada satisfatória na superfície dos

poderia ser considerada satisfatória na superfície dos locais "006/88" e "3034": por volta de 44 % (tabelas 19 e 21). Estaria baixa na superfície do local "004/88" (tabela 17: 27 %), e bastante baixa na subsuperfície dos três locais. Aos 80 - 100 cm de profundidade no local "3034", está abaixo dos 10 %.

A CTC dos solos estudados é baixa, com médias entre 4 e 5,5 (tabelas 17, 19 e 21), mas é relativamente alta se for levada em conta a textura dos solos, a qual varia de "areia" a franco arenoso" (ver BRADY, 1983, p.105, quadro 4:6, para um padrão de comparação).

Como já foi mencionado, existe uma correlação alta e positiva entre a matéria orgânica e a CTC, camada por camada, quando todos os dados são analisados em conjunto.

Ao se examinar os coeficientes de correlação significativos nas tabelas 22 e 32, nota-se que uma variável "CTC" aparece apenas duas vezes: a CTC na camada 40 a 60 cm tem correlação positiva com a altura máxima aos 2,7 anos no local "006/88", enquanto que as mesmas duas variáveis são correlacionadas negativamente no local "3034" (tabela 32). Esta correlação é confirmada na regressão feita para o local "3034" (tabela 35). As variáveis "CTC" não aparecem nas correlações obtidas com todas as observações (tabela 22).

No modelo preditivo de "altura máxima corrigida aos 2,7 anos", desenvolvido a partir de variáveis da camada 40 a 60 cm (tabela 30), "CTC" foi incluída em 3º lugar, com coeficiente negativo. O R^2 parcial (de 2,80 %) é bastante baixo, no entanto, e a significância está um pouco abaixo de 10 %.

É difícil explicar os resultados envolvendo a CTC. Na camada 40 a 60 cm, ela tem correlação positiva com a altura máxima aos 2,7 anos, também no local "004/88" (tabela 32), embora a significância seja de apenas 8 %. A correlação positiva no local "006/88" não se confirma na regressão realizada só para este local, mas possivelmente o lugar da CTC tenha sido "tomado" pela matéria orgânica (tabela 34). É, porém, problemático encontrar uma explicação para o efeito negativo da CTC da camada 40 a 60 cm sobre o crescimento no local "3034" (tabelas 32 e 35).

O que pode estar acontecendo é que a "CTC da camada 40 a 60 cm" está "substituindo" a argila dessa camada, a qual não foi quantificada. Se a argila desta camada houvesse sido incluída na lista de variáveis, é possível que o modelo para o crescimento no local "3034" (tabela 35) influísse primeiro a argila (com coeficiente negativo) e depois o silte.

Como será lembrado, um fato marcante a respeito do horizonte superficial 0 a 20 cm é que o local "004/88" se distingue dos outros dois por apresentar pH,

teor de cálcio, e saturação por bases consideravelmente mais baixos, em média do que nos outros dois locais (tabela 15).

Este fato tem, aparentemente, uma conexão com o que se vê na tabela 32: no local "004/88" (mas não nos outros dois locais), a saturação por bases, a saturação por cálcio, a soma de bases e o pH, na camada 0 a 20 cm, têm todas correlações positivas com a altura máxima não corrigida aos 2,7 anos.

Em princípio, estes fatos levam à idéia (talvez verdadeira) de que as variáveis mencionadas representem fatores limitantes ao crescimento das árvores, neste local e nesta profundidade. Em outras palavras, que um Ph por volta de 4,5, uma saturação por bases por volta dos 30 %, e uma saturação por cálcio de 27 %, são muito baixos para *Eucalyptus grandis*.

Poder-se-ia contestar esta conclusão com base na seguinte observação: na tabela 32, para o local "006/88", a acidez potencial, nas três camadas, tem correlação positiva com "altura máxima aos 2,7 anos".

Nas correlações de todas as variáveis versus todas as variáveis, todas as "acidez potencial" têm correlação negativa e significativa a 5 % com todas as variáveis "saturação por bases". Ou seja, de modo geral, quanto maior a acidez potencial (em meq/100 cm³), mais baixa está a saturação por bases (em %), que é o que se

esperaria.

Assim, talvez a correlação positiva entre a acidez potencial e "altura máxima aos 2,7 anos" reflita uma correlação negativa entre a saturação por bases e o crescimento. Esta é uma hipótese pouco convincente, pois a saturação por bases no local "006/88", nas camadas 80 a 100 cm e 40 a 60 cm, respectivamente, é de 22,6 % e 25,0 %, valores que em nenhuma circunstância seriam considerados altos.

Por outro lado, as variáveis "acidez potencial" têm, neste estudo, correlação positiva e significativa com as variáveis "CTC", e "matéria orgânica". Assim, uma explicação alternativa para as correlações positivas entre acidez potencial e "altura máxima não corrigida aos 2,7 anos" estaria ligada aos efeitos positivos e significativos da matéria orgânica e da CTC (tabela 32). Assim a objeção que se poderia opor à hipótese do efeito positivo de pH, saturação por bases, e saturação por cálcio, com base no papel da acidez potencial no local "006/88" (tabela 32), não estaria justificada.

De fato, no conjunto de variáveis consideradas nesta secção, existem três cuja discussão talvez deva ser deixada de lado, por terem um papel geralmente ambíguo. São elas: "acidez potencial", "teor de cálcio" e "soma de bases", pois estas variáveis não raramente apresentam correlação alta tanto com as variáveis

"CTC" e "matéria orgânica", quanto com as variáveis "pH", e "saturação por bases".

Um fato está bastante seguro: todas as correlações entre as variáveis "pH", "saturação por bases" e "saturação por cálcio" e as variáveis de crescimento (tabelas 22 e 32) são positivas. Além disto, todos os coeficientes correspondentes a estas variáveis, quando elas são incluídas nos modelos preditivos, são positivos também (tabelas 23, 24, 28, 30, 31 e 33).

Este autor acredita na lógica da seguinte afirmação: "se uma variável independente qualquer apresenta um efeito positivo sobre uma variável de produção (em uma correlação ou modelo preditivo), isto significa que a média dos valores desta variável independente, que foram usados na correlação ou na regressão, é baixa, em relação ao organismo cuja produção foi medida. Por exemplo, neste estudo, "pH da camada 80 a 100 cm" tem correlação positiva com três variáveis de crescimento na tabela 22. Assim, a média dos valores usados de "pH da camada 80 a 100 cm", que é 4,4, seria abaixo do ideal para o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis*, pelo menos até a idade de 2,7 anos.

Seguindo este raciocínio, e examinando-se as tabelas 22, 23, 24, 28, 30, 31, 32 e 33, pode-se concluir que: valores de pH em CaCl_2 em torno de 4,4 a 4,5, valores de saturação por bases em torno de 31 %, e valores de saturação por cálcio de 38,4 %, na superfície, e valores de

saturação por cálcio em torno de 13,6 %, na camada 80 a 100 cm, mostraram-se baixos, nas condições deste estudo, para indivíduos de *Eucalyptus grandis*, com idade entre 0 e 2,7 anos.

Este resultado é um pouco surpreendente em vistas do que foi comentado no início desta secção: nos raros experimentos de calagem encontrados na literatura, *E. grandis* normalmente não responde à correção do solo (tabela 7, p 76). Um fator que pode estar causando esta discrepância é a saturação por alumínio, a qual não foi determinada neste estudo.

4.3.6. Potássio

Os teores médios de K trocável nos locais de estudo variam de 0,03 a 0,09 meq/100 cm³. Estes valores estão na faixa de teores de K trocável que resultam em 70 % da produção relativa na maioria das culturas (ver p 78), podendo assim ser consideradas como baixas. A tabela 15 mostra que há diferença entre os teores nos três locais, nas duas camadas superficiais: "3034" tem os teores mais altos, na camada 0 a 20 cm, enquanto que "004/88" tem os teores mais baixos, tanto no horizonte superficial quanto entre 40 e 60 cm de profundidade. Os teores encontrados na superfície do local "006/88" se aproximam daqueles do local "004/88", enquanto que na camada 40 a 60 cm, "006/88" tem os teores mais altos dos três locais.

Tendo em vista a CTC destes solos, o teor de K trocável mínimo para milho, se os locais estivessem situados em Ohio (E.U.A.), seria de aproximadamente 0,406 meq/100 cm³ (ver p.78), valor evidentemente muito acima do que foi observado.

Porém, como foi visto na tabela 8 (p.78), é freqüente não haver resposta à adubação potássica por *Eucalyptus grandis* quando os teores são da ordem daqueles vistos neste trabalho.

Entre as correlações "gerais" (que usaram todas as observações, ver tabela 22), o potássio, na forma de saturação por potássio na camada 0 a 20 cm, tem correlação negativa altamente significativa com as três variáveis-resposta utilizadas. é a única variável "potássio" a aparecer nesta tabela. Na tabela 32, de correlações "por local", nenhuma variável "potássio" tem correlação significativa a 5 % com o crescimento, embora, no local "006/88", a correlação negativa entre "saturação por potássio na camada 0 a 20 cm" e "altura máxima aos 2,7 anos" seja quase significativa. Este é um resultado difícil de se explicar, pois o local com o teor de potássio mais alto, na superfície, é, de longe, "3034". Ora, se o potássio está com efeito "negativo", ou deletério, sobre o crescimento, este efeito deveria ser mais evidente no local "3034".

Nas regressões "gerais" (que utilizam todas

as observações, excluindo portanto aquelas das tabelas 33 a 35), o potássio "superficial", seja na forma simples ou como porcentagem da CTC, aparece um total de sete vezes, sempre com coeficiente negativo, e sempre com significância muito alta ($\alpha < 0,01$).

O potássio da camada 40 a 60 cm aparece 4 vezes, em dois casos de maneira significativa a 5 %, e sempre com coeficiente negativo.

O potássio da camada mais profunda não aparece em modelo previsivo algum.

Nos modelos específicos para cada local (tabelas 33 a 35), há apenas uma variável "potássio". Esta é o teor de potássio na camada superficial, e tem coeficiente negativo no modelo previsivo de "altura máxima aos 2,7 anos", no local "006/88", o que vem confirmar o coeficiente de correlação específico para esse local mencionado anteriormente. Mesmo a significância, nos dois casos, é da mesma ordem de grandeza (por volta de 0,066).

Quando se considera estes resultados de maneira "conjunta", o papel marcadamente "negativo" do potássio para o crescimento dos clones perde sua plausibilidade. Com efeito, embora o potássio da camada 0 a 20 cm aparenta ter um efeito importantíssimo, a nível global, sendo freqüentemente a primeira variável admitida nas equações, a nível "local", sua importância reduz-se consideravelmente. Além disto: o local onde seu efeito se

faz sentir ("006/88"), não é aquele onde os teores estão mais "extremos" (neste caso: mais altos !)

Vem se somar a estas observações o fato de os teores de potássio encontrados neste estudo estarem bastante baixos. Isto torna ainda mais improvável um efeito negativo devido a este elemento.

O que pode ser admitido, embora cautelosamente, é que adubações potássicas têm poucas chances de resultarem em ganhos de produção nestes locais, à semelhança do que ocorreu em muitos dos experimentos representados na tabela 8 (p.84).

4.3.7. Magnésio

Como deixa entender a tabela 7 (p 80), são poucos os resultados disponíveis associando o desenvolvimento de *Eucalyptus* com teores de magnésio no solo. Assim, é-se obrigado a recorrer a informações não específicas concernante os níveis de magnésio trocável no solo que podem ser considerados aceitáveis.

TISDALE et al. (1985, p.336) escrevem que : "As condições onde as reservas no solo (de magnésio) têm probabilidade de estarem insuficientes para o desenvolvimento satisfatório das culturas incluem os solos ácidos, arenosos, altamente lixiviados, e com baixa CTC". Esta parece ser uma descrição apta dos locais envolvidos neste estudo.

Os mesmos autores mencionam diversos índices através dos quais avaliar níveis de magnésio. Segundo eles, o magnésio tende a ocupar entre 4 e 20 % da CTC, uma faixa que normalmente coincide com a saturação crítica de magnésio para a maioria das plantas. Segundo os autores, é recomendável que a saturação por magnésio não esteja abaixo dos 10 %, na maioria dos casos.

Outra situação que normalmente conduz a deficiências de magnésio é, segundo os autores, aquela em que a razão Ca:Mg trocáveis está muito alta, acima de 4:1.

Além disto, altos teores de potássio podem comprometer a disponibilidade de magnésio. TISDALE et al. (1985) citam recomendações usadas no Reino Unido, de que a proporção K:Mg (em meq de K para meq de Mg) não passe de 1,5:1 (para culturas "de campo", pouco exigentes em Mg), 1:1 (para verduras e beterrabas açucareiras) ou de 0,6:1, para plantas frutíferas ou de viveiro. Estas considerações foram resumidas na tabela 38.

Tabela 38 - Alguns critérios para avaliar a disponibilidade de magnésio no solo, segundo TISDALE et al. (1985).

Critério	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo
Mg %	$20 \leq$	$10 \leq < 20$	$4 \leq < 10$	< 4
Ca:Mg	$< 4:1$		$4:1 \leq$	
K:Mg	$\leq 0,6:1$	$0,6:1 < \leq 1:1$	$1:1 < \leq 1,5:1$	$1,5 <$

De acordo com RAIJ (1991), o melhor índice de disponibilidade de magnésio, e o mais usado no Brasil, é o teor absoluto de magnésio trocável. Isto não significa, segundo ele, que os outros índices não possam ser usados como indicadores secundários. Os critérios para a interpretação dos teores absolutos (em meq/100 cm³) são dados por ele como segue:

- teores baixos: Mg trocável abaixo de 0,4;
- teores médios: Mg trocável entre 0,5 e 0,8;
- teores altos: Mg trocável acima de 0,8.

Com base nestes critérios, e examinando-se os resultados contidos nas tabelas 39 a 41, elaborou-se a tabela 42. O principal critério a ser considerado é o magnésio trocável, visto que o local de estudos encontra-se na zona tropical, onde se aplicam melhor as observações de RAIJ (1991). Esta tabela mostra que os teores de magnésio encontrados foram baixos, considerando os critérios "teor absoluto", e "% da CTC", quando não muito baixos. O local "006/88" parece apresentar teores um pouco mais aceitáveis do que aqueles encontrados nos outros dois, dependendo do critério que se considera. Na tabela 15, o local "004/88" se destaca por apresentar uma saturação por Mg mais baixa, na superfície, do que aquele visto nos demais.

Tabela 39 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para algumas razões entre nutrientes no local "004/88".

Variáveis	Min	Max	Media	C.V.
Ca sobre Mg 1	1,00	25,00	9,47	67,13
Ca sobre Mg 2	1,00	23,00	8,28	70,12
Ca sobre Mg 3	1,00	13,00	5,56	54,41
K sobre Mg 1	0,10	0,50	0,22	51,53
K sobre Mg 2	0,10	0,80	0,24	69,64
K sobre Mg 3	0,05	1,50	0,39	71,66

Tabela 40 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para algumas razões entre nutrientes no local "006/88".

Variáveis	Min	Max	Media	C.V.
Ca sobre Mg 1	4,00	35,00	8,38	75,70
Ca sobre Mg 2	1,00	14,00	3,45	66,95
Ca sobre Mg 3	0,50	10,00	3,92	56,45
K sobre Mg 1	0,05	0,50	0,15	67,80
K sobre Mg 2	0,03	0,93	0,36	65,43
K sobre Mg 3	0,03	2,90	0,48	119,34

Tabela 41 - Valores mínimos, máximos, médios e coeficientes de variação para algumas razões entre nutrientes no local "3034".

Variáveis	Min	Max	Media	C.V.
Ca sobre Mg 1	4,00	18,00	7,11	38,81
Ca sobre Mg 2	1,00	17,00	6,28	63,87
Ca sobre Mg 3	1,00	11,00	2,27	100,75
K sobre Mg 1	0,10	0,70	0,28	49,38
K sobre Mg 2	0,20	1,10	0,47	44,27
K sobre Mg 3	0,07	1,60	0,46	61,59

Tabela 42 - Avaliação dos níveis de magnésio encontrados em três camadas dos três locais estudados, de acordo com diferentes critérios.

Critério	camada	"004/88"	"006/88"	"3034"
Mg troc.	0 a 20 cm	baixo	baixo	baixo
	40 a 60 cm	baixo	baixo	baixo
	80 a 100 cm	baixo	baixo	baixo
Mg %	0 a 20 cm	mtº baixo	baixo	baixo
	40 a 60 cm	mtº baixo	baixo	mtº baixo
	80 a 100 cm	mtº baixo	baixo	mtº baixo
Ca:Mg	0 a 20 cm	baixo	baixo	baixo
	40 a 60 cm	baixo	alto	baixo
	80 a 100 cm	baixo	alto	alto
K:Mg	0 a 20 cm	alto	alto	alto
	40 a 60 cm	alto	alto	alto
	80 a 100 cm	alto	alto	alto

Os baixos teores de Mg observados levam a esperar um relacionamento positivo entre os níveis de magnésio no solo e o desenvolvimento dos clones.

No entanto, não é o que se observa nos resultados obtidos: a saturação por magnésio da camada 40 a 60 cm apresenta, é verdade, correlação positiva e significativa com "altura máxima aos 1,5 anos", e "volume aos 2,7 anos" (tabela 22). Mas não tem correlação significativa com "altura máxima aos 2,7 anos", considerada a variável-resposta mais relevante. Na mesma tabela, "saturação por magnésio na camada 0 a 20 cm" tem uma correlação negativa e significativa com "altura máxima aos 2,7 anos" e "volume aos 2,7 anos". Nenhuma variável "magnésio" aparece de maneira significativa na tabela 32 (correlações "por local").

Os modelos onde uma variável "magnésio" aparece com um coeficiente negativo são cinco ao todo. Os casos mais significativos são aqueles que envolvem "altura máxima aos 2,7 anos" nos modelos com todas as variáveis (tabela 24), e com as variáveis da camada 80 a 100 cm (tabela 28), e "altura máxima corrigida aos 2,7 anos", também no modelo com as variáveis da camada mais profunda (tabela 31). As significâncias da variável "magnésio" variam, nestes casos, desde 0,0545 até 0,0253. Outro ponto notável é que, nos três casos, a variável "magnésio" (seja na forma "saturação", seja como teor absoluto) é a da

camada 80 a 100 cm.

São três os modelos onde constam variáveis "magnésio" com coeficiente positivo; tratam-se do teores absolutos de magnésio nas camadas 40 a 60 e 80 a 100 cm de profundidade. Os modelos são o modelo "geral" para "altura máxima aos 1,5 anos" (tabela 23), o modelo para "altura máxima aos 2,7 anos" restrito ao local "004/88", e o modelo para "altura máxima corrigida aos 2,7 anos", restrito às variáveis da camada 40 a 60 cm. A significância, no entanto, é sempre acima de 10 %.

Como se vê, o efeito "negativo" do magnésio supera o efeito "positivo", embora não de maneira marcada.

É um pouco difícil entender como o magnésio poderia estar prejudicando o desenvolvimento dos clones, estando este elemento presente nos solos em teores tão baixos. Mesmo aceitando que os eucaliptos são geralmente adaptados a solos de baixa fertilidade (ver Introdução, p. 5 a 7), deve-se lembrar que, dentro do gênero, *E. grandis* é uma espécie relativamente exigente, em termos nutricionais. O que parece mais provável é que, à semelhança do enxofre, a participação do magnésio nos modelos preditivos é obra principalmente do acaso.

4.3.8. Fósforo

Observando as tabelas 16, 18 e 20, nota-se que os valores dos teores de fósforo ("P"), são quase sempre "muito baixos", de acordo com os critérios de RAIJ (1991) (tabela 9, p.82), e comparáveis com os valores mais baixos encontrados por GONÇALVES (1991). Os valores máximos observados nos locais "004/88" e "006/88", são baixos (9 mg/dm³), pouco acima do limite apresentado por RAIJ (1991) entre as categorias "muito baixo" e "baixo". Somente o local "3034" se destaca, na camada 0 a 20 cm, por apresentar uma variabilidade muito mais alta do que nos outros dois locais (CV = 129) e valor máximo (32 mg/dm³) na faixa "média", de acordo com RAIJ (1991).

O local com teor de P mais baixo na camada superficial (tabela 15) foi "004/88". Isto pode ter sido o resultado da adubação com FAPS, que foi feita com metade da dose usada nos outros dois locais (ver p.96). Nas camadas subsuperficiais, destacam-se os teores de fósforo completamente uniformes (e muito baixos) no local "3034".

Várias são as observações que podem ser feitas sobre o papel das três variáveis "fósforo", a partir das tabelas de coeficientes de correlação e de regressões (tabelas 22 a 37).

Em primeiro lugar, a variável "fósforo da camada 0 a 20 cm" se destaca pela sua ausência completa destas tabelas.

A variável "fósforo da camada 40 a 60 cm" está na tabela 22, com correlação positiva e significativa a 5 % com "altura máxima aos 1,5 anos" e com "volume aos 2,7 anos". No entanto, a mesma variável está ausente do modelo previsivo para "altura máxima aos 1,5 anos" (tabela 23). Pode-se supor que haja alguma correlação entre esta variável "fósforo" e outra variável que consta no modelo. Analisando todos os resultados das análises de solo conjuntamente, há uma correlação fraca ($\alpha = 0,08$) entre "fósforo da camada 40 a 60 cm" e "potássio" da camada superficial, o que explicaria a ausência da primeira variável do modelo referido.

Finalmente, a variável "fósforo da camada 80 a 100 cm" aparece um total de seis vezes, entre coeficientes de correlação e modelos de previsão de crescimento. Destes, apenas 3 "casos" são significativos a 5 %, e não há efeito significativo a 1 %. Em todos estes casos, o efeito de "fósforo da camada 80 a 100 cm" sobre o crescimento é negativo.

Os resultados descritos acima são, provavelmente, frutos do acaso, mais do que devidos a alguma influência real do fósforo.

Com efeito, a variável de maior variação é "fósforo da camada 0 a 20 cm", que, especialmente no local "3034", varia desde teores médios (3 mg/dm³) até teores muito baixos (1 mg/dm³). Assim, era de se esperar um efeito

positivo desta variável, principalmente no local "3034". Como já foi dito, no entanto, a variável referida não consta nos resultados.

Quanto ao fósforo da camada 40 a 60 cm, esta variável não tem coeficiente de correlação significativa com "altura máxima aos 2,7 anos", a principal variável-resposta. Sua relação com "altura máxima aos 1,5 anos" não se confirma no modelo previsivo para esta variável (tabela 23).

Finalmente, o efeito aparente sempre negativo de "fósforo da camada 80 a 100 cm" é pouco plausível, visto a variação relativamente baixa desta variável, e sempre dentro dos limites propostos por RAIJ (1991), como sendo "muito baixos".

Uma das razões pela pouca credibilidade que se deve dar às variáveis "fósforo" está na amostragem do solo, e na provável distribuição do elemento dentro deste. Como será lembrado, as amostras foram retiradas sempre do centro de retângulos formados pelas posições das árvores. No entanto foi feita uma adubação com fósforo em cada cova na ocasião do plantio. Tendo em vista a conhecida lentidão de movimento do fósforo no solo, é provável que, 1,5 anos após o plantio, quando foram coletadas as amostras de solo, os pontos amostrados representassem apenas os locais com teores mais baixos de fósforo.

A avaliação do papel do fósforo neste estudo

provavelmente teria se beneficiado consideravelmente da análise foliar dos clones.

4.3.9. Frações granulométricas

A tabela 15 revela dois fatos aparentemente conflitantes com respeito aos três locais estudados, no que tange às frações granulométricas. Com efeito, se, por um lado, a tabela mostra que, estatisticamente, há diferença significativa entre os locais para todas as variáveis granulométricas, fica evidente para o pedólogo que os três locais são, na verdade, bastante semelhantes. A única exceção seria talvez o teor de argila, com valores mais baixos no local "004/88".

De fato, na análise de variância cujo resultado aparece na última coluna da tabela 15, "areia total" e "argila" apresentaram problemas de heteroscedasticidade que não puderam ser resolvidos a través de transformações.

Como já foi mencionado, o local que se destaca, aparentemente, é o "004/88", por ser um pouco menos argiloso, apresentando em consequência um teor um pouco mais alto de areia total. Poderia-se dizer também que o local "3034" tem areia um pouco mais fina que os outros dois locais, e um teor ligeiramente mais alto de silte, fato que ganha peso em vista da importância desta fração granulométrica.

De modo geral, no entanto, permanece o fato de que os três locais têm teores bastante baixos de silte e de argila.

Como a soma dos componentes texturais é sempre igual a 100, existe uma dependência entre eles, de maneira que é proveitoso considerar como acontece sua variação conjunta. Estudando a matriz de coeficientes de correlação "geral" (não incluída nos resultados), pode-se fazer as seguintes observações:

- "silte" (diâmetros de 0,05 a 0,002 mm) tem correlação positiva altamente significativa com "areia fina" (diâmetros entre 0,2 e 0,05 mm).
- "areia grossa" (diâmetros entre 2 e 0,2 mm) tem correlação positiva e altamente significativa com "areia total".
- "areia grossa" (a qual constitui em média dois terços da areia total) tem correlação negativa com "areia fina" e com "silte".
- "areia total" tem correlação negativa e altamente significativa com "silte", sem dúvida por ser constituída principalmente por areia grossa, mas não tem correlação significativa com "areia fina".
- "argila" (com diâmetros abaixo de 0,002 mm) tem correlação negativa e altamente significativa com "areia grossa" e "areia total", mas não tem correlação significativa com "areia fina" ou "silte".

Assim, observa-se que "silte" e "areia fina" variam, aparentemente, juntos, o mesmo acontecendo para "areia grossa" e "areia total", sendo o primeiro o principal componente do segundo. "Argila" é uma variável à parte.

Um fato importante é que, no procedimento laboratorial, um dos componentes texturais, "areia fina", é sempre determinado por diferença, em relação ao total. Isto significa que todo erro nas determinações de argila e silte (feitas por densímetro) e areia grossa (peneiragem e pesagem) se acumula no valor da areia fina. Esta variável fica então prejudicada, em relação às outras, podendo sofrer redução nas suas correlações com as variáveis de produção.

Ao se examinar as tabelas com coeficientes de correlação (tabelas 22 e 32) e aquelas referentes às regressões (tabelas 23 a 31, 33 a 37, e 43), é imediatamente óbvio que a fração granulométrica de maior destaque é o silte. Esta variável correlaciona-se negativamente de maneira altamente significativa com as três variáveis-resposta representadas na tabela 22. Além disto, "silte" aparece não menos que oito vezes nas regressões, em três casos de maneira altamente significativa, e em dois de maneira significativa a 5 %. Os coeficientes associados com o silte nestes modelos são sempre negativos.

Tabela 43 - Modelo para a previsão da variável "altura máxima aos 2,7 anos corrigida para os efeitos dos clones" usando as variáveis "granulométricas".

Variáveis	Estim.â coef.reg.	Ordem entrada	R2 parcial	R2 do modelo	Prob>F (entrada)
INTERCEÇÃO	(20,7134)				
Silte 1	-0,3505	1	0,1288	0,1288	0,0005
Argila 1	-0,0496	2	0,0334	0,1622	0,0658

O fato que põe em dúvida o papel do silte neste estudo é a ausência de correlação significativa entre esta variável e "altura máxima aos 2,7 anos", a nível de local (tabela 32). É possível que o efeito "global" do silte seja apenas um resultado da estrutura da amostragem. Outra possibilidade é que o efeito do silte, a nível de local, esteja sendo mascarado pelo efeito de alguma outra variável. Neste caso, "silte" deveria aparecer nos modelos previsivos para "altura máxima aos 2,7 anos", desenvolvidos separadamente para cada local.

De fato, "silte" aparece no modelo para o local "3034" (tabela 35), depois de "CTC da camada 40 a 60 cm", embora sua inclusão tenha sido significativa a 8 % apenas. Coerentemente, "3034" é o local onde os teores de silte são mais altos, e onde portanto a influência negativa do silte deveria ser maior.

"Areia grossa" e "areia total" apresentam

correlações positivas, e de modo geral significativas, com as variáveis de crescimento, a um nível global (tabela 21). Ao nível local, à semelhança do silte, não apresentam correlação significativa (tabela 32).

Diferentemente do silte, no entanto, "areia grossa" e "areia total" não são importantes nas regressões: apenas a primeira das duas aparece uma vez, com coeficiente negativo e não significativo (tabela 36). Pode-se supor que as correlações "globais" observadas para estas duas variáveis (tabela 21) são resultado apenas da correlação negativa existente entre o silte, por um lado, e a areia grossa e a areia total, por outro, a qual foi mencionada anteriormente.

Quanto a "areia fina", esta variável não aparece nas tabelas de coeficientes de correlação (tabelas 21 e 32), mas está em três modelos previsivos (tabelas 23, 24, e 26). O coeficiente de "areia fina" nestes modelos é sempre positivo, e é, no primeiro caso (para altura máxima aos 1,5 anos, tabela 23), significativo ao nível de 5 %.

A argila parece exercer um efeito negativo sobre o crescimento. Os coeficientes de correlação "globais" (tabela 21) são sempre negativos, embora apenas aquele relacionado com o volume aos 2,7 anos seja significativo aos 5 %. A argila também aparece nos dois modelos previsivos que se restringem a variáveis granulométricas, com coeficiente negativo (tabelas 36 e

43). Sua inclusão nestes modelos não foi significativa a 5 %, no entanto.

Como foi o caso com as variáveis "areia", "argila" não teve correlação significativa a nível de local, e não figura nos modelos desenvolvidos separadamente para cada local.

Em suma, os efeitos das frações granulométricas sobre o crescimento se resumiriam em:

- um efeito negativo marcante do silte, a nível "global", embora permaneça a dúvida quanto a este efeito ser ou não o resultado da estrutura da amostragem,
- um possível efeito negativo da argila,
- um possível efeito positivo da areia fina.

A importância do efeito da fração silte sobre o crescimento dos clones de *Eucalyptus* adquire peso em vistas das observações feitas anteriormente a respeito da relação entre esta fração granulométrica e a retenção de água disponível às plantas.

No caso, a explicação do efeito do silte neste estudo não pode estar diretamente ligada a esta retenção maior de água, pois o efeito é negativo. É possível, entretanto, que o silte tenha um efeito prejudicial sobre a aeração do solo, em consequência de sua faculdade de reter água.

Outra hipótese é um efeito do silte sobre a resistência do solo à penetração pelas raízes. Certamente,

o solo no local "3034", onde se observa o menor crescimento das árvores (tabelas 44 a 46), foi o que maior resistência ofereceu à tráfegem para coleta de amostras. Esta resistência à penetração pode efetivamente reduzir o volume de solo explorado pelo sistema radicular dos eucaliptos, limitando seu acesso a água e nutrientes.

Tabela 44 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para variáveis dendrométricas no local "004/88".

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Volume 2 (m3/parcela)	0,31	1,04	0,74	27,66
Área basal 2 (m2/parcela)	0,07	0,16	0,13	18,91
Altura máxima 2 (m)	16,5	23,0	19,27	7,79
Nº de árvores 2	7	11	9,03	10,67
Altura máxima 1 (m)	6,5	11,0	8,92	14,43
Altura média 1 (m)	5,05	10,33	8,00	18,07
Nº de árvores 1	8	11	9,3	9

O efeito aparentemente negativo da argila pode igualmente ser devido a um efeito desta sobre a aeração, ou sobre a resistência do solo à penetração, ou pode estar relacionado a um efeito sobre a fixação de fósforo.

Tabela 45 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para variáveis dendrométricos no local "006/88".

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Volume 2 (m3/parcela)	0,51	1,11	0,77	22,53
Área basal 2 (m2/parcela)	0,11	0,16	0,14	11,27
Altura máxima 2 (m)	17,5	21,0	19,18	4,3
Nº de árvores 2	7	12	9,03	9,85
Altura máxima 1 (m)	9	12,0	10,53	8,98
Altura média 1 (m)	7,95	11,72	9,80	11,77
Nº de árvores 1	8	13	9,3	12,03

Tabela 46 - Valores mínimos, máximos, médios, e coeficientes de variação para variáveis dendrométricos no local "3034".

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	C.V.
Volume 2 (m3/parcela)	0,23	0,71	0,43	23,96
Área basal 2 (m2/parcela)	0,07	0,11	0,09	14,16
Altura máxima 2 (m)	15,5	20,0	17,77	7,34
Nº de árvores 2	6	12	8,43	14,16
Altura máxima 1 (m)	5	9	7,42	15,24
Altura média 1 (m)	3,69	8,72	6,53	18,75
Nº de árvores 1	7	12	8,93	13,77

4.4. O clima

4.4.1. O clima na região de estudo, no período 1989 - 1992, em relação a *Eucalyptus grandis*

O clima na região estudada pode ser avaliado, no que tange ao seu grau de adequação para *E. grandis*, comparando as tabelas 47, 48 e 49, com a tabela 2, p.41. Assim, pode-se concluir que:

- em Pedro Canário, em 1989 e 1990, a precipitação foi inferior ao mínimo considerado por SCHONAU & SCHLZE (1984) como sendo adequado para o bom crescimento de *E. grandis*.
- a temperatura média anual esteve um pouco acima do limite máximo para a espécie dado por BOOTH & PRYOR (1991), em vários anos e em todos os locais.
- a temperatura máxima média do mês mais quente foi quase sempre acima do limite máximo estipulado por BOOTH & PRYOR (1991), para *E. grandis*.
- a temperatura média do mês mais quente foi sempre acima do limite máximo proposto por SCHONAU & SCHLZE (1984).
- a temperatura mínima absoluta foi sempre bem acima do limite mínimo proposto por BOOTH & PRYOR (1991).
- a temperatura mínima média do mês mais frio foi muitas vezes acima do limite máximo proposto por BOOTH & PRYOR (1991).
- a temperatura média do mês mais frio foi sempre bem acima do limite mínimo proposto por SCHONAU & SCHLZE (1984).

Tabela 47 - Algumas características termométricas do clima na região estudada no período 1989 - 1991.

	Posto	"4039"	Picadão	Pedro Canário	Viveiro	Itabatan
	Ano					
Temp. máxima média do mês mais quente	1989	37,19	39,04	38,58	35,64	31,10
	1990	37,20	35,30	37,20	34,55	33,50
	1991	35,19	32,50	40,60	37,00	35,20
Temp. média do mês mais quente	1989	30,00	28,40	29,97	28,82	27,03
	1990	29,91	29,64	29,94	27,98	27,60
	1991	28,94	28,30	32,44	28,96	30,15
Temp. mínima absoluta	1989	12,0	10,0	13,0	12,0	-
	1990	14,5	10,0	13,0	11,5	15,0
	1991	12,5	10,0	10,0	13,0	18,0
Temp. média do mês mais frio	1989	23,14	22,01	24,80	20,63	26,11
	1990	23,21	18,95	23,88	22,40	22,11
	1991	22,48	21,06	21,13	22,25	25,18
Temp. mínima média do mês mais frio	1989	17,13	14,32	19,30	16,32	-
	1990	18,07	13,60	18,00	18,16	17,90
	1991	16,52	18,60	12,27	14,10	21,61

A partir destas observações, pode-se dizer do clima no Sul da Bahia que as temperaturas estiveram em uma faixa marginal, para o desenvolvimento de *E. grandis*, de acordo com os limites termométricos publicados pelos autores mencionados acima. No posto Pedro Canário, é possível que a precipitação tenha sido insuficiente para o crescimento da espécie.

Tabela 48 - Temperaturas médias anuais ($^{\circ}\text{C}$), médias por local e por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).

Postos Anos	4039	Picadão	Pedro Canário	Viveiro	Itabatan	Médias / (Kr. Wal.)
1989	26,3	25,7	27,6	25,3	26,4	26,20
1990	26,7	24,2	27,3	25,7	25,6	25,88
1991	25,8	23,7	25,4	25,5	27,6	25,58
1992 (jan)	26,8	27,8	21,5	26,4	29,8	26,46
Médias /(Kr. Wal.)	26,25	24,60	26,57	25,49	26,59	0,0040 0,0001

Tabela 49 - Precipitações totais anuais (mm), totais por local e médias por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).

Postos Anos	4039	Picadão	Pedro Canário	Viveiro	Itabatan	Médias / (Kr. Wal.)
1989	1244	983	884	1158	1514	1156,6
1990	1607	940	768	1080	1107	1100,4
1991	1568	1502	1123	1318	1494	1401,0
1992 (jan)	277	185	236	380	278	271,2
Totais /(Kr. Wal.)	4.696	3.610	3.011	3.937	4.393	0,0001 0,0001

Obs: Os totais nem sempre são a soma exata dos resultados parciais, devido a arredondamentos.

Estas observações têm relevância fundamental para o presente estudo. Não se justificam esforços dedicados a identificar e estudar interações genótipo-ambiente, para aproveitamento comercial dos resultados, sem que antes haja a certeza de que os genótipos estudados são, de modo geral, os mais promissores possíveis para a região como um todo.

4.4.2. Padrões geográficos observados nos dados climáticos

Os resultados da análise dos dados climáticos encontram-se nas tabelas 48, 49, 50, e 51.

Estes resultados mostram uma variação significativa de um ano para outro, com 1991 o ano com maiores problemas de seca, e 1989 sendo o ano com menos déficit hídrico e maior volume excedente. Isto foi apesar de uma pluviosidade maior em 1991, indicando que nesse ano a distribuição de chuvas foi menos uniforme.

De maneira mais importante, o efeito das localidades sobre as temperaturas, a precipitação total, e o déficit total foi significativo ao nível de 0,01 %.

É um pouco difícil deduzir uma relação entre o clima e a situação geográfica dos postos, principalmente por estarem estes em número reduzido.

Os postos "4039" e "Viveiro", situados no Norte da área de estudo (figura 12, p.103), parecem ser

Tabela 50 - Déficit total anual (mm), totais por local, médias ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).

Postos Anos	4039	Picadão	Pedro Canário	Viveiro	Itabatan	Médias / (Kr. Wal.)
1989	77	78	182	47	31	83,0
1990	206	236	472	148	167	245,8
1991	366	229	800	469	665	505,8
1992 (jan)	6	14	0	0	6	5,2
Totais /(Kr. Wal.)	655	556	1.454	664	869	0,0001 0,0001

Obs: Os totais nem sempre são a soma exata dos resultados parciais, devido a arredondamentos independentes.

Tabela 51 - Excedentes totais anuais (mm), totais por local, médias por ano, e significância dos efeitos de locais e anos pelo teste de Kruskal-Wallis (aproximação qui-quadrado).

Postos Anos	4039	Picadão	Pedro Canário	Viveiro	Itabatan	Médias /(Kr. Wal.)
1989	646	482	303	650	913	598,8
1990	804	424	160	321	382	418,2
1991	275	416	261	186	72	242,0
1992 (jan)	123	0	90	239	0	90,4
Totais /(Kr. Wal.)	1.847	1.321	814	1.395	1.367	0,0001 0,0578

bastante semelhantes. Embora a precipitação tenha sido bem maior em "4039" do que no viveiro, os dois postos tiveram déficits e excedentes totais comparáveis. Os três postos no sul, no entanto (Itabatan, Picadão, e Pedro Canário), são mais desuniformes entre si.

O posto Picadão (que fica mais perto do mar) está próximo dos dois postos ao Norte em termos de déficit. Já o posto Pedro Canário (que ocupa a posição mais Sulina de todos) se destaca por seu alto déficit total, enquanto que "Itabatan" tem um déficit total intermediário entre "Pedro Canário" e "Picadão".

Os excedentes totais em todos os postos são semelhantes, à exceção, de novo, daquele do posto "Pedro Canário", marcadamente inferior aos dos outros postos.

A conclusão para a qual apontam estas observações é que, no período 1989-92, a região situada ao Sul e para o interior da área de estudo foi mais sujeita a déficits hídricos do que o resto da área. Como já foi mencionado, esta conclusão deve ser feita com reservas, devido ao baixo número de postos com dados disponíveis. Além disto, o posto "Picadão", cujos dados se parecem aos dos dois postos situados ao Norte, encontra-se geograficamente muito próximo aos dois postos mais "secos", Itabatan, e Pedro Canário. Assim, uma explicação alternativa para os resultados obtidos, e que não deve ser descartada, é simplesmente que há grande variação climática

ao longo de pequenas distâncias nesta região.

Admitindo-se que a primeira hipótese está correta, pode-se fazer inferências com respeito aos locais de estudo. Os locais "006/88", situado para o Norte, e "004/88", ligeiramente mais próximo do mar do que o posto Picadão, podem estar se beneficiando de um regime hídrico mais úmido do que "3034", situado a meio-caminho entre os dois postos mais "secos".

Além disto, o solo no local "3034" revelou-se muito mais duro do que aquele dos outros dois, tanto na ocasião da coleta de amostras quanto na abertura das trincheiras, operações realizadas em épocas do ano distintas. Um estado mais seco do solo nesse local explicaria estas ocorrências. Esta explicação parece ser convincente: uma outra explicação possível para a diferença de dureza entre os três locais seria uma granulometria diferente. Tendo em vista a pequena diferença observável nas respectivas granulometrias (tabela 15), esta hipótese é pouco plausível.

4.5. Comparação entre os três locais

O efeito dos locais sobre a maioria das variáveis silviculturais é marcado, como pode ser visto nos resultados das análises de variância (tabelas 12 e 13). A variável menos influenciada pelo local é o número de árvores por parcela aos 1,5 anos. Aos 2,7 anos, o efeito do

local sobre o número de árvores se acentua, no entanto. Em relação às variáveis "altura máxima", "área basal", e "volume", o efeito dos locais tem significância muito alta.

Nas tabelas 44, 45 e 46, o efeito dos locais fica explicitado. Nota-se que, em termos de produtividade, os locais "004/88" e "006/88" se assemelham bastante. O local "006/88" tem altura máxima aos 2,7 anos média um pouco inferior à de "004/88", mas compensa este fato com uma área basal um pouco maior, resultando em um volume médio por parcela comparável. É notável que, aos 1,5 anos, "004/88" anunciava-se como um local marcadamente inferior a "006/88", tanto em termos de altura máxima por parcela, quanto em termos de altura média. Esta observação é intrigante, pois examinando-se os dados climáticos (tabelas 47 a 51), e levando em conta as diferenças de fertilidade entre locais (tabela 15), fica difícil explicar o motivo por tal evolução.

O local que se destaca em quase todos os aspectos é "3034".

Neste local, o número de árvores por parcela é sempre um pouco abaixo do que é nos outros dois locais, indicando uma mortalidade um pouco acima da média. De maneira mais importante, a altura máxima foi inferior neste local aos 1,5 anos, e continua estando bem abaixo daquele encontrado nos outros dois locais aos 2,7 anos. Este fato se confirma na comparação dos volumes médios por parcela:

"3034" se destaca em relação aos demais locais pelo baixo volume médio.

A diferença de produtividade entre os 3 locais não parece estar causada por problemas de fertilidade.

Com efeito, tendo em vista o aparente efeito negativo do potássio, o local "3034" seria o mais desfavorável ao crescimento de *Eucalyptus grandis*, por apresentar o teor médio mais alto dos três. Como já foi dito, no entanto, 0,091 meq/100 cm³ de potássio (tabela 15) é de fato um teor baixo. "3034" também padece de teores mais baixos de sulfatos do que os outros dois locais, fato que pode estar prejudicando ali o desenvolvimento dos clones.

Em relação ao pH, ou saturação por bases (ou % de cálcio), que têm um efeito positivo sobre o crescimento relativamente consistente, o local mais desfavorecido seria o "004/88", onde os valores encontrados são os mais baixos. Como já foi visto, porém, este fato não impediu "004/88" de ter uma produtividade praticamente igual à de "006/88" (tabelas 44 e 45).

Em termos de fertilidade, talvez o efeito mais marcante no local "006/88" seja o da matéria orgânica das camadas subsuperficiais, que parece estar beneficiando o crescimento, embora os valores desta variável sejam, no local "006/88", intermediários entre aqueles dos outros dois locais.

Além de uma explicação ligada à fertilidade, a qualidade inferior de sítio no local "3034" pode estar ligada a uma causa física. Esta poderia ser a maior resistência à penetração observada no solo desse local, ou um clima mais seco. Os dois fatores podem (e provavelmente estão) interligados, já que um solo mais seco comumente resiste mais à penetração. Certamente, é hoje uma prática corriqueira nesta região efetuar uma subsolagem antes da realização do plantio, o que tem produzido resultados bastante positivos.

A dificuldade encontrada para explicar a diferença de qualidade entre os três locais pode ser relacionada a três causas principais: uma, já mencionada, foi a distribuição no espaço dos pontos observados, a qual dificultou o estabelecimento de relações causa-efeito entre as variáveis do solo e as variáveis silviculturais. Assim, é recomendável, quando possível, estabelecer ensaios em mais de três locais.

Outro fator seria a situação dos locais usados para o teste clonal com relação aos postos meteorológicos: a extrapolação dos dados destes postos para os locais de estudo é um processo de valor duvidoso, principalmente quando se trata de dados de períodos curtos. Idealmente, os locais experimentais se encontrariam na imediata vizinhança de postos meteorológicos.

Em terceiro lugar, a decisão de evitar

determinações de maior complexidade, como curvas características de retenção de água, e testes de resistência à penetração, com diferentes níveis de umidade do solo, revelou-se um equívoco. Com efeito, se houvessem sido realizadas, o valor dessas determinações poderia ter sido precisamente avaliado, e os resultados poderiam ter esclarecido a questão da aptidão física dos solo para *E. grandis*. Outras determinações que provavelmente teriam ajudado são: a análise foliar para nitrogênio, fósforo, e, talvez, enxofre.

4.6. Comparação entre clones

Os dez clones usados neste estudo dividem-se, como será lembrado, em duas procedências: Rio Claro e Zimbabwe (antigamente: Rodésia). O efeito da procedência sobre diversas variáveis silviculturais pode ser visto na tabela 13. Este efeito é quase significativo a 5 % no caso do nº de árvores aos 2,7 anos. Talvez parcialmente como consequência, o efeito da procedência é significativo sobre a área basal das parcelas. Apesar disto, "procedência" não tem efeito significativo em relação ao volume por parcela, e nem na altura máxima, aos 2,7 anos.

Lembrando que os clones procedentes de Zimbabwe são o "1018", o "1030", e o "1255", a tabela 52 mostra que "1018" foi, aos 2,7 anos, o melhor clone, em termos de volume por área. "1030" foi, no entanto, o 2º pior, e

"1255" foi médio, dividindo o 5º lugar com o clone "517", procedente de Rio Claro.

A situação aos 1,5 anos era de certo modo oposta: "procedência" tinha pouco efeito sobre o número de árvores, mas um efeito não desprezível sobre a altura máxima (tabela 13).

Tabela 52 - Valores médios de diversas variáveis silviculturais para os 10 clones empregados no estudo.

Clones	Volume 2* (m3/ parc.)	Área basal 2 (m2/ parc.)	Altura máxima 2 (m)	Altura média 2 (m)	Nº arv. 2	Altura máxima 1 (m)	Alt. média 1 (m)	Nº arv. 1
6	0,704	0,131	19,56	18,68	9,0	9,67	9,10	9,0
57	0,753	0,122	19,78	18,70	8,1	10,06	9,16	8,8
271	0,539	0,103	18,83	17,92	8,6	9,83	9,24	8,7
517	0,685	0,107	18,06	16,35	8,2	8,06	7,04	8,7
805	0,713	0,123	18,72	17,78	8,8	9,56	8,49	9,3
987	0,591	0,117	17,83	17,23	9,7	8,56	7,70	10,9
1018	0,804	0,129	19,50	18,37	8,9	9,94	9,24	8,9
1030	0,507	0,125	18,89	17,55	10,0	8,39	7,48	10,1
1255	0,685	0,114	18,00	16,68	8,4	7,94	6,75	9,0
2219	0,486	0,100	18,22	17,41	8,7	7,56	6,89	8,4

*: "2" significa "idade = 2 anos e 8 meses (2,7 anos)";
 "1" significa = "idade 1 ano e 6 meses (1,5 anos)".

O efeito dos clones, quer se considere ou não o efeito das procedências, foi sempre de significância altíssima, em relação a todas as variáveis silviculturais consideradas (tabelas 12 e 13).

4.7. Interações genótipo-ambiente

As tabelas 12 e 13 mostram as probabilidades de se obter os efeitos encontrados neste estudo no caso em que as causas de variação estudadas fossem aleatórias em relação às variáveis-resposta medidas. Assim as chances de se obter o efeito da interação local-clone sobre a variável "volume" (tabela 12) na hipótese de um efeito nulo desta interação são 20 %, aproximadamente, ou 1 em 5. Esta probabilidade é relativamente alta, de modo que seria pouco prudente rejeitar a hipótese de efeito nulo.

Em relação às outras variáveis-resposta, o efeito da interação local-clone é ainda menos provável.

Quanto ao efeito da interação local-procedência, este chega próximo à significância de 5 % no caso do número de árvores aos 1,5 anos, e não é desprezível no caso do número de árvores aos 2,7 anos ($\alpha = 0,1238$). O efeito sobre as outras variáveis, principalmente "volume" e "altura máxima", é desprezível.

Não se deve esquecer, nesta altura, que as interações genótipo-ambiente não necessariamente se manifestam no início do ciclo das árvores, podendo se tornar significativas apenas após alguns anos (comparar, a este respeito, os resultados obtidos por ROJAS VERGARA, 1990, com aqueles de BERTOLOTI, 1986).

A explicação pela falta de interações genótipo-ambiente deve estar ligada tanto aos clones usados quanto

ao meio ambiente dos ensaios clonais.

Em relação aos clones, não foi possível descobrir se as procedências "Rio Claro" e "Zimbabwe" realmente constituem populações geneticamente distantes entre si ou não. No caso das diferenças genéticas entre os clones estudados serem poucas, os fatores ambientais suscetíveis de produzirem interações genótipo-ambiente seriam apenas aqueles de efeitos "simples", como, por exemplo, os relacionados com a nutrição das árvores. A razão seria que apenas umas poucas diferenças genéticas podem ter importantes conseqüências a nível da absorção de nutrientes, por exemplo, ou a nível do metabolismo destes.

No caso deste estudo, não ficou realmente bem evidenciada a existência de diferenças significativas de fertilidade entre os locais experimentais. O mais provável é que limitações a nível de disponibilidade de água, com ou sem dificuldades de penetração no solo pelo sistema radicular, foram as causas das diferenças de produtividade observadas entre os 3 locais. Como adaptações a esses tipos de "estresse" ambiental exigem muitas diferenças genéticas, a nível de diferenças entre espécies, não seria provável a ocorrência neste estudo de interações genótipo-ambiente significativas.

5. CONCLUSÕES

Em relação ao efeito global do solo sobre os clones concluiu-se que:

- não houve evidências de que a camada superficial (de 0 a 20 cm de profundidade) é mais importante para a previsão do crescimento de *Eucalyptus grandis*, nem de que as camadas subsuperficiais foram ganhando importância à medida que se desenvolveram as árvores.

- A matéria orgânica da camada 40 a 60 cm (variando em torno de 1,20 g/cm³) parece estar abaixo do ideal para o máximo crescimento.

- Na camada superficial (0 a 20 cm), níveis de pH, V%, e Ca% respectivamente em torno de 4,4 a 4,5, 31 %, e 38 % foram abaixo do ideal para *Eucalyptus grandis*, nas condições do estudo.

- O silte (com médias variando de 3 a 5 %), teve aparentemente um efeito negativo sobre o crescimento, embora não está claro se este efeito é real ou devido à peculiaridade do esquema de amostragem.

O coeficiente de determinação (R^2) dos modelos previsivos foi baixo: 0,40 para aquele que prevê a altura

máxima aos 2 anos e 8 meses, com base em todas as variáveis medidas. Isto foi devido a estas variáveis não refletirem, aparentemente, o principal fator de diferenças de crescimento.

O estudo dos dados climáticos apontou para um gradiente de déficit hídrico na área de estudos, o qual foi provavelmente a principal causa das diferenças de produtividade observadas entre os locais estudados. Estas diferenças a nível de déficit hídrico podem estar associadas a diferenças de penetrabilidade do solo. Outra constatação feita a partir destes dados foi que as temperaturas nesta região são mais altas do que seria ideal para *Eucalyptus grandis*, de acordo com a literatura consultada.

Não foram encontradas interações genótipo-ambiente (IGAs) significativas envolvendo as variáveis relacionadas com a produtividade, embora houve interações fracas envolvendo o número de árvores por parcela (relacionado com a sobrevivência e a bifurcação).

A razão da ausência de IGAs significativas envolvendo a produtividade é provavelmente a combinação da gama de genótipos utilizada com o tipo de fator ambiental em jogo. Um fator ambiental limitante ao crescimento como a deficiência hídrica exige sem dúvida extensas modificações genéticas para uma adaptação a ele; um grupo de genótipos pouco diferentes entre si, como pode ter sido o caso o caso

deste estudo, não apresentaria normalmente um IGA com tal fator ambiental.

Em relação ao delineamento experimental, concluiu-se que para poder estudar convenientemente as causas de interações genótipo-ambiente, os ensaios deveriam ser plantados em mais de três locais. Alternativamente, realizar-se-ia um estudo solo-sítio, nos moldes tradicionais, antes de se instalar o ensaio de clones.

Outro ponto relevante é que, para se poder realmente aproveitar dados climáticos de períodos curtos, os ensaios deveriam ser locados o mais próximo possível dos postos meteorológicos.

O método empregado neste estudo poderia ser melhorado de diversas maneiras:

- é importante, na análise química, a determinação do alumínio trocável;
- poderiam ter sido determinadas as curvas características de retenção de água em algumas amostras de solo. Isto teria permitido tornar mais precisos os balanços hídricos;
- teria sido interessante testar a resistência do solo à penetração, talvez sob diferentes combinações de umidade;
- a análise granulométrica dos horizontes subsuperficiais teria contribuído ao entendimento do efeito ambiental; em particular, teria permitido extrapolar para todas os pontos estudados os resultados das curvas características de retenção de água e das determinações de resistência à

penetração. Também teria permitido avaliar, nas condições do estudo, o efeito de gradientes texturais sobre *E. grandis*.

- a análise foliar, em particular para nitrogênio e fósforo, poderia ter esclarecido algumas dúvidas com respeito à fertilidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBAN, D.H. Red pine site index in Minnesota as related to soil and foliar nutrients. *Forest Science*, Washington 20(3): 261-9, Sept. 1974.

ANDERSON, C.A. & LADIGES, P.Y. A comparison of three populations of *Eucalyptus obliqua* L'Herit. growing on acid and calcareous soil in southern Victoria. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 26(1): 93-103, Feb. 1978.

BAKER, J.B. & BROADFOOT, W.M. A new technique of site selection for hardwoods. *Southern Journal of Applied Forestry*, Washington 2(2): 42-3, May 1978.

BALLONI, E.A.; BERTOLOTI, G.; LOPES MORA, A.; SILVA, A.P. Estudo do comportamento florestal de *E. saligna* e *E. grandis* da Austrália, em diversos espaçamentos. *IPEF*, Piracicaba, 8(27): 11-3, dez. 1980.

BARROS, N.F. de. Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com alturas de *E. alba* na região de Santa Bárbara - MG. Viçosa, 1974. 100p. (M.S. - Universidade Federal de Viçosa).

BARROS, N.F. de; SILVA, O.M.; PEREIRA, A.R.; BRAGA, J.M.; LUDWIG, A. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P, e K no Vale do Jequitinhonha, MG. IPEF, Piracicaba, (26): 13-7, abr. 1984.

BASSET, J.R. Tree growth as affected by soil moisture availability. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 28(3): 436-8, May/June 1964.

BERTOLOTI, G. Comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden em solo Podzólico Vermelho Escuro e Areia Quartzosa álica em Lençóis Paulista, SP. Piracicaba, 1986. 90p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BOOTH, T.H. & PRYOR, L.D. Climatic requirements of some commercially important eucalypt species. Forest Ecology and Management, Amsterdam, 43(1/2): 47-60, Sept. 1991.

BOTKIN, D.B. Prediction of net photosynthesis of trees from light intensity and temperature. *Ecology*, Durham, 50(5): 854-8, 1969.

BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 6. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. 647p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal*. Rio de Janeiro, 1958. 350p. (Boletim Técnico, 11)

BROWN, H.G. & LOWENSTEIN, H. Predicting site productivity of mixed conifer stands in northern Idaho from soil and topographic variables. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 42(6): 967-71, Nov./Dec. 1978.

BURDON, R.D. Clonal repeatabilities and clone-site interactions in *Pinus radiata*. *Silvae genetica*, Frankfurt, 20(1/2): 33-9, Juli, 1971.

CAMPBELL, R.K. & WILSON, B.C. Spacing-genotype interaction in Douglas-fir. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 22(1/2): 15-20, Apr. 1973.

CARMEAN, W.H. Black oak site quality in relation to soil and topography in southeastern Ohio. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 29(3): 308-12, May/June 1965.

CARMEAN, W.H. Soil survey refinements for predicting black oaks site quality in southeastern Ohio. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 31(6): 805-10, Nov./Dec. 1967.

CARMEAN, W.H. Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy*, New York, 27: 209-69, 1975.

CATINOT, R. Premières réflexions sur une possibilité d'explication physiologique des rythmes annuels d'accroissement chez les arbres de la forêt tropicale africaine. *Bois et forêts tropicaux*, Nogent-sur-Marne, (131): 3-36, Mai/Juin 1970.

CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. *Timber management: a quantitative approach*. New York, John Wiley, 1983. 351p.

COILE, T.S. Soil and the growth of forests. *Advances in Agronomy*, New York, 4: 329-98, 1952.

COOLING, E.N. & JONES, B.E. The importance of boron and NPK fertilizers to *Eucalyptus* in the Southern Province, Zambia. *East African Agriculture and Forestry Journal*, Nairobi, 36(2): 185-94, Oct. 1970.

COOPER, A.W. An example of the role of microclimate in soil genesis. *Soil Science*, Baltimore, 90(2): 109-20, Aug. 1960.

COVINGTON, W.W. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in Northern hardwoods. *Ecology*, Durham, 62(1): 41-8, Feb. 1981.

CROMER, R.N. The influence of nutrition on growth and photosynthesis in *Eucalyptus*. In: SYMPOSIUM ON SITE & PRODUCTIVITY OF FAST-GROWING PLANTATIONS, Pretoria and Pietermaritzburg, 1984. *Proceedings*. Pretoria, South African Forest Research Institute, 1984. v.2, p.669-78.

DILLNER, B. & JONSSON, P. A Classification of hardwood pulps for paper. In: SYMPOSIUM ON NEW PULPS FOR THE PAPER INDUSTRY, Brussels, 1979. *New pulps for the paper industry; proceedings*. San Francisco, Miller Freeman, 1979. p.25-35.

DOURADO NETO, D. & JONG VAN LIER, Q. Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes: manual do usuário. Piracicaba, USP/ESALQ. Departamento de Agricultura, 1991. 58p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de levantamento e conservação do solos. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco; Estado da Bahia. Recife, 1979. 2v. (EMBRAPA/SNLCS. Boletim técnico, 52) 1296p.

EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. New York, John Wiley, 1972. 412p.

ESU, I.E. & GRIGAL, D.F. Productivity of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.) as related to soil mapping units in northern Minnesota. Soil Science Society of America Journal, Madison, 43(6): 1189-92, Nov./Dec. 1979.

FASSBENDER, H.W. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, IICA, 1982. 398p.

FLORENCE, R.G. Eucalypts, sites and silviculture. In: SYMPOSIUM ON SITE & PRODUCTIVITY OF FAST-GROWING PLANTATIONS, Pretoria and Pietermaritzburg, 1984. Proceedings. Pretoria, South African Forest Research Institute, 1984. v.2, p.609-20.

FAO FOREST PRODUCTS YEARBOOK - 1978-1989, Rome, p.188, 1991.

FRIES, A. Spacing interaction with genotype and with genetic variation for production and quality traits in a trial of seedlings and grafted clones of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Silvae genetica*, Frankfurt, 33(4/5): 145-52, Okt. 1984.

GONÇALVES, J. L. M. 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. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

GREEN, J.W. Continuous measurements of radial variation in *Eucalyptus pauciflora* Sieb. ex Spreng. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 17(2): 191-8, Aug. 1969.

GREY, D.C. Site quality prediction for *Pinus patula* in the Glengarry Area, Transkei. **South African Forestry Journal**, Pretoria, (111): 44-8 Oct./Dec. 1979a.

GREY, D.C. Soil classification and site index of *Pinus patula*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, (111): 64-5, Oct./Dec. 1979b.

GREY, D.C. Site requirements of *Pinus radiata*: a review. **South African Forestry Journal**, Pretoria, (148): 23-32, Mar. 1989.

HAMILTON, W.N. & KRAUSE, H.H. Relationship between Jack pine growth and site variables in New Brunswick plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, 15(5): 922-6, Oct. 1985.

HARDING, B.R.; GRIGAL, D.F.; WHITE, E.H. Site quality evaluation for white spruce plantations using discriminant analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 49(1): 229-32, Jan./Feb. 1985.

HERBERT, M.A. Fertilizer / site interactions on the growth and foliar nutrient levels of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 30(1/4): 247-57, Feb. 1990.

HERBERT, M.A.; JACKSON, D.A.; VERLOREN VAN THEMAAT, R.
Final findings on the response of *Eucalyptus grandis* to
fertilizing at De Kaap, Eastern Transvaal. **South
African Forestry Journal**, Pretoria, (122): 53-8, Sept.
1982.

HUTCHEON, W.L. & RENNIE, D.A. The relationship of soil
moisture stress and nutrient availability to the growth
characteristics and quality of wheat. In: INTERNATIONAL
CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7., Madison, 1960.
Transcripts, Saskatoon, University of Saskatchewan,
1960. v.3, p.488-95.

JACKSON, D.S. A neglected criterion for assessing site
factors. Rotorua, New Zealand Forest Service, 1967.

JACKSON, D.S. Soil factors that should influence
allocations of land for forestry and agriculture. **New
Zealand Journal of Forestry**, Rotorua, 18(1): 55-62,
1973.

JAMISON, V.C. & KROTH, E.M. Available moisture storage
capacity in relation to textural composition and organic
matter content of several Missouri soils. **Soil Science
Society of America Proceedings**, Madison, 22(3): 189-92,
May/June 1958.

JOHNSON, J.E.; HAAG, C.L.; BOCKHEIM, J.G.; ERDMANN, G.G.
Soil-site relationships and soil characteristics associated with even-aged red maple (*Acer rubrum*) stands in Wisconsin and Michigan. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 21(1/2): 75-89, Sept. 1987.

JONSSON, K.; FIDJELAND, L.; MAGHEMBE, J.A.; HOGBERG, P.
The vertical distribution of fine roots of five tree species and maize in Morogoro, Tanzania. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, 6(1): 63-9, 1988.

KEENEY, D.R. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: a literature review. *Forest Science*, Washington, 26(1): 159-71, Mar. 1980.

KHASAWNEY, F.E.; SAMPLE, E.C.; HASHIMOTO, I. Reactions of ammonium ortho- and polyphosphate fertilizers in soil: I. Mobility of phosphorus. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 38(3): 446-51, May/June 1974.

KNUDSON, D.; YAHNER, J.E.; CORRÊA, H. Adubação de *Eucalyptus saligna* SM. em solos do cerrado de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CERRADOS, 2., Sete Lagoas, 1967. *Anais*. Sete Lagoas, Ministério da

Agricultura/Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária, 1972. p.101-25.

KUSHLA, J.D. & FISHER, R.F. Predicting slash pine response to nitrogen and phosphorous fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, **44**(6): 1303-6, Nov./Dec. 1980.

LISBÃO, L. O efeito da geada e o comportamento de *Eucalyptus dunni* Maiden, em ensaio conjugado de mini-espacamentos e adubação. *Boletim de Pesquisa Florestal*. EMBRAPA, Curitiba, (1): 28-49, dez. 1980.

MADER, D.L. Soil-site productivity for natural stands of white pine in Massachussets. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, **40**(1): 112-5, Jan./Feb. 1976.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRQ, M.O.C. *Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas*. São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.

MARGULES, C.R.; NICHOLLS, A.O.; AUSTIN, M.P. Diversity of *Eucalyptus* species predicted by a multi-variable environmental gradient. *Oecologia*, Berlin, **71**(2): 229-32, Jan. 1987.

MATHESON, A.C. & COTTERILL, P.P. Utility of Genotype X Environment Interactions. Forest Ecology and Management, Amsterdam, 30(1/4): 159-74, Feb. 1990.

McCOLL J.G. Soil-plant relationships in a *Eucalyptus* forest in the south coast of New South Wales. Ecology, Durham, 50(3): 354-62, 1969.

MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRº, J.; SIMÕES, J.W.; COUTO, H.T.Z. do. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm em solos de cerrado do estado de São Paulo. IPEF, Piracicaba, (1): 7-26, 1970.

MORGENSTERN, E.K. Interactions between genotype, site and silvicultural treatment. Chalk River, Petawawa National Forestry Institute, 1982. 18p. (Information Report, PI-X-14)

MULLETTE, K.J. Stimulation of growth in *Eucalyptus* due to aluminum. Plant and Soil, The Hague, 42: 495-9, 1975.

MULLETTE, K.J.; HANNON, N.J.; ELLIOTT, A.G.L. Insoluble phosphorus usage by *Eucalyptus*. Plant and Soil, The Hague, 41: 199-205, 1974.

MUNN, L.C. & VIMMERSTEDT, J.P. Predicting height growth of yellow-poplar from soils and topography in southern Ohio. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44(2): 384-7, Mar./Apr. 1980.

NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F.; ANJOS, J.L. Efeito do alumínio em amostras de dois latossolos sob cerrado sobre o crescimento e absorção de nutrientes de mudas de *Eucalyptus* spp. *Revista Árvore*, Viçosa, 6(1): 17-28, jan./jun. 1982.

NIELSEN, G.A. & HOLE, F.D. Earthworms and the development of coprogenous A1 horizons in forest soils of Wisconsin. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28(3): 426-30, May/June 1964.

PALMER, J.R. Jari: Leçons pour les responsables de mise en valeur des terres sous les tropiques. *Bois et Forêts des tropiques*, Nogent-sur-Marne, (212): 3-27, 1986.

PATINHO-VALERA, F. Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento. Piracicaba, 1986. 192p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B. van Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3(3): 184-7. set./dez. 1979.

QUIJADA R., M. Interacción genótipo-ambiente. In: CURSO DE CAPACITACIÓN FAO/DANIDA SOBRE LA MEJORA GENETICA DE ARBOLES FORESTALES, Mérida, 1980. *Mejora genética de árboles forestales*. Roma, FAO, 1980. p.231-5. (Estudio FAO: Montes, 20).

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo, Ceres, 1991. 343p.

RALSTON, C.W. Evaluation of forest site productivity. *International Review of Forest Research*, New York, 1: 171-201, 1964.

ROJAS VERGARA, P. Plantios clonais e multiclonais em relação a outros materiais genéticos de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden na região de Lençóis Paulista, SP. Piracicaba, 1989. 82p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SCHLATTER, J.E. & GERDING, V.R. Important site factors for *Pinus radiata* growth in Chile. In: SYMPOSIUM ON SITE &

PRODUCTIVITY OF FAST-GROWING PLANTATIONS, Pretoria and Pietermaritzburg, 1984. **Proceedings.** Pretoria, South African Forest Research Institute, 1984. v.2, p.541-9.

SCHÖNAU, A.P.G. The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentrations in *E. grandis*. **Fertilizer Research**, The Hague, 2(2): 73-87, 1981.

SCHÖNAU, A.P.G. & ALDWORTH, W.J.K. Site evaluation in black wattle with special reference to soil factors. **South African Forestry Journal**, Pretoria, (156): 35-43, Mar. 1991.

SCHÖNAU, A.P.G. & FITZPATRICK, R.W. A tentative evaluation of soil types for commercial afforestation in the transvaal and Natal. **South African Forestry Journal**, Pretoria, (116): 28-39, Mar. 1981.

SCHÖNAU, A.P.G. & PURNELL, R.C. A different approach to site evaluation and some preliminary results. **South African Forestry Journal**, Pretoria, (141): 19-25, June 1987.

SCHÖNAU, A.P.G. & SCHLZE, R.E. Climatic and altitudinal criteria for commercial afforestation with special

reference to Natal. South African Forestry Journal, Pretoria, (130): 10-8, Sept. 1984.

SHETRON, S.G. Forest site productivity among soil taxonomic units in northern lower Michigan. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(2): 358-63, Mar./Apr. 1972.

SHETRON, S.G. Distribution of free iron and organic carbon as related to available water in some forested sandy soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 38(2): 359-62, Mar./Apr. 1974.

SHOUDERS, E. Poor aeration cuttails slash pine root growth and nutrient uptake. New Orleans, Southern Forest Experiment Station, 1976. 6 p. (U.S.D.A. Forest Service. Research Note, SO-218)

SHOUDERS, E. & WALKER, F. V. Soil, slope, and rainfall affect height and yield in 15-year-old southern pine plantations. New Orleans, Southern Forest Experiment Station, 1979. 52p. (U.S.D.A. Forest Service. Research Paper, SO-153)

SMECK, N.E. Phosphorous: an indicator of pedogenetic weathering processes. *Soil Science*, Baltimore, 115(3): 199-206, 1973.

SUCHEK, V.I. The role of the planted forest in the pulp and paper industry in Brazil. *Forestry Chronicle*, Quebec, 67(6): 636-48, Dec. 1991.

SYMPOSIUM ON NEW PULPS FOR THE PAPER INDUSTRY, Brussels, 1979. *New pulps for the paper industry; proceedings*. San Francisco, Miller Freeman, 1979. 100p.

TACKETT, J.L. & PEARSON, R.W. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 26(5): 600-4, Sept./Oct. 1964.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Centerton, N.J. Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, v.10, n.3).

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. 4.ed. New York, Macmillan Publ., 1985. 754p.

- TRIMBLE Jr., G.R. An equation for predicting oak site index without measuring soil depth. *Journal of Forestry*, Washington, 62: 325-7, May 1964.
- TURNER, J. Site information for plantation establishment and management. In: SYMPOSIUM ON SITE & PRODUCTIVITY OF FASTGROWING PLANTATIONS, Pretoria and Pietermaritzburg, 1984. *Proceedings*. Pretoria, South African Forest Research Institute, 1984. v.1, p.125-38.
- TURNER, J. & HOLMES, G.I. Site classification of *Pinus radiata* plantations in the Lithgow district, New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 12(1): 53-63, Aug. 1985.
- TURVEY, N.D.; BOOTH, T.H.; RYAN, P.J. A soil technical classification system for *Pinus radiata* (D.Don) Plantations. II. A basis for estimation of crop yield. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, 28: 813-24, 1990.
- TURVEY, N.D.; RUDRA, A.B.; TURNER, J. Characteristics of soil and productivity of *Pinus radiata* (D.Don) in New South Wales, I. Relative importance of soil physical and chemical parameters. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, 24(1): 95-102, 1986.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. coord. **Melhoramento do milho no Brasil.** Piracicaba, Fundação Cargill, 1978. p.122-201.

VIEIRA, L.S. & VIEIRA, M.N.F. **Manual de morfologia e classificação de solos.** 2.ed. São Paulo, Ceres, 1983. 313p.

WATTLE RESEARCH INSTITUTE. **Report for 1979-1980.** Pietermaritzburg, University of Natal, 1980. 131p.

WHITE, D.P. & WOOD, R.S. Growth variations in a red pine plantation influenced by a deep-lying fine soil layer. **Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 22(2): 174-7, Mar./Apr. 1958.**

WOODBIDGE, REED and ASSOCIATES. **World Market Pulp Demand with special reference to *Eucalyptus*.** Edmonton, For. Res. Devel. Agree., 1986. 33p.

YOUNG, H.E. Forest soils-site index studies in Maine. **Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 18(1): 85-7, Jan. 1954.**

ZOBEL, B. & TALBERT, J. **Applied forest tree improvement.** New York, John Wiley, 1984. 505p.

ANEXO

DESCRIÇÃO DE PERFIS DE SOLOS

LOCAL "3034" - Perto da repetição Y

HOR.	PROF. (cm)	COR	NOME	TEXTURA	ESTRUTURA	DENSI DADE [#]	CTC*	V %	MO %
Ap	0-15	10 YR 4/2		Areia franca	granular, pequena méd., fraca.	1,47	4,7	72	2,5
AB	15-20				bl. angular-subang., méd., +ou-fortes				
	20-30								
B	30-40	10 YR 5/4	Bruno amarelado.		blocos angulares médios fortes	1,70	4,4	14	0,8
	40-60			Franco-argilo-arenoso, ou Franco-arenoso					
	60-80								
	80-90			Franco-argilo-arenoso.					
Bg	90-100	10 YR 6/6 (man-chas: 5 YR 6/8)	Ama-relo-brunado (pre-dom.)		blocos angulares fortes	1,45			
	100-320						3,7	8	0,4

* em g/cm³, obtido pelo método do torrão.
 . em meq/100 cm³.

LOCAL "3034" - Dentro da repetição Z.

HOR.	PROF. (cm)	COR	NOME DA COR	TEXTURA	ESTRUTURA	RAIZES	DENSI- DADE#	CTC*	V %	MO %
A1p	0 a 12			Franco- arenosa	Maciça - Bl. subang. médias, mto. fraca	Abun- dantes		4,6	39 a 47	2,3
A ₂	12-20				Bl. subang. médios, média	Comuns				
	20-27									
A3	27-37				Bl. ang/ subang médios, med a forte	Comuns				
BA	37 - 40	10 YR 6/4	Bruno amarela do		Blocos sub- angulares, forte	Um pouco menos que no A3	1,65		16	0,8
	40-55			Franco- argilo- arenosa ou Franco arenosa				4,9		
B21	55-60	10 YR 6/4	Bruno amarela do claro		Blocos (ou lamelas ?) ang. ou subang, mto forte	1,48	1,67			
	60-80									
	80-90			Franco- argilo- arenoso.						
	90-100	10 YR 6/6	Amarelo brunado mosq.		Bl.ang.méd, mto forte		1,48	4,55	6,5	0,2

* em g/cm³, obtido pelo método do torrão.
 . em meq/100 cm³.

LOCAL "006/88" - Repetição Y

HOR.	PROF. (cm)	COR	NOME DA COR	TEXTURA	ESTRUTURA	DENSI- DADE [#]	CTC [*]	V %	MO %
Ap	0-12	10 YR 3/2	Bruno acinzent.m to escuro	Areia Franca	Maciça	1,25	4,9	69	3,3
A2	12- 20	10 YR 4/2	Bruno acinz. escuro		Maciça	1,74			
	20- 40								
E	40- 50	10 YR 5/4	Bruno amarel.	Franco- arenosa	Bl.subang. méd. fraca	1,53	4,3	42	1,1
BA	50- 60	10 YR 5/4	Bruno amarel.		Bl.subang moderada				
B1	60-80	10 YR 5/6	Bruno amarelado	Franco argilo arenosa	Blocos subangulare s médios moderada.				
	80-100								
	100- 124								
Bc2	124- 170	10 YR 6/6	Amarelo brunado		Bl.subang méd.fraca	1,45	3,6	31	0,7
Bc3	170- 200+	10 YR 6/8	Amarelo brunado		Bl.subang fraca	1,53			

[#] em g/cm³, obtido pelo método do torrão.
^{*} em meq/100 cm³.

004/88 - Repetição V

HOR.	PROF. (cm)	COR	NOME DA COR	TEXTURA	ESTRUTURA	RAIZES	DENSI- DADE [#]	CTC [*]	V %	MO %
Alp	0 - 11	5 YR 3/1	Preto	Areia		Abun- dantes		3,9	21	2,1
E	11-20		Cinza		Bl. subang. médios, muito fraca - Maciça.	Muito comuns				
	20-40									
	40-60			Areia				7,3	21	1,2
B1m	60-80	7,5 YR 3-2/4	Marrom mto esc.		Muito duro, maciça	Poucas	1,35			
B2	80-100	10 YR 4/3		Franco arenoso	Bl. ang. méd. mto fracos - Maciça.	Raras		4,5	24	0,8
B3	100- 166	10 YR 5/3	Bruno		Bl. subang. médios, muito fraca - Maciça	Comuns				
B4	166- 210	10 YR 6/3,5	Bruno claro acinz.		Maciça	Raras				
	210	10 YR 6/2		Pedras cimentadas por silício.						

[#] em g/cm³, obtido pelo método do torrão.
^{*} em meq/100 cm³.

"004/88" - Repetição X

HOR.	PROF. (cm)	COR	NOME DA COR	TEXTURA	ESTRUTURA	RAÍZES	DENSI- DADE [#]	CTC [*]	V %	MO %
Ap	0-16	10 YR 4/2	Bruno acinz. escuro	Areia	grumos peq. a médios mto. fraca a maciça	Abun- dantes		2,5	12	1,6
	16-20	10 YR 4/2	Bruno acinz. escuro		bl. angul. méd. fraca a maciça	Poucas				
E	20-40									
	40-60			Areia franca	blocos angulares médios, forte	Muito poucas		4,0	5	0,8
BA	60-80	10 YR 4/4	Bruno amarel. escuro				1,53			
	80-90			Franco- argilo- arenosa				4,5	7	0,7
Bg2	90- 100	10 YR 6/8	Amarelo brunado , c/ mosq.		blocos angul. méd. a grd, mto. forte	Poucas (mas gros- sas)	1,53			
	100- 150									

[#] em g/cm³, obtido pelo método do torrão.
^{*} em meq/100 cm³.