

CRESCIMENTO DE CLONES DE *Eucalyptus saligna* Smith, NA DEPRESSÃO CENTRAL E SERRA DO SUDESTE, RIO GRANDE DO SUL

GROWTH OF CLONES OF *Eucalyptus saligna* Smith, IN THE CENTRAL DEPRESSION AND SOUTHEASTERN MOUNTAIN RANGE, RIO GRANDE DO SUL

Helio Tonini¹ Paulo Renato Schneider² Cesar Augusto Guimarães Finger³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar o efeito de variáveis ambientais, como a posição do relevo, a exposição, a declividade, a adubação, o preparo de solo e o solo, sobre o crescimento em altura dominante, como base para estabelecer futuramente um sistema de predição do crescimento e produção para três clones de *Eucalyptus saligna*. Para a análise da influência dos fatores ambientais sobre o padrão de crescimento em altura dominante, utilizou-se a análise de covariância. A análise de covariância indicou que o solo foi o fator ambiental responsável pela variação no padrão de crescimento em altura dominante e que as variações neste padrão ocorreram entre clones e dentro de um mesmo clone, sendo observados seis diferentes padrões de crescimento. Isso indica que as curvas de índice de sítio devem ser construídas levando-se em consideração o clone e o grupo de solo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; clones; curva de crescimento; altura dominante.

ABSTRACT

This work was undertaken to verify the effect of environmental variables such as the relief position, exposition, downward slope, soil and soil preparation on the dominant height growth, as base to establish a future system of growth and production prediction for three clones of *Eucalyptus saligna*. For the analysis of environmental factors influence on the dominant height growth pattern the covariance analysis was used. The covariance analysis indicated that the soil was the environmental factor responsible for the variation in the growth pattern in dominant height and that the variations in this pattern, occurred among clones and within the clone. There were observed six different growth patterns, indicating that the curves of site index should be built being taken in consideration the clone and the soil group.

Key words: *Eucalyptus*; clones; growth curves; dominant height.

INTRODUÇÃO

Devido às condições ambientais favoráveis e à evolução nas técnicas de silvicultura, manejo e melhoramento genético, as florestas brasileiras de eucalipto estão entre as mais produtivas do mundo. A necessidade de se produzir florestas altamente produtivas, com madeira de alta densidade, baixos teores de extrativos e outras características que se correlacionam positivamente com a qualidade do produto final, tem levado as empresas brasileiras a investimentos cada vez maiores em programas de melhoramento genético, com a utilização de técnicas como a hibridação e a clonagem.

A clonagem é considerada, mundialmente, como a maneira mais eficiente de se produzir madeira em qualidade e quantidade exigidas pelo mercado. Possibilita a produção em massa de madeira com características previamente selecionadas e assegura maior rendimento no processo de produção em todas as suas etapas. Além disso podem ser obtidos ganhos expressivos na qualidade do produto final devido a maior homogeneidade da matéria-prima.

Segundo Patiño Valera (1988), existem características que não sofrem grandes alterações com as variações ambientais. Porém, as características de maior importância econômica são quantitativas, e pequenas variações no ambiente podem ser suficientes para provocar modificações fenotípicas significativas

1. Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador do CPAF-EMBRAPA/Roraima, Br 174, Km 8, Distrito Industrial, CEP 69301-970, Boa Vista (RR). helio@cpafr.embrapa.br

2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). paulors@smail.ufsm.br

3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). finger@ccr.ufsm.br

em volume, altura, diâmetro etc...

A altura dominante, pela facilidade de determinação a campo, por possuir boa correlação com a produção volumétrica e por ser independente da densidade do povoamento, é considerada mundialmente como o melhor indicador da capacidade produtiva do sítio (Burger, 1976).

Trabalhos como os de Meyer *et al.* (1961), Buford e Mckee (1988), Guldin *et al.* (1988), Ares (1993), Ares e Marlats (1995), Gerding e Schlatter (1995) e Barra (1996) relacionaram o crescimento de diferentes espécies florestais com fatores de sítio, utilizando as mais variadas técnicas estatísticas como análise multivariada, correlação e análise de regressão, o que confirma as afirmativas de Grey (1983) de que os modelos que incluem um grande número de variáveis e uma estatística mais complexa têm sido os mais utilizados recentemente. No entanto, uma cuidadosa escolha de um grupo de variáveis deve explicar de 65 a 80% da variação no crescimento das árvores para que se façam prognoses aceitáveis.

Este parece ser o principal problema das classificações de sítio por fatores ecológicos, pois dependem da correlação com os valores de índice de sítio como medida de sua acuracidade, o que faz com que a habilidade destas funções em predizer o crescimento em termos de índice de sítio seja bastante pobre.

Segundo Buford e Mckee (1988), o crescimento em altura das árvores é um processo dinâmico. As mudanças no solo ou outras condições ambientais acarretam variações no crescimento em altura dominante durante toda a vida das árvores, e o índice de sítio é uma medição do resultado cumulativo destas condições de crescimento em uma idade índice. Não é surpresa, portanto, que os parâmetros ambientais, medidos em um dado ponto no tempo, não sejam capazes de fazer predições aceitáveis, sendo necessário incluir medições dinâmicas em modelos futuros.

As espécies podem reagir de forma diferente em um mesmo solo, árvores de uma mesma espécie podem reagir diferentemente em um determinado solo em idades diferentes (Davis, 1966) e, ainda, o padrão de crescimento em altura pode variar não somente entre grupos de solo mas dentro de um mesmo grupo (Carmean, 1979).

Logo, uma vez que a clonagem é uma realidade com tendência irreversível, existindo áreas cada vez maiores plantadas com esse tipo de material genético, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar o efeito de variáveis ambientais, como a posição no relevo, a exposição, a declividade, o preparo de solo, o solo e a adubação, sobre a curva de crescimento da altura dominante para três clones de *Eucalyptus saligna*, como forma de subsidiar a construção de curvas de índice de sítio, fundamentais em um modelo de crescimento e produção florestal.

MATERIAL E MÉTODO

Localização da área e caracterização dos clones

Os dados para a realização deste estudo foram oriundos de 608 parcelas permanentes, com um mínimo de uma e um máximo de quatro medições, localizadas em 29 hortos florestais e distribuídas sobre três clones de *Eucalyptus saligna*, pertencentes à empresa Klabin Riocell S.A, localizada em Guaíba, a 20 Km de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul.

A área plantada com os clones de *Eucalyptus saligna*, denominados 4013, 175 e 2480, é de 4.325,8 hectares, totalizando 10,9% da área total da empresa. As matrizes tiveram origem em sementes coletadas na Austrália, que foram levadas para Itatinga, SP, onde foram semeadas e selecionadas as melhores árvores, principalmente em relação ao crescimento e à qualidade do fuste. Estas árvores foram abatidas e, de suas brotações, surgiram as estacas que deram origem aos clones.

Características edafoclimáticas

Os hortos florestais, onde foram coletados os dados, abrangem duas regiões fisiográficas distintas: a Depressão Central e a Encosta do Sudeste. Conforme a classificação de Köppen, o clima geral é caracterizado como do tipo Cfa, ou seja, mesotérmico subtropical, com verões quentes e sem estação seca.

Segundo a classificação de solos existente para as áreas da empresa, os solos mais comumente encontrados na região da Encosta do Sudeste são os Neossolos e os Cambissolos e, na Depressão Central, os

Nitossolos e Argissolos, também ocorrendo Gleissolos e Planossolos, mais comumente encontrados próximo ao litoral.

Segundo Hermann e Rosa (1990), a região da encosta do sudeste localiza-se sobre a unidade de relevo denominada de Planalto Sul-Rio-Grandense, que se caracteriza por apresentar forma triangular, com altitude ao redor dos 400 metros e relevo fortemente ondulado. A Depressão Central faz parte das depressões periféricas da bacia do Rio Paraná e se constitui em uma área sem grandes variações altimétricas, com as maiores cotas situando-se ao redor dos 200 metros.

Os dados

As parcelas permanentes se encontravam distribuídas sobre 3 clones de *Eucalyptus saligna*, denominados de 4013, 175 e 2480, todos em primeira rotação, devido a existência de poucas áreas em segunda rotação plantadas com este tipo de material genético.

O processo amostral utilizado pela empresa é a amostragem aleatória estratificada, na qual os estratos são formados pelo horto florestal, espécie, rotação, ano de plantio ou corte e espaçamento. As unidades amostrais utilizadas possuem a forma retangular com as dimensões de 24 x 18 m (432 m²) e 27 x 18 m (486 m²), sendo a última utilizada com espaçamentos de 2,7m. No interior de cada unidade amostral, foram medidos o diâmetro à altura do peito de cada árvore, a altura das 10 primeiras árvores e a altura das 4 árvores mais grossas, seguindo o conceito de altura dominante definido por Assmann.

Como a capacidade produtiva de uma área florestal depende da ação e interação de fatores abióticos, climáticos, edáficos e topográficos, influenciados pelas técnicas silviculturais e de manejo florestal, foram levantadas a campo algumas características topográficas e de solo, como a posição do relevo, a exposição, a inclinação e a presença de afloramentos rochosos. A exposição foi obtida com a utilização de bússola magnética, e a inclinação do terreno, com o Vertéx.

A esses levantamentos juntaram-se dados de classificação e preparo de solo existentes no banco de dados da empresa. A Figura 1 mostra o número total de unidades amostrais para cada fator ambiental analisado, na qual se pode observar que a maior parte das unidades amostrais estavam localizadas em áreas planas e suavemente onduladas, em solos sem a ocorrência de afloramentos rochosos e em talhões que não sofreram adubação inicial. Devido ao pequeno número de unidades amostrais localizadas em áreas com afloramentos rochosos, optou-se por não considerar este fator.

Comparação entre as tendências de crescimento para clones

Para avaliar o comportamento da curva de crescimento em altura dominante, foram selecionadas e ajustadas 8 equações lineares e não – lineares, freqüentemente utilizadas por diferentes pesquisadores em diferentes regiões do País e do mundo, que são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 : Equações utilizadas para descrever o crescimento em altura em função da idade.

TABLE 1: Models used to describe the height growth in function of the age.

Número	Autor	Equação
1	Schumacher	$\ln h_{100} = b_0 + b_1 (1/t)$
2	Backman	$\ln h_{100} = b_0 + b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t$
3	Prodan	$h_{100} = \frac{t^2}{b_0 + b_1 t + b_2 t^2}$
4		$h_{100} = b_0 + b_1 t + b_2 t^2$
5		$h_{100} = b_0 + b_1 t + b_2 (1/t)$
6		$\ln h_{100} = b_0 + b_1 \ln(1/t) + b_2 \ln(1/t)^2$
7	Richards	$h_{100} = A * (1 - \exp(-kt))^r$
8	Mitscherlich	$h_{100} = b_1 \exp^{-b_2 t^{b_3}}$

Em que: h_{100} = altura dominante em metros; t = idade em anos; b_0, b_1, b_2, b_3, A, k e r = coeficientes.

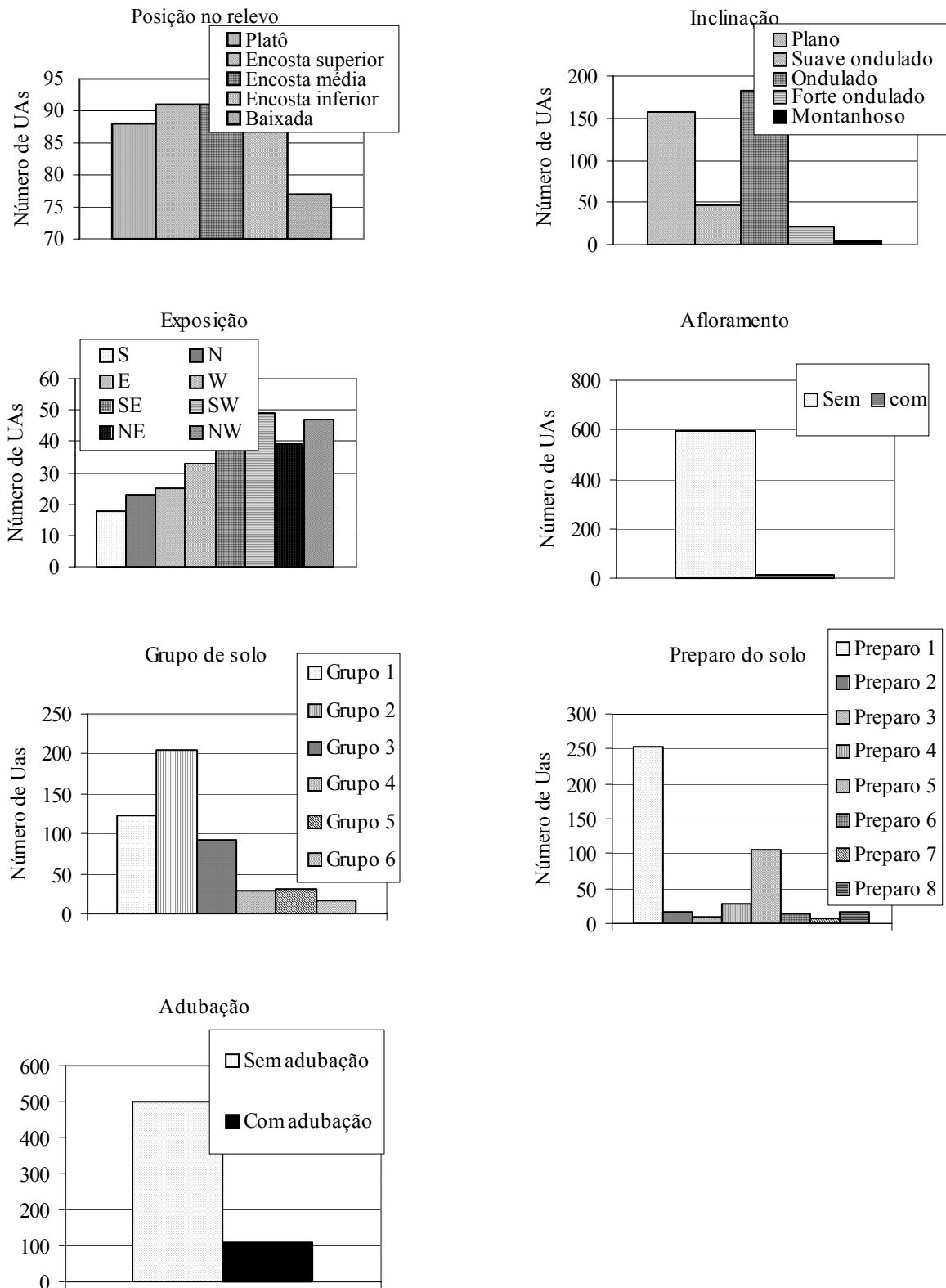


FIGURA 1: Distribuição das unidades amostrais por cada fator ambiental analisado.
 FIGURE 1: Distribution of sampling units for each analyzed environmental factor.

Análise de covariância

A fim de avaliar diferenças de inclinação e nível entre as curvas de crescimento em altura dominante para os diferentes clones e fatores de sítio, utilizou-se a análise de covariância.

A análise de covariância, segundo Steel e Torrie (1960), utiliza conjuntamente os conceitos de análise de variância e regressão e está relacionada a duas ou mais variáveis medidas, chamadas de variáveis independentes, nas quais não se exerceu um controle exato.

Na análise de covariância, primeiramente testa-se a diferença de inclinação. Se não existir evidência de diferença de inclinação, a hipótese de não-diferença de níveis é testada. Se a diferença não for significativa para inclinação e níveis, uma regressão única pode ser ajustada, ignorando a diferença entre grupos.

Regressões que diferem entre grupos de tratamentos refletem uma interação entre os grupos de tratamentos e a variável independente ou covariável. No GLM (General Linear Models), este fenômeno é especificado e analisado como uma interação, onde o fator $X*A$ produz a estatística apropriada para estimar diferentes regressões de Y em X , para diferentes valores ou classes, especificada por A . Nesta aplicação, a soma de quadrados do tipo I fornece a informação mais útil (Freund e Littell, 1985).

A análise de covariância permite a comparação de curvas de crescimento em relação ao seu paralelismo, podendo indicar a existência de diferentes padrões de crescimento. A hipótese de igualdade de inclinação e nível das curvas de crescimento foi verificada através do teste F , para 1% de erro, sendo os dados processados no programa de computador Statistical Analysis System (SAS).

Aplicação da análise de covariância para avaliar o efeito dos fatores de sítio sobre a curva de crescimento em altura dominante.

Para avaliar o efeito dos fatores de sítio (variáveis class) sobre a curva de crescimento em altura dominante, foram atribuídas variáveis discretas a cada fator, as quais, posteriormente, foram associadas aos pares de dados altura dominante/idade, obtidos em cada unidade amostral, da seguinte forma:

a) Posição no relevo

Neste fator foram avaliadas cinco posições: Platô = 1; encosta superior = 2; encosta média = 3; encosta inferior = 4 e baixada = 5.

b) Exposição

Foram avaliadas as posições: sul = 1; norte = 2, leste = 3; oeste = 4; sudeste = 5; sudoeste = 6; nordeste = 7; e noroeste = 8. As unidades amostrais localizadas em platôs e baixadas receberam o valor zero para exposição.

c) Declividade

As unidades amostrais foram classificadas quanto à declividade segundo a classificação adotada pela EMBRAPA (1999), sendo: Plano (0 a 3%) = 1; suave ondulado (3 a 8%) = 2; ondulado (8 a 20%) = 3; forte ondulado (20 a 45%) = 4; e montanhoso (45 a 75%) = 5.

d) Preparo do solo

Foram avaliados oito diferentes preparos de solo: subsolagem com trator de esteira = 1; subsolagem com trator de pneu = 2; gradagem leve = 3; gradagem pesada = 4; subsolagem com trator de esteira + gradagem leve = 5; subsolagem com trator de esteira + gradagem pesada = 6; aração e gradagem leve = 7 e coveamento mecânico = 8.

e) Solos

Como forma de aproveitar o maior número possível de unidades amostrais permanentes e aumentar consideravelmente a base de dados para este estudo, nas áreas onde a classificação de solos ainda não foi concluída, utilizaram-se as simbologias e definições já existentes, tendo como base a classificação de solos

do Estado do Rio Grande do Sul, publicada por BRASIL (1973). Os diferentes tipos de solos com a sua caracterização, simbologia e respectiva variável discreta associada encontram-se descritos a seguir:

PVd = Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico Tb A proeminente, textura média ou média com cascalhos/argilosa ou argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ondulado = 1; PVA₁ = Argissolo Vermelho-Amarelo álico A moderado, textura média leve/média/argilosa, relevo suave ondulado e ondulado = 2; PVA₂ = Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico Tb A moderado, textura média ou média com cascalhos/argilosa ou argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ondulado = 3; PVA₃ = Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico espessarenico Tb A moderado, textura arenosa/média ou arenosa/média/argilosa, relevo suave ondulado = 4; BR₁ = Podzólico vermelho-amarelo abrupto, textura arenosa/argilosa, relevo ondulado, substrato arenito = 5; CA₆ = Podzólico vermelho-amarelo álico moderado, textura média/argilosa, relevo forte/ondulado e ondulado, com muitos afloramentos de quartzito na superfície = 6; CA₃ = Podzólico vermelho-amarelo álico moderado, textura média/argilosa, relevo ondulado, substrato granito = 7; SGd₁ = Planossolo Hidromórfico distrófico arênico A moderado, textura média leve/argilosa, relevo plano = 8; SGd₂ = Planossolo Hidromórfico distrófico arênico A moderado, textura arenosa/média leve/média, relevo plano = 9; SGd₃ = Planossolo Hidromórfico distrófico, típico A proeminente, textura média/argilosa, relevo plano e suave ondulado = 10; NV₁ = Nitossolo Vermelho distrófico argissólico Tb A moderado, textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta, relevo ondulado = 11; NV₂ = Nitossolo Vermelho distrófico latossólico Tb A proeminente, textura média ou média com cascalhos/argilosa com cascalhos, relevo suave ondulado e ondulado = 12; NV₃ = Nitossolo Vermelho distrófico argissólico Tb A proeminente, textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta, relevo ondulado = 13; RQo₁ = Neossolo quartzarênico Órticos típicos A moderado, relevo plano = 14; RQo₂ = Neossolo quartzarênico Órticos típicos A moderado, relevo suave ondulado = 15; PM₂ = Solos litólicos distróficos, textura média com cascalho ou média muito cascalhenta, relevo forte ondulado, substrato granito = 16; PM₃ = Solos litólicos com A chermozênico ou a proeminente, textura argilosa, relevo ondulado e forte ondulado = 17; CXvd1 = Cambissolo Háptico Tb ou Ta distrófico léptico, A proeminente, textura média cascalhenta/ argilosa cascalhenta, relevo ondulado e fortemente ondulado, com contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície do solo = 18; RLd1 = Neossolo Litólico distrófico, típico a proeminente, textura média cascalhenta, relevo ondulado = 19; GM₂ = Gleissolo melânicos distróficos típicos textura arenosa = 20.

f) Grupo de solos

Devido à grande variação de solos observada na área em estudo, optou-se por agrupar os solos de acordo com a classe, observadas as características do horizonte B diagnóstico, a região e o grau de hidromorfia, conforme agrupamento prévio utilizado pela Klabin Riocell SA. Nesse agrupamento, foram formados 6 grupos de solos, cujas principais características são apresentadas abaixo:

Grupo 1 = Nitossolos, caracterizados por apresentar horizonte B nítico, argila de atividade baixa, sem hidromorfia. Fazem parte deste grupo os solos BR₁, NV₁, NV₂ e NV₃; Grupo 2 = Argissolos, caracterizados por apresentar horizonte B textural, argila de atividade baixa, sem hidromorfia. Fazem parte deste grupo os solos PVA₁, PVA₂, PVd, PVA₃, CA₃ e CA₆; Grupo 3 = Cambissolos, com horizonte B Câmbico, argila de atividade baixa, não hidromórficos, fazendo parte deste grupo o solo CXvd₁; Grupo 4 = Planossolos hidromórficos, com horizonte B plânico e argila de atividade baixa, fazendo parte desse grupo os solos SGd₁, SGd₂ e SGd₃; Grupo 5 = Neossolos litólicos ou solos pouco desenvolvidos, com argila de atividade baixa, não hidromórficos, fazendo parte destes grupo os solos RLd₁, PM₂ e PM₃; Grupo 6 = Neossolos Quartzarênicos profundos, não hidromórficos, fazendo parte deste grupo os solos RQo₁ e RQo₂.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajuste da altura dominante em função da idade

O ajuste das equações testadas com o objetivo de descrever a curva de crescimento da altura dominante em função da idade (Tabela 1) para cada clone é apresentado na Tabela 2.

TABELA 2: Ajuste dos modelos testados para descrever a altura dominante em função da idade para cada clone.

TABLE 2: Fitting of the tested models to describe the dominant height in function of age for each clone.

N	Parâmetros						Estatísticas		
Clone 4013									
	b ₀	b ₁	b ₂	A	k	r	R ² aj	Syx%	IF
1	3,76459	-3,3373					0,73		4,6
2	1,41842	1,24000	-0,1373				0,76		4,2
3	0,14211	0,13818	0,01409				0,83	16,7	
4	-0,8486	5,52482	-,20603				0,77	12,9	
5	12,1585	2,50207	-15,740				0,77	12,9	
6	1,41842	-1,2400	-0,1373				0,76		4,2
7				44,6469	0,1613	1,2256	0,77	12,9	
8	5,09486	0,22207	0,74928				0,83	11,4	
Clone 2480									
1	3,67542	-3,1564					0,77		4,88
2	1,65026	0,87782	-0,0228				0,90		4,61
3	-0,0421	0,22060	0,00749				0,90	13,70	
4	2,26461	4,04043	-0,0845				0,85	12,24	
5	6,48307	2,94366	-4,8009				0,84	12,29	
6	1,86534	-0,5874	0,07051				0,80		4,61
7				113,581	0,0271	0,8315	0,85	11,2	
8	3,19228	0,58309	0,78545				0,85	11,2	
Clone 175									
1	3,70276	-2,8994					0,84		3,5
2	1,68230	1,12374	-0,1492				0,86		3,4
3	0,11361	0,09834	0,02047				0,96	9,2	
4	1,29947	5,47479	-0,2475				0,87	9,2	
5	19,8060	1,58689	-26,711				0,87	8,8	
6	1,68230	-1,1237	-0,1492				0,86		5,8
7				37,313	0,2032	1,1282	0,87	8,6	
8	23,8971	-1,1059	0,63328				0,85	9,6	

Em que: b₀, b₁, b₂, A, k e r = coeficientes; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão de estimativa em porcentagem; IF% = índice de Furnival em porcentagem.

A análise desta tabela mostra que, apesar de o ajuste ter sido feito para clones, existe grande variação de precisão nas equações, indicando crescimento diferenciado entre clones, o que se deve, provavelmente, às condições de sítio diferenciadas. A análise do coeficiente de determinação, erro padrão de estimativa, Índice de Furnival e distribuição dos resíduos mostrou superioridade de ajuste para os modelos logarítmicos. No entanto, o modelo de Schumacher (n. 1, na Tabela 1) tendeu a subestimar as alturas nas maiores idades para o clone 2480 e, nas menores, para o clone 4013.

Dentre os modelos não – lineares, o modelo de Richards mostrou-se mais eficiente. O modelo de Prodan (nº 3, na Tabela 1), apesar de apresentar altos valores de R^2_{aj} , foi o que demonstrou os maiores valores de erro padrão de estimativa para os três clones analisados, indicando que a dispersão entre os valores observados e estimados foi maior que nas demais equações.

Por apresentar valores de R^2_{aj} e IF satisfatórios, com boa distribuição dos resíduos, e ainda por se tratar de um modelo linearizável, indicado para a aplicação da análise de covariância, o modelo de Backmann (nº 2, na Tabela 1) foi selecionado para representar a curva altura dominante/idade neste estudo.

Análise de covariância aplicada ao estudo dos fatores de sítio sobre a curva de crescimento em altura dominante.

Primeiramente, testou-se a hipótese de diferença de nível e inclinação para a curva de crescimento em altura dominante de cada clone, dividindo o banco de dados em três grupos. O grupo 1 foi formado pelo clone 175; o grupo 2, pelo clone 2480; e o grupo 3, pelo clone 4013. A Tabela 3 mostra o resultado da análise de covariância aplicada para estes três grupos, analisados conjuntamente.

O valor de f para a fonte de variação, $\ln(t)$ *clone e clone indica que a hipótese de igualdade de inclinação e nível para a curva de crescimento em altura dominante é rejeitada para uma probabilidade >f igual a 0,0001, o que significa haver diferença no padrão de crescimento em altura dominante entre os clones.

TABELA 3: Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre clones.

TABLE 3: Covariance analysis to test level and inclination difference among clones.

FV	GL	SQ	QM	f	Prob>f
Modelo	8	92,4599036	11,55748795	658,25	0,0001
Clone	2	5,3480482	2,67402412	152,30	0,0001
$\ln(t)$	1	85,86281931	85,86281931	4890,23	0,0001
$\ln^2(t)$	1	0,2419897	0,2419897	13,78	0,0002
$\ln(t)$ *clone	2	0,8334334	0,41671670	23,73	0,0001
$\ln^2(t)$ *clone	2	0,1736129	0,08680647	4,94	0,0073
Erro	1077	18,9099927	0,01755802		
Total	1085	111,3698963			

Em que: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM= quadrado médio, f= valor de f calculado; probf = probabilidade de significância para o valor de f; t = idade; ln = logaritmo neperiano.

Para verificar se os três clones analisados diferiam significativamente no seu padrão de crescimento em altura dominante, os dados foram novamente processados, comparando-se os clones entre si, e os resultados podem ser observados nas Tabelas 4 e 5.

TABELA 4: Resultado da análise de covariância para testar diferença de inclinação entre clones.

TABLE 4: Covariance analysis result for the test of inclination difference among clones.

F	Grupo 1 (175)	Grupo 2 (2480)	Grupo 3 (4013)
Prob>f			
Grupo 1(175)	-	37,56	29,72
Grupo 2 (2480)	0,0001	-	1,53
Grupo 3 (4013)	0,0001	0,2172	-

Em que: f = valor de f calculado; prob>f = nível de significância para f.

A análise das Tabelas 4 e 5 indica que existe diferença de inclinação e nível somente para o clone 175, como pode ser observado pelo valor e significância de f. Para os clones 2480 e 4013, o valor de f calculado, não se mostrou significativo para inclinação, existindo, no entanto, uma diferença significativa para nível.

TABELA 5: Resultado da análise de covariância para testar diferença de nível entre clones.

TABLE 5: Covariance analysis result for the test of level difference among clones.

F Prob>f	Grupo 1 (175)	Grupo 2 (2480)	Grupo 3 (4013)
Grupo 1(175)	-	253,47	171,94
Grupo 2 (2480)	0,0001	-	16,28
Grupo 3 (4013)	0,0001	0,0001	-

Em que: f = valor de f calculado; prob>f = nível de significância para f.

Para uma melhor visualização dessas diferenças, os valores ajustados com a utilização da equação de Backmann foram representados graficamente, conforme pode ser observado na Figura 2.

A Figura 2 mostra que a diferença significativa para inclinação, detectada pela análise de covariância, pode ser constatada pelo achatamento da curva de crescimento em altura do clone 175 em relação aos demais, havendo praticamente uma sobreposição entre as curvas dos clones 2480 e 4013. A diferença de nível, existente entre os três clones, é maior em relação ao clone 175, que apresenta maior crescimento inicial, e pode ser comprovada pela magnitude do valor de f na Tabela 5.

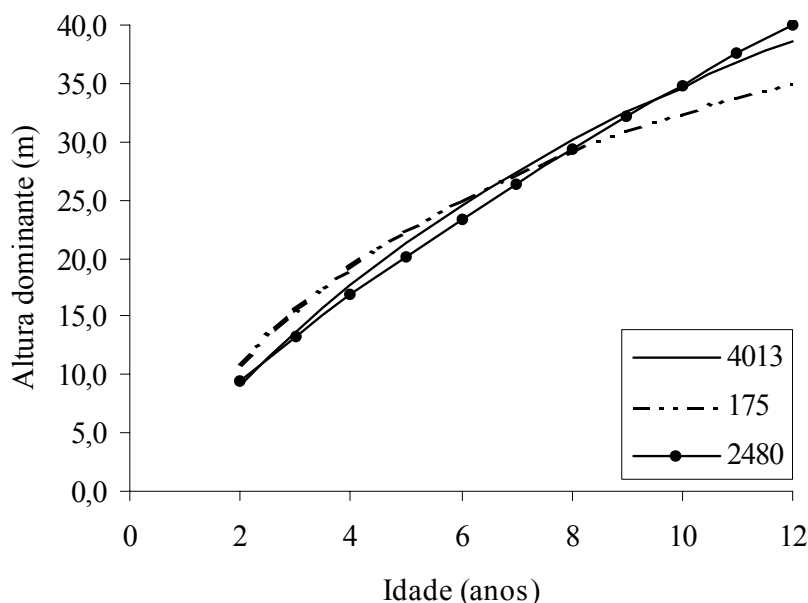


FIGURA 2: Valores ajustados para os clones 175, 2480 e 4013.

FIGURE 2: Fitted values for the clones 175, 2480 and 4013.

Este resultado indicou que o clone 175 cresce de maneira diferenciada em relação aos demais e permitiu o agrupamento dos dados relativos aos clones 2480 e 4013. Em nova fase, tornou-se necessário verificar a influência dos fatores de sítio sobre a curva de crescimento em altura dominante no sentido de procurar identificar qual (is) o (s) fator (es) que explica(m) esta diferença no padrão de crescimento entre clones.

Análise da influência dos fatores ambientais sobre a curva de crescimento em altura dominante

Para a análise desses fatores, os dados foram agrupados em dois grandes grupos, formados pelo clone 175 e os clones 2480 - 4013 e reagrupados conforme o fator a ser analisado. As Tabelas 6 e 7 mostram o resultado da análise de covariância para cada grupo e fator.

TABELA 6: Resultado da análise de covariância para testar diferença de inclinação na curva de crescimento em altura dominante para os dados agrupados em relação a cada fator ambiental analisado para o clone 175.

TABLE 6: Result of the covariance analysis for the test of inclination difference in the dominant height growth curve for the data grouped in relation to each analyzed environmental factor for the clone 175.

	Fator analisado						
	Declividade do terreno	Exposição	Adubação	Posição no relevo	Preparo do solo	Solo	Grupo de solo
f	1,43	0,79	1,80	5,19	3,69	3,05	4,15
Prob>f	0,2232	0,6141	0,1797	0,0004	0,0013	0,0004	0,001

Em que: f = valor de f calculado; prob>f = nível de significância para f.

TABELA 7: Resultado da análise de covariância para testar diferença de inclinação na curva de crescimento em altura dominante para os dados agrupados em relação a cada fator ambiental analisado para os clones 2480 e 4013.

TABLE 7: Result of the covariance analysis for the test of inclination difference in the dominant height growth curve for the data grouped in relation to each analyzed environmental factor for the clones 2480 and 4013.

	Fator analisado						
	Declividade do terreno	Exposição	Adubação	Posição no relevo	Preparo do solo	Solo	Grupo de solo
f	2,46	1,55	0,02	10,56	7,71	5,01	7,71
Prob>f	0,0621	0,6600	0,8767	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Em que: f = valor de f calculado; prob>f = nível de significância para f.

As Tabelas 6 e 7 mostram que, para o fator declividade do terreno, exposição e adubação, a hipótese de igualdade de inclinação é aceita para uma probabilidade de 0,2232; 0,0621; 0,6141; 0,66; 0,1797 e 0,8767.

Esses resultados indicam que os fatores declividade do terreno e exposição, quando avaliados separadamente, não têm efeito significativo sobre o padrão de crescimento em altura dominante para os três clones analisados. Este fato, contudo, não significa que não tenham efeito sobre a produção, visto que podem exercer uma influência indireta nas características físicas e químicas do solo, como a espessura do horizonte A, no movimento sub e superficial de água, na lixiviação de nutrientes e na quantidade de radiação disponível.

Em relação à adubação, Berger (2000), ao estudar o efeito de dois níveis de adubação sobre três espaçamentos no clone 4013, em experimento localizado na região de Guaíba, RS, também encontrou diferenças significativas para inclinação e níveis na curva de crescimento em altura média. No entanto, não encontrou diferenças significativas dentro de um mesmo espaçamento, concluindo que o fator adubação não mostrou influência estatística significativa sobre as variáveis dendrométricas diâmetro à altura do peito, altura total e volume comercial sem casca por árvore aos 126 meses de idade, o que de certa forma, concorda com os resultados obtidos nesta avaliação.

Os resultados obtidos com a aplicação da análise de covariância permitiram desconsiderar os fatores declividade do terreno, exposição e adubação, uma vez que não foram encontradas evidências de que estes fatores tenham influência sobre o padrão de crescimento em altura para os três clones analisados.

O efeito do fator posição no relevo, preparo do solo, solos e grupo de solo, apesar de significativos, não podem ser verificados com a metodologia empregada, uma vez que a análise de covariância, por empregar uma combinação das metodologias de análise de regressão e análise de variância, permite o controle de apenas uma variável a cada tempo, não permitindo a investigação de numerosas variáveis simultaneamente.

Para analisar o efeito da posição no relevo e preparo do solo sobre a curva de crescimento em altura

dominante, foi necessária a formação de grupos de unidades amostrais homogêneas em relação a clone e fatores ambientais, como o solo e o preparo de solo, onde o único fator variável foi a posição no relevo e o preparo do solo. Nestes grupos, os fatores declividade do terreno, exposição e adubação foram desconsiderados por não apresentarem influência significativa sobre a inclinação na curva de crescimento em altura dominante.

A análise de covariância, quando aplicada a estes grupos, indicou não haver efeito do fator posição no relevo e preparo do solo na definição de padrões de crescimento em altura dominante para os clones analisados, indicando que ambos os fatores também podem ser desconsiderados.

Análise do fator solo

Uma vez que a análise de covariância indicou a existência de diferença significativa para inclinação neste fator, tanto para o clone 175 como para os clones 2480 – 4013 (Tabelas 6 e 7), os grupos formados por pares de dados altura dominante/idade localizados em um mesmo solo, foram comparados um com o outro, ficando fora das comparações apenas os solos que possuíam um número muito reduzido de unidades amostrais.

O resultado deste processamento foi de grande importância prática, pois permitiu verificar a ocorrência ou não de diferentes padrões de crescimento em altura dominante nos 6 grupos de solos formados. Em um mesmo grupo de solo, para efeito de estudos de crescimento e produção, não é desejável a ocorrência de diferença de inclinação, sendo aceitas apenas diferenças de nível, demonstrando que as unidades amostrais localizadas em um mesmo grupo de solo têm a mesma tendência de crescimento.

A análise de covariância quando aplicada para o clone 175, indicou não haver diferença significativa de inclinação entre solos dentro de um mesmo grupo, existindo, no entanto, diferença de nível. Este resultado indica que os grupos de solo são formados por solos que propiciam a mesma tendência de crescimento em altura dominante, o que é desejável para os estudos de crescimento e produção.

Para os clones 2480 e 4013, houve diferença significativa de inclinação somente para o grupo 2, formado pelos solos 2 (PVA₁), 3 (PVA₂), 4 (PVA₃), 6 (CA₆) e 7 (CA₃). A Figura 3 mostra a tendência de crescimento em altura dominante para as árvores nos solos que formam o grupo 2. Esta figura mostra uma grande diferença de nível e inclinação entre os solos 2 e 4. O crescimento em altura para o solo 2 foi bastante superior em relação aos demais, com uma diferença média de 7,5 metros aos 6 anos.

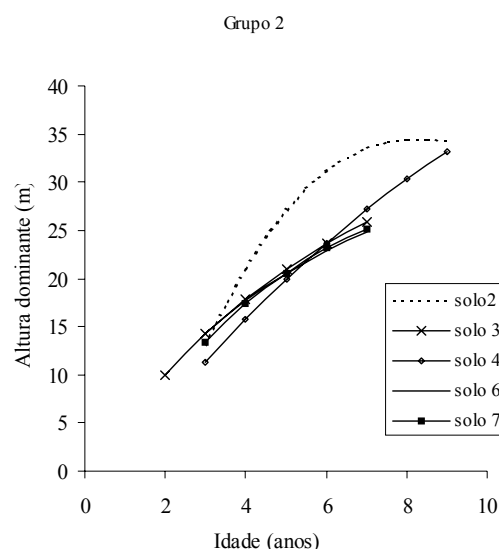


FIGURA 3: Tendência de crescimento observada para os solos que formam o grupo 2, nos clones 2480-4013.

FIGURE 3: Growth trend observed for the soils that form the group 2, in the clones 2480-4013.

Este resultado concorda com Cornillon *et al.* (2002), ao afirmarem que clones de Eucalipto plantados em uma mesma área, sujeitos aos mesmos tratos culturais, podem apresentar curvas de crescimento em altura muito diferentes.

Analisando as diferenças de inclinação encontradas nas comparações entre solos e não se admitindo diferenças significativas de inclinação entre curvas de crescimento em altura entre solos de um mesmo grupo, o grupo 2, a partir deste resultado, foi subdividido, sendo um subgrupo formado pelos solos 2 e 4 e outro pelos solos 3, 6 e 7.

Com este resultado, pode-se comprovar as observações feitas por Carmean (1970) e Barros (1986) ao afirmarem que o padrão de crescimento em altura varia não somente entre grupos de solo, mas também dentro de um mesmo grupo, não sendo raros os casos em que se observam variações de produtividade dentro de uma mesma unidade taxonômica.

Análise para grupo de solos

Uma vez que a análise do fator solo indicou que, de maneira geral, as unidades amostrais localizadas nos diferentes solos, agrupados em relação as suas propriedades taxonômicas, região fisiográfica e hidromorfia, apresentaram a mesma tendência em relação à curva de crescimento em altura dominante, foi necessária a comparação entre os diferentes grupos, de forma a verificar a necessidade de se construir sistemas de curvas de índice de sítio independentes para determinados grupos de solo. O grupo de solo 2, formado nos clones 2480 - 4013, foi subdividido em dois grupos: o grupo 2a, formado pelos solos 2 e 4, e o grupo 2b, formado pelos solos 3,6 e 7.

Os resultados observados nas Tabelas 6 e 7 mostram diferenças de inclinação para grupos de solos nos clones 175 e 2480-4013. Para verificar diferenças e similaridades entre as tendências de crescimento em altura dominante entre grupos de solo, os dados foram processados analisando-se um contra o outro, conforme as Tabelas 8, 9, 10 e 11.

Observa-se, nas Tabelas 8 e 9, a existência de diferença de inclinação entre os grupos 2 e 3, 2 e 6, 3 e 5 e 3 e 6 e de nível entre todos os grupos de solo formados para o clone 175. Pela análise de covariância, baseando-se na não-existência de diferenças de inclinação, foram identificadas três tendências distintas: a primeira, formada pelos grupos 1 e 2; a segunda, pelo grupo 3; e a terceira, pelos grupos 4, 5 e 6; conforme as Figuras 4 e 5.

TABELA 8: Resultado da análise de covariância para diferença de inclinação entre grupos de solos no clone 175.

TABLE 8: Covariance analysis result for inclination difference among groups of soils in the clone 175.

f Sig. f	Grupo de Solos					
	1	2	3	4	5	6
1	-	0,01	3,0	0,6	0,5	6,3
2	93,5	-	11,6	0,9	0,4	10,7
3	8,1	0,07	-	0,2	17,8	16,6
4	44,4	34,2	67,7	-	0,8	2,5
5	46,8	50,6	0,01	37,3	-	0,0
6	1,3	0,1	0,01	11,7	98,2	-

Em que: Prob. = probabilidade de significância em porcentagem; f = valor de f calculado.

TABELA 9: Resultado da análise de covariância para diferença de nível entre grupos de solos no clone 175.
 TABLE 9: Covariance analysis result for level difference among groups of soils in the clone 175.

f Prob.	Grupo de Solos					
	1	2	3	4	5	6
1	-	8,7	75,2	17,1	21,4	54,0
2	0,3	-	88,4	56,7	14,7	315,1
3	0,01	0,01	-	251,6	15,7	315,1
4	0,01	0,01	0,01	-	63,8	22,0
5	0,01	0,02	0,01	0,01	-	107,3
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-

Em que: Prob. = probabilidade de significância em porcentagem; f = valor de f calculado.

Analisando-se as Figuras 4 e 5, observa-se uma tendência bem distinta para o grupo 3, formado por Cambissolos, com horizonte B câmbico não-hidromórficos, que apresentam maior crescimento inicial em altura dominante, com um maior achatamento nas idades mais avançadas.

Os grupos 1 e 2, formados por Nitossolos, com horizonte B nítico, e Argissolos, com horizonte B textural, ambos não-hidromórficos, apresentaram tendência semelhante, pois, apesar de apresentarem um menor crescimento inicial em comparação com o grupo 3, tendem a atingir maiores alturas nas idades mais avançadas. Na comparação entre esses dois grupos, observa-se uma sobreposição das curvas de crescimento em altura, detectada como não-significativa pela análise de covariância (Tabela 9).

Os grupos 4, 5 e 6, formados por Planossolos, com horizonte B plânico hidromórficos, Neossolos litólicos e Neossolos quartzarênicos não hidromórficos, apresentaram mesma tendência de crescimento em altura dominante, havendo, no entanto, diferenças de nível, com os solos do grupo 4, apresentando maior crescimento inicial, e os do grupo 6, com o pior desenvolvimento.

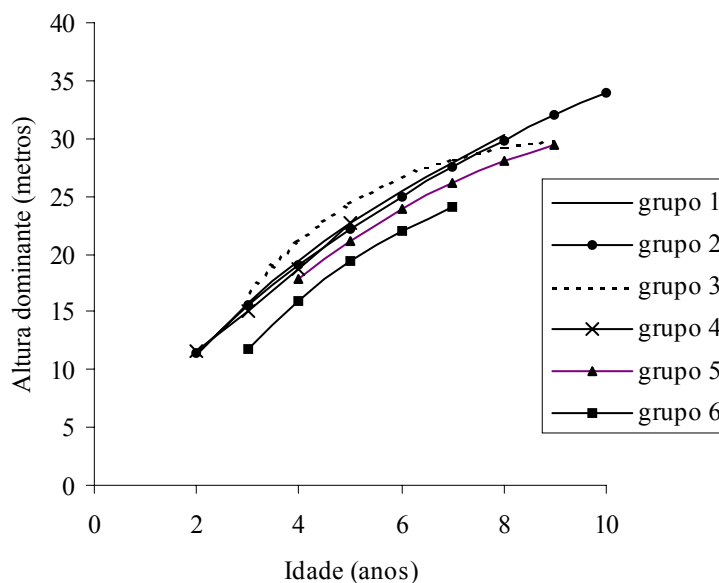


FIGURA 4: Tendências de crescimento em altura dominante observadas entre grupos de solo no clone 175.
 FIGURE 4: Dominant height growth trends observed among soil groups in the clone 175.

Observa-se, na Tabela 11, que, ao contrário do clone 175, não existem diferenças de nível entre todos os grupos, como é o caso dos grupos 1 e 2b, 1 e 3, 1 e 5. Na Tabela 10, observa-se diferença significativa de inclinação entre os grupos de solos 1 e 2a, 1 e 2b, 1 e 6, 2a e 2b, 2a e 5, 2b e 4, 2b e 6, 3 e 6 e 5 e 6.

Com base na não-existência de diferença significativa de inclinação, também foram identificadas três tendências distintas: A primeira formada pelos grupos de solos 1, 3, e 4; a segunda, pelos grupos 2a e 6; e a terceira, pelos grupos 2b e 5.

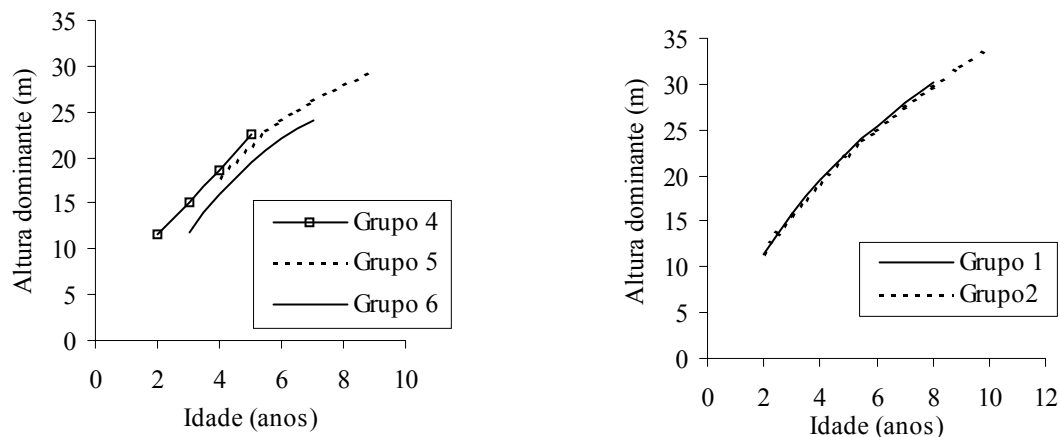


FIGURA 5: Grupos de solo com mesma inclinação na curva de crescimento em altura dominante, obtidos com a análise de covariância.

FIGURE 5: Soil groups with same inclination in dominant height growth curve, obtained by the covariance analysis.

TABELA 10: Resultado da análise de covariância para diferença de inclinação entre grupos de solos nos clones 2480-4013.

TABLE 10: Covariance analysis result for inclination difference among groups of soils in the clones 2480-4013.

f Sig f	Grupos de solo						
	1	2a	2b	3	4	5	6
1	-	12,8	11,3	0,3	2,4	2,7	21,8
2a	0,04	-	60,03	11,3	0,8	56,7	1,6
2b	0,09	0,01	-	3,6	10,9	0,3	43,1
3	57,7	0,1	6,2	-	1,7	1,5	12,9
4	12,4	38,3	0,1	19,1	-	2,3	3,5
5	9,8	0,01	59,7	21,9	13,4	-	8,4
6	0,01	21,4	0,01	0,06	6,7	0,7	-

TABELA 11: Resultado da análise de covariância para diferença de nível entre grupos de solos nos clones 2480-4013.

TABLE 11: Covariance analysis result for level difference among groups of soils in the clones 2480-4013.

f Sig f	Grupos de solo						
	1	2a	2b	3	4	5	6
1	-	101,3	0,23	2,2	6,8	0,2	222,6
2a	0,01	-	174,24	60,6	45,33	130,2	83,4
2b	63,2	0,01	-	1,85	8,1	0,2	96,06
3	13,9	0,01	17,6	-	6,15	0,1	122,6
4	0,9	0,01	0,5	1,5	-	1,7	35,9
5	64,5	0,01	65,8	74,5	19,3	-	47,6
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-

A Figura 6 mostra as tendências de crescimento em altura dominante observadas entre grupos de solo nos clones 2480 e 4013; e as Figuras 7 e 8 mostram os grupos de mesma inclinação ou tendência de crescimento identificadas através da análise de covariância.

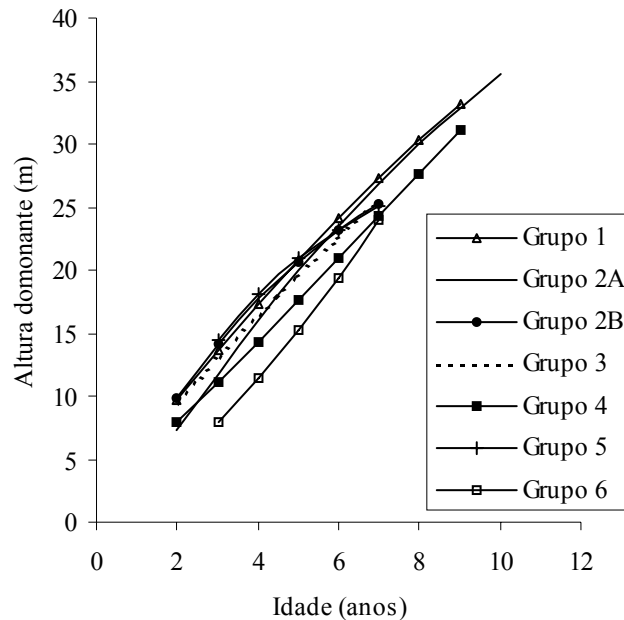


FIGURA 6: Tendências de crescimento em altura dominante observadas entre grupos de solo nos clones 2480-4013.

FIGURE 6: Dominant height growth trends observed among soil groups in the clones 2480-4013.

Na Figura 6, observa-se que, da mesma forma que no clone 175, há uma tendência de maior crescimento em altura para os Nitossolos e parte dos Argissolos (grupo 2a), sendo que os grupos 2b e 5 (Neossolos litólicos) apresentam tendência a um maior achatamento nas idades mais avançadas.

O fato de não ocorrer diferença significativa para inclinação entre Argissolos e Neossolos Quatzarênicos e Argissolos e Neossolos Litólicos indica um comportamento distinto em relação ao clone 175, o que significa que as exigências nutricionais entre estes clones provavelmente sejam diferentes. Um resultado bastante curioso é a não-significância para inclinação e nível entre Argissolos

e Neossolos Litólicos (Figura 7), indicando haver algum fator limitante para os clones 2480 e 4013 nos solos PVA₂, CA₃ e CA₆

As diferenças no padrão de crescimento em altura dominante, observadas dentro de uma população constituída por um mesmo clone, reforçam as afirmativas feitas por autores como Silveira e Higashi (1999) ao admitirem variações fenotípicas consideráveis entre clones, que podem ser causadas por efeitos ambientais ou fatores relacionados ao propágulo, como rametes propagados de partes diferentes de uma mesma árvore, idade e condições ambientais em que se encontravam as árvores matrizes, etc...

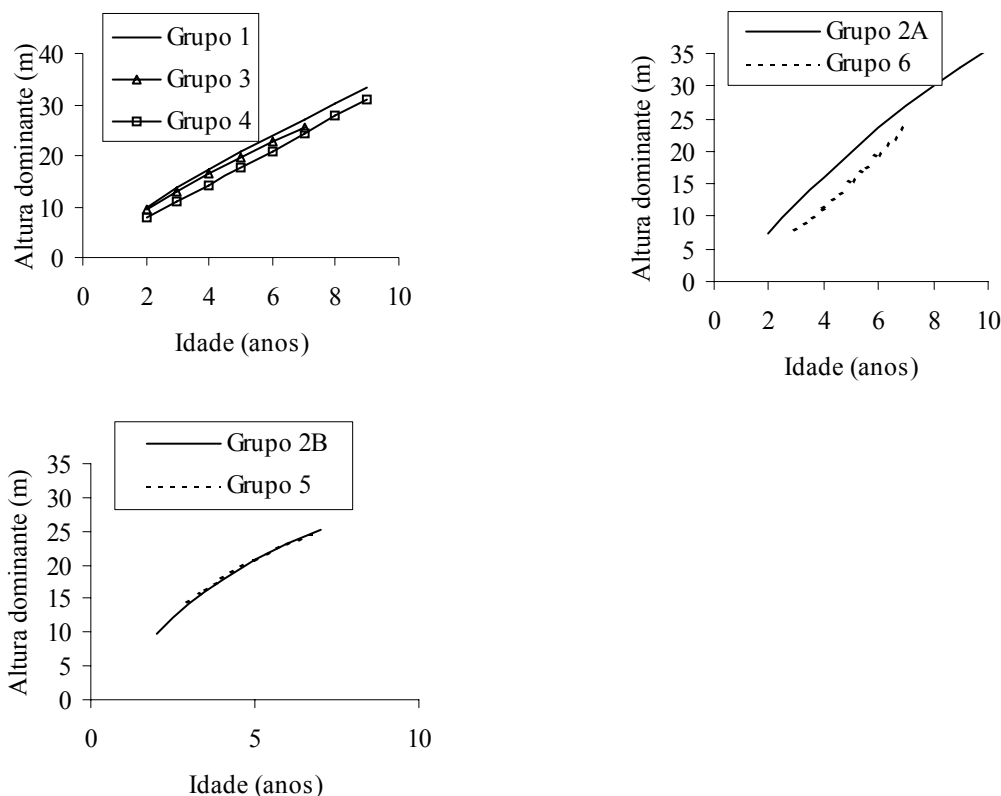


FIGURA 7: Grupos de solo com mesma inclinação na curva de crescimento em altura dominante, obtidos com a análise de covariância.

FIGURE 7: Soil groups with same inclination in dominant height growth curve, obtained by the covariance analysis

Os desvios substanciais na qualidade do sítio para uma classe de solo considerada homogênea podem estar associados a diferenças no suprimento de água, em nutrientes e aeração dos solos, sendo que as características físicas, como profundidade e textura do solo, têm sido mencionadas como as de maior significância na determinação da produtividade do sítio.

Deste modo, nota-se que as diferenças de inclinação detectadas pela análise de covariância, indicaram de forma precisa a existência de diferentes padrões de crescimento entre os clones e dentro de um mesmo clone, e que as diferenças de crescimento em altura dominante devem-se ao fato destes clones crescerem de maneira diferenciada na grande maioria dos solos analisados e não por apresentarem diferenças em um tipo de solo específico.

CONCLUSÕES

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

Todas as equações testadas para estimar o crescimento em altura dominante em função da idade apresentaram bom ajuste. Neste estudo, foi selecionado o modelo de Backmann, pela simplicidade de ajuste e por ser linearizável, característica desejável para a aplicação da análise de covariância.

A análise de covariância, quando aplicada ao estudo do efeito dos fatores de sítio sobre o crescimento em altura dominante, indicou que os fatores declividade do terreno, exposição, inclinação, adubação, posição no relevo e preparo de solo não influenciaram o padrão de crescimento em altura dominante para os três clones de *Eucalyptus saligna* analisados.

O padrão de crescimento em altura para os clones de *Eucalyptus saligna* analisados variou tanto

entre grupos de solos como dentro de um mesmo grupo, o que indica variações de produtividade dentro de uma mesma unidade taxonômica. Neste estudo, foram detectadas seis tendências de crescimento distintas, indicando que as curvas de índice de sítio devem ser construídas observando-se o clone e o grupo de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARES, A; MARLATS, R. M. Site factors related to growth of coniferous plantations in a temperate, hilly zone of Argentina. **Australian Forestry**, v. 60, n.3, p. 118-127, 1995.
- ARES, A. Application of multivariate analysis to site quality evaluation for coniferous plantations. **South African Forestry Journal**, n.167, p.27-33, 1993.
- BARRA, O.S.V. **Productividad Y relaciones Del índice de sítio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. F., *Bombacopsis quinatum* (jacq.) Dungand Y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica**. 1996. 147p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Conservação) - Centro Agronômico Tropical de Investigacion Y Ensenanza, Turrialba, 1996.
- BARROS, N. F. *et al.* Classificação nutricional de sítios florestais : descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v.10, n.1, p.112-120, 1986.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da Madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* SMITH sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p.
- BUFORD, M. A; MCKEE, W. H. Relating site index of natural Loblolly Pine on the Lower Coastal Plain to some environmental factors. In: BIENNIAL SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, 6., Memphis, Tennessee, 1988. **Proceedings ...** Memphis, Tennessee, 1988. v.1, p.495-498.
- BURGER, D. **Ordenamento Florestal I**. 2.ed. Curitiba: UFPR, 1976 v. não paginado.
- CARMEAN, W. H. Tree-Growth patterns in relation to soil and site. In: _____. **Tree growth and forest soils**. Oregon, Oregon State University, 1970. 527p.
- DANIEL, T.W., HELMS, J. A., BAKER, F. **Principles of silviculture**. New york: McGraw-Hill, 1979. 500p.
- CORNILLON, P. A *et al.* Using B-splines for growth curve classification: applications to selection of eucalypt clones. **Forest Ecology and Management**, v.6016, p.1-11, 2002.
- DAVIS, K.P. **Forest management, regulation and valuation**. USA: McGraw - Hill, 1966. 519 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412 p.
- FREUND, R.J; LITTLE, R.C. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary, NC: SAS Institute, 1985. 230 p.
- GERDING, V; SCHLATTER, J. E. Variables Y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D.Don en Chile. **Bosque**, v.16, n.2, p.39-56, 1995.
- GREY, D. C. The evaluation of site factor studies. **South African Forestry Journal**, Georgetown, p. 19-22, 1983.
- GULDIN, J. M.; BAKER, J. B; LOCKHART, B. R. Evaluation of four soil-site index estimators for Loblolly Pine in The West Gulf Region. In: BIENNIAL SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, 6., Memphis, Tennessee, 1988. **Proceedings...** Memphis, Tennessee, 1988. v.1, p.489-493.
- HERRMANN, M. L. P; ROSA, R. Relevo. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: região sul**. Rio de Janeiro: 1990. p. 59-83.
- MEYER, A.H *et al.* **Forest management**. New York: Ronald Press, 1961. 277 p.
- PATIÑO VALERA, F. Interação genótipo x espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, v.39, n.2, p.5-16, 1988.
- SILVEIRA, R.L.V.A; HIGASHI, E.N; Produzindo mudas de eucalipto. **Revista Referência**, n.1, p.34-36, 1999.
- STEEL, R.G.D; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological science**. New York: McGraw-Hill, 1960. 481 p.