UTILIZAÇÃO DE DELINEAMENTO SISTEMÁTICO TIPO "LEQUE" NO ESTUDO DE ESPAÇAMENTOS FLORESTAIS

JOSÉ LUIZ STAPE

Engenheiro Agrônomo e Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. HUMBERTO DE CAMPOS

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: Estatística e Experimentação Agronômica.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1995

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

Stape, José Luiz

S793u Utilização de delineamento sistemático tipo "leque"
no estudo de espaçamentos florestais. Piracicaba,
1995.
86p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Análise de regressão 2. Estatística experimental
3. Eucalipto - Espaçamento - Delineamento de experiment
to I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Piracicaba

CDD 634.9734
519.536

UTILIZAÇÃO DE DELINEAMENTO SISTEMÁTICO TIPO “LEQUE” NO ESTUDO DE ESPAÇAMENTOS FLORESTAIS

JOSÉ LUIZ STAPE

Aprovada em: 24 / 03 / 1995

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Humberto de Campos

Prof. Dr. Décio Barbin

Prof. Dr. José Carlos Barbosa

ESALQ / USP

ESALQ / USP

FCAV / UNESP

Prof. Dr. Humberto de Campos
Orientador

Aos meus pais,

Joubert e Lourdes

e

Aos meus irmãos,

Adalberto, Joubert, Helena, Ana, Angela, Teresa, Adão e José Roberto

DEDICO

À minha esposa, Luceni

Aos meus filhos, Thiago e Glauco

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Humberto de Campos, pela orientação deste trabalho, de forma tão serena e encorajadora.

À Ripasa S/A Celulose e Papel, na figura de seus ex-diretores Eng^{os} Nelson Barbosa Leite e Edson Antônio Balloni, pela oportunidade ímpar de ampliar os conhecimentos através das disciplinas do curso de Estatística e Experimentação Agronômica da ESALQ.

Aos professores Dr. Décio Barbin, Dr^a Clarice G.B. Demétrio, Dr. José Eduardo Corrente, e demais professores do Departamento de Matemática e Estatística da ESALQ, pelo empenho na transmissão de conhecimentos, prontidão no auxílio e dedicação no lecionamento das disciplinas.

Aos professores Dr. João Walter Simões, Dr. Hilton Tadeu Zarate do Couto e Dr. Luiz Carlos Estraviz Rodrigues, e demais professores do curso de Engenharia Florestal da ESALQ, pelos ensinamentos básicos e aplicados da biometria florestal.

Ao professor Dr. José Carlos Barbosa, do Departamento de Ciências Exatas da FCAV de Jaboticabal, pela amizade, incentivo e auxílio na nossa formação profissional.

À bibliotecária Marialice Metzker Poggiani pelo auxílio nas revisões bibliográficas e no acesso ao acervo da biblioteca do IPEF.

Aos colegas de trabalho, Eng^{os} Florestais José Zani Filho e Carlos Alberto Guerreiro, pelo apoio nas horas mais atarefadas de nosso dia-a-dia.

Aos técnicos José Carlos Madaschi e Carlos Eduardo São Marcos, pelas criteriosas mensurações e digitações dos dados experimentais, base de todo este trabalho.

Aos colegas das disciplinas do curso de pós graduação, Rosemeire (*In Memoriam*), Elisete, Paulo Justiniano, Paulo Afonso, Rui, Pilar, Gilmar, Antônio, Samuel e Jomar, pelo companheirismo e alegrias compartilhados.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Delineamentos Experimentais no Estudo de Espaçamentos Florestais.....	5
2.2. Delineamentos Sistemáticos com Fator Quantitativo Contínuo.....	10
2.2.1. Delineamento Sistemático Tipo "Leque".....	11
2.2.2. Métodos de Análise.....	14
2.3. Espaçamento para <i>Eucalyptus dunnii</i>	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Material.....	19
3.1.1. Localização dos Experimentos.....	19
3.1.2. Caracterização do Material Genético.....	19
3.1.3. Caracterização do Solo.....	20
3.1.4. Caracterização Bioclimática.....	21
3.2. Métodos.....	22
3.2.1. Delineamento em Blocos Casualizados.....	22
3.2.2. Delineamento Sistemático Tipo "Leque".....	25
3.2.2.1. Caracterização e Instalação.....	25
3.2.2.2. Rearranjo das Parcelas Experimentais.....	28

	Página
3.2.3. Práticas Silviculturais Adotadas.....	29
3.2.4. Avaliações Dendrométricas.....	30
3.2.4.1. Falhas e Bifurcações.....	30
3.2.4.2. Diâmetro à Altura do Peito (DAP).....	32
3.2.4.3. Altura	32
3.2.4.4. Volume Individual.....	32
3.2.4.5. Área Basal	34
3.2.4.6. Volume Total	35
3.2.5. Análise do Delineamento em Blocos Casualizados.....	35
3.2.6. Análise do Delineamento Sistemático Tipo "Leque".....	38
3.2.7. Análise Comparativa dos Delineamentos.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1. Delineamento em Blocos Casualizados.....	44
4.1.1. Análise de Regressão Linear.....	48
4.2. Delineamento Sistemático Tipo "Leque".....	49
4.2.1. Análise de Regressão Linear.....	59
4.3. Análise Comparativa dos Delineamentos.....	61
4.3.1. Regressão Linear para Faixa Similar de Espaçamento.....	61
4.3.2. Equações de Resposta ao Espaçamento no Delineamento Sistemático Tipo "Leque".....	68
4.3.3. Equações de Resposta ao Espaçamento Ajustadas para o Delineamento em Blocos Casualizados.....	70
4.3.4. Exemplos Ilustrativos do Uso das Equações Ajustadas.....	74

	Página
4.3.4.1. Exemplo 1	74
4.3.4.2. Exemplo 2	75
4.3.5. Aspectos Operacionais da Condução dos Experimentos.....	76
5. CONCLUSÕES.....	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
7. APÊNDICE.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Delineamentos sistemáticos em "sandulche" e "xadrez" (WRIGHT, 1976)	5
2	Disposição sistemática das parcelas experimentais dentro dos blocos, em ordem crescente de intervenção de desbaste, comparativamente ao arranjo casualizado (DAWKINS, 1960; MEAD 1988).....	7
3	Delineamento de espaçamento com 3 níveis de distância entre linhas e 3 níveis de distância entre plantas (LIN & MORSE, 1975).....	9
4	Delineamentos sistemáticos para estudo de espaçamento propostos por NELDER (1962), para a área hortícola.....	10
5	Repetições de delineamentos sistemáticos tipo "leque" no estudo de espaçamentos (NAMKOONG, 1966).....	13
6	Arranjo de plantio retangular para os tratamentos 1 a 4, e em quinquôncio para o tratamento 5, no experimento em blocos casualizados.....	23
7	Croqui de instalação do experimento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	24
8	Valores do raio inicial (r_0), raios dos tratamentos (r_1 a r_n), ângulo entre raios (θ) e área associada a cada planta (A_1 a A_n) no delineamento sistemático tipo "leque".....	25
9	Croqui de instalação do experimento sistemático tipo "leque".....	27
10	Ajuste da equação, das variáveis em estudo, para o delineamento em blocos casualizados (y_b) em função do espaçamento (x), e com base nas equações determinadas para o delineamento sistemático tipo "leque" (y_s) e convergência no espaçamento de 43,95 m ² /planta.....	42
11	DAP médio (cm) do <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	52
12	Altura média (m) do <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	52

Figura	Página
13 Volume individual médio ($\text{dm}^3/\text{planta}$) do <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	53
14 Área basal média (m^2/ha) do <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	53
15 Volume total médio (m^3/ha) do <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	54
16 DAP médio (cm), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".....	56
17 Altura média (m), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".....	56
18 Volume individual médio ($\text{dm}^3/\text{planta}$), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".....	57
19 Área basal (m^2/ha), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".....	57
20 Volume total (m^3/ha), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".....	58
21 DAP médio (cm) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.	61
22 Altura média (m) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.	62
23 Volume individual médio ($\text{dm}^3/\text{planta}$) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.....	62
24 Área basal média (m^2/ha) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.....	63
25 Volume total médio (m^3/ha) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.....	63

Figura

Página

26	Intervalos de confiança dos parâmetros b_0 , no delineamento sistemático tipo "leque", para as 5 regressões lineares das variáveis em estudos, relativamente aos intervalos de confiança do delineamento em blocos casualizados padronizados de 0 (limite inferior) a 100 (limite superior).....	65
27	Intervalos de confiança dos parâmetros b_1 , no delineamento sistemático tipo "leque", para as 5 regressões lineares das variáveis em estudos, relativamente aos intervalos de confiança do delineamento em blocos casualizados padronizados de 0 (limite inferior) a 100 (limite superior)....	66
28	Equações de resposta do DAP em função do espaçamento para o <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.....	71
29	Equações de resposta da altura em função do espaçamento para o <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.....	71
30	Equações de resposta do volume individual em função do espaçamento para o <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.....	72
31	Equações de resposta da área basal em função do espaçamento para o <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.....	72
32	Equações de resposta do volume total em função do espaçamento para o <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados..	73
33	Vista aérea dos experimentos de espaçamento para <i>E.dunnii</i> com delineamentos em blocos casualizados (à esquerda) e sistemático tipo "leque" (à direita), aos 3 meses de idade (escala aproximada 1:5000).....	87
34	Vista, do centro para a periferia, do experimento em delineamento sistemático tipo "leque" aos 48 meses, tendo ao fundo as parcelas do delineamento em blocos casualizados.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Análise física do latossolo vermelho escuro, nos diversos horizontes, antes do preparo de solo (RIZZO, 1984).....	20
2 Análise de fertilidade do latossolo vermelho escuro, nos diversos horizontes, antes do preparo de solo (RIZZO, 1984).....	21
3 Precipitações (Ppt) e Temperaturas médias (Tem) mensais, no período de março de 1988 a fevereiro de 1994, no local do ensaio, em Itararé/SP	22
4 Tratamentos de espaçamento do <i>E.dunnii</i> , no experimento em blocos casualizados.....	23
5 Plantas úteis e totais, bordaduras entre linhas e entre plantas, área útil e total das unidades amostrais do experimento em blocos casualizados.....	24
6 Valores da distância radial, área por planta, densidade de plantas para 10 espaçamentos (tratamentos) no delineamento sistemático tipo "leque"	26
7 Número do raio das plantas excluídas da análise experimental devido a falha ou morte, sua ou de plantas vizinhas, à bifurcação e árvores sorteadas para padronizar em 30 o número total de árvores por tratamento no delineamento em "leque".....	31
8 Número do raio das plantas que compõem as 5 repetições de cada tratamento no delineamento sistemático tipo "leque".....	31
9 Coeficientes das equações volumétricas ajustadas para as diferentes idades, seus coeficientes de determinação (R^2), testes F e o número de árvores cubicadas.....	33
10 Fator de expansão para hectare (k), para os diferentes tratamentos, nos delineamentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".....	34
11 Esquema de análise variância do delineamento em blocos casualizados.	36
12 Esquema de análise de variância da regressão linear para efeito do espaçamento no delineamento em blocos casualizados.....	37
13 Esquema de análise de variância da regressão linear para efeito do espaçamento nos tratamentos 4, 5 e 6 do delineamento sistemático tipo "leque".....	39
14 Equações de resposta ao espaçamento (E) testadas para as 5 variáveis em estudo (y) no delineamento sistemático tipo "leque".....	41

Tabela	Página
15 DAP médio (cm), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do <i>E.dunnii</i> , no delineamento em blocos casualizados.....	44
16 Altura média (m), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do <i>E.dunnii</i> , no delineamento em blocos casualizados.....	44
17 Volume individual ($\text{dm}^3/\text{árvore}$), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do <i>E.dunnii</i> , no delineamento em blocos casualizados.....	45
18 Área basal (m^2/ha), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do <i>E.dunnii</i> , no delineamento em blocos casualizados.....	45
19 Volume total (m^3/ha), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do <i>E.dunnii</i> , no delineamento em blocos casualizados.....	45
20 Quadrado médio do resíduo (QMR), teste F para tratamento, coeficiente de variação experimental (CV) e eficiência relativa (ER) do delineamento em blocos casualizados, para as 5 variáveis em estudo, nas diferentes idades	46
21 Valores do teste F para regressão e desvio da regressão, estimativa dos parâmetros b_0 e b_1 da regressão linear e intervalos de confiança a 95% de probabilidade, das 5 variáveis em estudo, no delineamento em blocos casualizados, para <i>E.dunnii</i> , aos 71 meses.....	48
22 DAP médio (cm), por tratamento e idade de avaliação, do <i>E.dunnii</i> , no delineamento sistemático tipo "leque".....	50
23 Altura média (m), por tratamento e idade de avaliação, do <i>E.dunnii</i> , no delineamento sistemático tipo "leque".....	50
24 Volume individual médio ($\text{dm}^3/\text{árvore}$), por tratamento e idade de avaliação, do <i>E.dunnii</i> , no delineamento sistemático tipo "leque".....	50
25 Área basal média (m^2/ha), por tratamento e idade de avaliação, do <i>E.dunnii</i> , no delineamento sistemático tipo "leque".....	51
26 Volume total médio (m^3/ha), por tratamento e idade de avaliação, do <i>E.dunnii</i> , no delineamento sistemático tipo "leque".....	51
27 Variância, por tratamento, para as 5 variáveis em estudo, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque", e razão entre a maior (Mx) e menor (Mi) variâncias, com e sem a participação do tratamento 1.....	59

Tabela	Página	
28	Quadrado médio do resíduo (QMR), teste F para regressão, estimativa dos parâmetros b_0 e b_1 da regressão linear e seus intervalos de confiança a 95% de probabilidade, das 5 variáveis em estudo, no delineamento sistemático tipo "leque".....	60
29	Valores de F para regressão, coeficiente de determinação (R^2) e soma de quadrados dos erros das variáveis originais (SQ) para as equações de resposta ao espaçamento, para as 5 variáveis em estudo, no delineamento sistemático tipo "leque", para <i>E. dunnii</i> aos 71 meses.....	69
30	Equações de resposta ao espaçamento E, em m^2 /planta, selecionadas, para as 5 variáveis em estudo, no delineamento sistemático tipo "leque" (s), para o <i>E. dunnii</i> , aos 71 meses.....	69
31	Equações de resposta ao espaçamento E, em m^2 /planta, para o DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, ajustadas para o delineamento em blocos casualizados (b), para <i>E. dunnii</i> , aos 71 meses..	70
32	Valores estimados para o DAP, volume individual e volume total no delineamento sistemático tipo "leque" e respectivos valores ajustados para condição de blocos casualizados e relação percentual entre ambos, numa faixa de 10,0 a 20,0 m^2 /planta, para <i>E. dunnii</i> , aos 71 meses.....	75

UTILIZAÇÃO DE DELINEAMENTO SISTEMÁTICO TIPO "LEQUE" NO ESTUDO DE ESPAÇAMENTOS FLORESTAIS

Autor: JOSÉ LUIZ STAPE

Orientador: PROF.DR. Humberto de Campos

RESUMO

Com objetivo de avaliar a possibilidade de utilização do delineamento sistemático tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais, instalaram-se, simultaneamente e em área contígua, dois experimentos com *Eucalyptus dunnii*, em área plana e homogênea, na região sul do Estado de São Paulo. O primeiro experimento foi instalado no delineamento tradicional, em blocos casualizados, com 4 repetições, possuindo tratamentos com espaçamentos de 3,0 m x 1,5 m, 3,0 m x 2,0 m, 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m, os quais forneceram 4,5; 6,0; 7,5 e 9,0 m²/planta. Utilizaram-se parcelas úteis de 25 plantas e bordaduras duplas a quádruplas. A área total ocupada pelo experimento foi de 16764 m², da qual 21% correspondeu à área útil. O segundo experimento foi instalado em delineamento sistemático tipo "leque", formando círculo completo, com 36 raios e 12 plantas por raio, sendo a primeira e última planta de cada raio consideradas como bordaduras. As áreas por planta testadas, referentes às 10 plantas internas dos raios, foram: 1,40; 2,05; 3,01; 4,41; 6,47; 9,50; 13,93; 20,43; 29,97 e 43,95 m²/planta, e após eliminação dos efeitos de falhas e bifurcações, estabeleceram-se 5 repetições de 6 plantas por parcela. Este experimento ocupou uma área de 5972 m², da qual 82% correspondeu à área útil. Os experimentos foram avaliados aos 26, 42, 48, 60 e 71 meses de idade, calculando-se, por parcela, o diâmetro médio à altura do peito, a altura média, o volume individual médio, a área basal e o volume total por hectare. Dada a grande quantidade de informações obtidas e pela possibilidade de múltiplos enfoques na análise dos dados, o presente trabalho se propõe a ser uma primeira abordagem dos resultados,

possibilitando novas interpretações e análises. As análises de variância efetuadas no delineamento em blocos casualizados, evidenciaram a homogeneidade local, com baixos coeficientes de variação experimental e eficiências relativas iguais ou inferiores ao delineamento inteiramente ao acaso. Para o estudo de resposta das variáveis dendrométricas ao espaçamento, trabalhou-se com os dados relativos à idade de 71 meses, idade média de exploração da espécie. Procedeu-se às análises de regressão linear tendo em cada caso, como variável dependente, uma das 5 variáveis em estudo e como variável independente o espaçamento por planta, numa faixa similar de espaçamentos, para ambos experimentos. Estas análises evidenciaram comportamento semelhante das variáveis, frente ao espaçamento, nos dois delineamentos, expresso através da sobreposição dos intervalos de confiança dos coeficientes lineares e angulares das regressões. Observou-se, porém, uma tendência de superioridade dos coeficientes lineares dessas regressões, no delineamento sistemático tipo "leque" comparativamente aos blocos casualizados, assim como uma maior variância residual neste delineamento. Evidenciou-se, assim, que o delineamento sistemático, isoladamente, pode não ser indicado para a inferência de dados para a condição de maciço florestal. Como forma de contornar esta tendência de diferenciação de comportamento das variáveis dendrométricas nos delineamentos, para espaçamentos semelhantes, e possibilitar a utilização segura dos resultados obtidos em delineamento sistemático tipo "leque" na recomendação de espaçamentos para plantios comerciais, utilizou-se de uma metodologia de ajuste dos resultados obtidos neste delineamento para as condições do delineamento em blocos casualizados. Para isso, estabeleceram-se regressões baseadas no delineamento sistemático tipo "leque", e através dos valores obtidos no delineamento em blocos casualizados, tomados como "referência" de um plantio comercial, e da suposição de convergência de comportamento para ambos delineamentos em espaçamento amplo, obtiveram-se equações finais que estimam as variáveis em estudo para as condições de maciço florestal. Conclui-se, portanto, que os delineamentos sistemáticos tipo "leque", na área florestal, podem ser utilizados de forma mais eficiente do que simplesmente servindo como experimentos exploratórios, desde que os tratamentos e parcelas "referências" sejam cuidadosamente considerados no planejamento experimental.

THE USAGE OF A "FAN" SYSTEMATIC DESIGN FOR FOREST SPACING STUDIES

Author: JOSÉ LUIZ STAPE

Adviser: PROF.DR. Humberto de Campos

SUMMARY

In order to evaluate the possibility of usage the "fan" systematic design for forest spacing studies, two experiments were installed simultaneously and closely with *Eucalyptus dunnii*, on a flat and homogeneous area, in the Southern of São Paulo State. The first experiment was planted on a traditional design, randomized blocks, with 4 repetitions, with the following spacings 3,0 m x 1,5 m, 3,0 m x 2,0 m, 3,0 m x 2,5 m and 3,0 m x 3,0 m, which gave 4,5; 6,0; 7,5 and 9,0 m²/plant. Each experimental plot had 25 measured plants and guard plants. The experiment required 16764 m² and 21% of this area was useful. The second experiment was installed on a "fan" systematic design, shaping a circle, with 36 radii and 12 plants per each, considering the first and the last plant of each radii as guards. The spacings tested were: 1,40; 2,05; 3,01; 4,41; 6,47; 9,50; 13,93; 20,43; 29,97 and 43,95 m²/plant, and after failure, mortality and forking effects elimination, 5 repetitions, of 6 plants per plot, were established. This experiment required 5972 m² and 82% was useful area. Both experiments were measured at 26, 42, 48, 60 and 71 months old, computing, per plot, the average DBH, height, individual volume, basal area and total volume per hectare. The analysis of variance done for the randomized block design, showed the site homogeneity, with low experimental coefficients of variation and with relative efficiencies equal or less than one. The response of the dendrometric variables according to the spacing, was studied with the data corresponding to 71 months old, the average harvesting age of the specie. The linear regression analysis was done

taking the 5 dendrometric variables as dependent variable, and the spacing as the independent one, on a similar band of spacings, for both designs. These analyses showed analogous behavior of the variables in function of spacing, on both designs, explicated by the overlay of the confidence intervals of the linear and angular regression coefficients. It was observed a trend of superiority of the linear coefficients on the "fan" design compared with the randomized blocks design, and a higher residual variance. It may show that the "fan" design could not be adequate to infer data for commercial forest. As a way to solve this trend of different behaviors of dendrometric variables for a equal spacing depending on the designs, and to permit the safe usage of the results obtained on the "fan" design for commercial purpose, a methodology to adjust the results for the randomized blocks was used. For this, regressions based on the "fan" design were established and through the values obtained on the randomized blocks, taken as "guides" of a commercial plantation, and the assumption of a convergence of the behavior of the designs for wide spacings, final equations were established, capable of estimating the dendrometric variables for commercial planting. It was concluded that the "fan" design may be used, on forestry studies, more efficiently than only as exploratory experiments, since the treatments and the "guide" plots be carefully considered during the experimental planning.

1.INTRODUÇÃO

O plantio de povoamentos florestais puros e equiâneos desempenha, a nível nacional, um importantíssimo papel sócio-econômico ao gerar uma gama de produtos florestais como celulose, papel, chapas, carvão, madeira para energia, serraria, construções, postes, dormentes, além de óleos essenciais e resinas.

Estes maciços somam cerca de 7 milhões de hectares (IBDF, 1988), em todo o país, dos quais 52% são representados pelo gênero *Eucalyptus*.

O sucesso de qualquer empreendimento florestal passa, necessariamente, por um adequado planejamento da implantação de suas florestas, no que diz respeito à escolha da espécie, procedência ou clone, do preparo e conservação do solo, da fertilização, do plantio e do manejo florestal.

Um dos principais aspectos envolvidos neste manejo se refere à correta densidade de árvores por unidade de área, no plantio e ao longo do ciclo da floresta, pois ela influenciará não só o crescimento individual das plantas como também o seu crescimento conjunto.

Assim, a densidade é uma variável que deve ser manejada em função de uma série de fatores relativos ao comportamento das plantas em maciços, às condições edafo-climáticas do local e ao produto final almejado.

Esta densidade, determinada pelo espaçamento entre árvores, ou pela área associada a cada planta, é portanto uma variável de interesse, sendo continuamente estudada a nível experimental em função da constante introdução de novas espécies, procedências e clones em plantios já estabelecidos, bem como devido a implantação de novos projetos florestais em zonas ecológicas distintas.

Os experimentos de espaçamento florestal se caracterizam pelas grandes áreas necessárias para suas instalações, comparativamente aos experimentos agrícolas, isto porque a área por planta se situa entre 4 e 20 m², sendo, em geral,

necessárias parcelas experimentais de 400 a 800 m² (EVERT, 1971), para que possam conter um número suficiente de indivíduos mensuráveis.

Outro fator que inflaciona a área necessária à experimentação é a necessidade de bordadura entre os tratamentos, face à influência exercida pelas árvores de uma parcela sobre as árvores das parcelas vizinhas, em função das grandes dimensões das copas e sistemas radiculares das plantas.

Desta forma, a instalação de experimentos tradicionais com repetições, aleatorização dos tratamentos, controle local e bordadura, tem restringido o número de espaçamentos ensaiados, dadas as dificuldades relativas às disponibilidades de área e recursos para instalação, manutenções e avaliações.

Além disso, mesmo em se querendo testar um grande número de espaçamentos, a área experimental total requerida seria tão vultosa que certamente não conseguiria garantir a homogeneidade dentro dos blocos, inflacionando o erro experimental, e conseqüentemente diminuindo a sensibilidade na comparação dos efeitos dos tratamentos.

Esta restrição no número de espaçamentos estudados por experimento acarreta um menor conhecimento e compreensão do comportamento dos maciços florestais frente a diferentes densidades populacionais, ocasionando, muitas vezes, a condução de florestas de forma pouco eficiente para atingir seus objetivos finais, em termos de produção e sortimento.

Visando superar, em parte, tais restrições, estudiosos do setor florestal propuseram no início da década de 60, delineamentos em que as bordaduras seriam eliminadas, ou diminuídas, ao se disporem os tratamentos numa ordem sistemática com gradientes crescentes da variável quantitativa em estudo, no caso densidade de plantas, funcionando cada tratamento como bordadura entre o tratamento anterior e o posterior.

Estes delineamentos, ditos sistemáticos, pressupunham que houvesse uma forte justificativa para seu emprego, preconizando a utilização de áreas sabidamente homogêneas e permitindo que as mesmas tivessem menores dimensões e pudessem testar um maior número de tratamentos.

Concomitante a essa tentativa de aumentar o número de espaçamentos testados nos ensaios florestais, surgiram, na área hortícola, delineamentos

sistemáticos para estudo de espaçamentos, baseados em desenhos geométricos circulares e retangulares, sob o apelo de que as bordaduras seriam dispensáveis pela intercompensação anteriormente citada, e que a falta de aleatorização dos tratamentos não seria tão prejudicial, uma vez que as áreas de instalação, pequenos canteiros hortícolas, seriam garantidamente homogêneas.

Dentre estes delineamentos, propostos por NELDER (1962), o delineamento sistemático tipo "leque" tem sido o mais utilizado em experimentação de campo, inicialmente em horticultura, sendo posteriormente introduzido na área agrícola para culturas puras e consorciação, e na área florestal nos estudos sobre plantios homogêneos e agrossilvicultura.

A rápida utilização deste delineamento na área florestal deve ser creditada à sua compacidade, necessitando de pequena área experimental e sendo de fácil manejo, e abrangência, possibilitando o estudo de um grande número de espaçamentos.

No entanto, por ferir o princípio básico da casualização, na alocação dos tratamentos, o delineamento em "leque" não garante a independência dos erros associados a cada unidade experimental, impossibilitando a sua análise estatística de forma tradicional. Esta falta de aleatorização vem sendo, sem dúvida alguma, a principal preocupação na recomendação ou não deste delineamento no estudo de espaçamentos, por impossibilitar uma correta estimativa e comparação entre os efeitos de tratamentos, devido à impossibilidade de se estimar o erro experimental.

Afora este aspecto, vale ressaltar que as parcelas experimentais do delineamento em "leque" não representam a disposição das árvores nos plantios comerciais, e possuem diferentes fatores de expansão, sendo outro entrave na extrapolação dos resultados experimentais desse delineamento para recomendações práticas de espaçamentos de plantio.

O uso de modelos de regressão nos delineamentos sistemáticos sempre foi sugerido e utilizado, tendo como variável dependente alguma medida de crescimento ou produção, e como variável independente a densidade de plantas.

No entanto, estas regressões, embora úteis na comparação relativa entre tratamentos dentro do próprio ensaio, não possibilitam a determinação do desvio das

estimativas de produção por área obtidas no delineamento em "leque" e aquelas que seriam auferidas em plantios comerciais sob aquela densidade.

Esta dificuldade tem sido contornada elegendo-se tratamentos promissores no delineamento sistemático e repetindo-os, agora num delineamento tradicional casualizado, para definição correta dos espaçamentos e suas estimativas.

A adoção desta recomendação na área florestal certamente implicaria em atraso substancial na obtenção de tão importante definição, uma vez que se tomaria de 6 a 11 anos para concluir o experimento com delineamento tipo "leque" e mais 6 a 11 anos para concluir o experimento com delineamento casualizado, totalizando 12 a 22 anos para a definição do espaçamento ideal de plantio. Desta forma, esta informação já teria uma baixa utilidade, em função de terem-se, certamente, sido selecionados ou introduzidos materiais genéticos mais produtivos e que necessitariam novamente de estudos de espaçamento.

Assim, se por um lado os delineamentos tipo "leque" possuem atrativos ao experimentador florestal em função das grandes vantagens de compacidade, abrangência e fácil manejo, por outro lado penalizam-no com insegurança de análise, interpretação e extrapolação dos resultados obtidos.

Objetivando esclarecer, em parte, a possibilidade de utilização de delineamentos tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais comparativamente aos delineamentos em blocos casualizados tradicionais, instalaram-se um experimento com delineamento sistemático tipo "leque" e outro com delineamento em blocos casualizados com *Eucalyptus dun nii*, em áreas contíguas e homogêneas, possuindo faixas de densidades que se sobrepunham, fazendo-se mensurações dendrométricas até a idade de 6 anos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Delineamentos Experimentais no Estudo de Espaçamentos Florestais

O estudo sobre espaçamento sempre mereceu destaque na experimentação florestal por estar diretamente relacionado a uma série de fatores de extrema importância para o manejo e retorno econômico das florestas (SMITH, 1958; ASSMANN, 1970).

EVERT (1971) e BALLONI & SIMÕES (1980) ilustram que o espaçamento influencia diretamente a taxa de crescimento das árvores, a taxa de crescimento do povoamento, a qualidade e sortimento da madeira, os tratos culturais, os custos de implantação, manutenção, proteção e exploração, a conservação do solo e a rentabilidade da floresta, dentre outros fatores.

WRIGHT (1976) relata que os delineamentos experimentais para estudos de espaçamento e modelos de crescimento florestal se caracterizaram, até o início deste século, pela utilização de parcelas sem repetição, sendo que os primeiros delineamentos a introduzirem repetições o faziam de forma sistemática, em "sanduíche" ou "xadrez" conforme mostra a Figura 1.

"Sanduíche"				"Xadrez"			
A	B	B	A	A	B	C	D
B	A	A	B	B	C	D	A
				C	D	A	B
				D	A	B	C

FIGURA 1. Delineamentos sistemáticos em "sanduíche" e "xadrez" (WRIGHT, 1976).

Com a introdução dos novos conceitos em estatística e experimentação nas décadas de 20 e 30, houve uma reformulação das bases teóricas envolvidas no planejamento experimental, sendo, segundo COCHRAM & COX (1978), a aleatorização o conceito moderno introduzido por Fisher.

Após esta introdução, os experimentos de espaçamentos em florestas passaram paulatinamente a utilizar os delineamentos com aleatorização, notadamente os blocos casualizados e os quadrados latinos (WRIGHT, 1976). EVERT (1971) acrescenta que com o desenvolvimento das ferramentas de regressão, os tratamentos nos blocos casualizados passaram a ser níveis equidistantes de espaçamento.

A área das parcelas experimentais para estudo de espaçamentos florestais varia de 400 a 800 m² (EVERT, 1971; WALTERS, 1980), objetivando garantir um número adequado de árvores úteis mensuráveis até o final do ciclo florestal. GOMES & COUTO (1985) ao estudarem experimentos de fertilização e melhoramento de *Eucalyptus*, chegam a tamanhos mínimos de parcelas de 16 plantas totais, com 4 plantas úteis, e que mesmo assim, para estudos de espaçamentos já situariam a área de cada parcela experimental entre 100 e 300 m².

Assim, dada a necessidade de áreas maiores para experimentos florestais, o número de repetições passou a ser restritivo, além da dificuldade de se terem áreas realmente homogêneas (LIN & MORSE, 1975).

Como forma alternativa de diminuir a área experimental, Pudden, citado por DAWKINS (1960), propõe uma estratégia de delineamento sistemático, em experimentos de desbastes florestais, com gradientes crescentes de intensidades de intervenção numa direção, eliminando as bordaduras, e aleatorizando esta direção dentro dos blocos, como mostra a Figura 2.

Porém, SCOTT (1962) critica duramente esta estratégia, se prendendo em defender a aleatorização dos tratamentos, não valorizando as razões de ordem lógicas e práticas levantadas por DAWKINS (1960), e lembrando que a falta da aleatorização impossibilita a análise de variância por quebrar a independência dos resíduos e que a análise de regressão ficaria condicionada à inclusão de uma variável para caracterização do sítio, entre repetições.

FIGURA 2. Disposição sistemática das parcelas experimentais dentro dos blocos, em ordem crescente de intervenção de desbaste, comparativamente ao arranjo casualizado (DAWKINS, 1960; MEAD, 1988).

COX (1958) classifica a determinação do arranjo dos tratamentos, dentro de um determinado bloco, em três métodos distintos: aleatório, sistemático e subjetivo. No aleatório, a cada tratamento é associada uma parcela experimental, aleatoriamente, e sem reposição. No sistemático, a ordem dos tratamentos está sequencialmente definida em função de se ter um bom conhecimento das variações não controladas e de haver uma forte justificativa para este arranjo. No subjetivo, o experimentador associa, por critérios pessoais, os tratamentos às unidades experimentais. Finalmente, o autor condena o arranjo subjetivo, que, diferentemente dos anteriores, possibilita a existência de tendenciosidade do experimentador, não existindo argumento de simplificação que o justifique.

FISHER (1935) aponta a dificuldade em se estimar o erro experimental como uma forte objeção aos delineamentos sistemáticos, além do arranjo dos tratamentos poder coincidir com algum padrão de variação não controlada, viciando as estimativas dos efeitos dos tratamentos e a estimativa da variância das estimativas desses efeitos.

Objetivando evitar a utilização desordenada de experimentos sistemáticos, como os propostos por DAWKINS (1960), realizou-se, em junho de 1961, uma conferência em Oxford para discussão do tema, reforçando-se a objeção a esse tipo de delineamento, pela impossibilidade de sua análise e consequentemente sua utilização prática (SCOTT, 1962).

Sobre esta discussão entre aleatorização e sistematização é importante ressaltar a observação feita por YATES (1938) de que não se discute mais o fim da aleatorização, mas sim a avaliação de sua real necessidade em certos casos.

FREEMAN (1988), numa revisão sobre os delineamentos sistemáticos identifica diferentes grupos de delineamentos sob esta mesma denominação. Distingue então dois tipos básicos de delineamentos sistemáticos: o primeiro em que a sistematização é necessária em função de uma particularidade inerente ao material amostral disponível, como experimentos em indústrias e na área médica; e o segundo grupo em que a sistematização é devida a existência de níveis quantitativos contínuos nos tratamentos, os quais são dispostos numa ordem crescente ou decrescente, nas unidades experimentais, objetivando reduzir ou eliminar as bordaduras, diminuir a área experimental e aumentar o número de tratamentos em teste.

O uso da sistematização, quando não há fator quantitativo em estudo, não se justifica e não traz ganho algum à experimentação, como bem demonstra CHALITA (1991) num estudo sobre delineamento sistemático para testar variedades de cafeeiros. O autor conclui que tal arranjo mostrou-se inadequado, tornando complexa a análise e necessitando de ajustes de gradientes de fertilidade. Estes ajustes de gradientes, em termos de sua detecção e remoção são também discutidos por COX (1951).

COX (1958) alerta que a instalação de experimentos sistemáticos numa área considerada "homogênea" é baseada apenas na opinião do pesquisador, e que quando um resultado surpreendente ocorre, o pesquisador imediatamente questiona a validade do arranjo sistemático. O autor ainda comenta que a eliminação do "bias" na estimativa do erro pode, provavelmente, ser removida por uma modificação do método de análise, mas que os diferentes métodos não deixam claro qual deva ser utilizada. Finalmente, pondera que os delineamentos sistemáticos devem ser

tolerados dentro de limites bem definidos de conhecimento do pesquisador e de sua praticidade.

LIN & MORSE (1975) sugerem delineamentos mais compactos para estudo de espaçamentos através da divisão do espaçamento em dois fatores, as distâncias entre linhas e entre plantas, como mostra a Figura 3, e que possibilitam a análise de variância tradicional. Os autores não recomendam os delineamentos sistemáticos pelo fato de poder haver um gradiente ambiental na área que viciará as estimativas dos efeitos dos tratamentos e também por que os resíduos estariam correlacionados de forma desconhecida. Alertam, ainda, para a possibilidade de heterocedasticidade devido à competição diferenciada entre as parcelas.

FIGURA 3. Delineamento de espaçamento com 3 níveis de distância entre linhas e 3 níveis de distância entre plantas (LIN & MORSE, 1975).

Apesar destas preocupações relativas à estimativa do erro experimental e, conseqüentemente, à análise estatística deste experimentos, as grandes vantagens práticas na instalação dos delineamentos sistemáticos com fator quantitativo

contínuo, aliadas ao forte apelo intuitivo de sua concepção mais compacta e abrangente, levou também a área florestal, espelhando-se nas áreas hortícola e agrícola, a utilizar-se dos mesmos em seus estudos de espaçamentos (WRIGHT, 1976).

2.2. Delineamentos Sistemáticos com Fator Quantitativo Contínuo

Os delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo são aqueles em que os tratamentos representam doses ou valores crescentes de um determinado fator e que são arranjados nas unidades experimentais em ordem crescente ou decrescente (FREEMAN, 1988).

Estes delineamentos foram inicialmente propostos para a área hortícola por NELDER (1962), Figura 4, baseando-se na homogeneidade da área experimental e na baixa correlação entre parcelas vizinhas. Além disso, o autor sugere que os delineamentos sistemáticos, para estudo de espaçamentos, quando compactos e colocados em gradientes crescentes, poderiam dispensar as plantas de bordadura, pois os efeitos das parcelas anterior e posterior em relação a uma determinada parcela, seriam compensatórios.

FIGURA 4. Delineamentos sistemáticos para estudo de espaçamento propostos por NELDER (1962), para a área hortícola.

O autor aponta as seguintes vantagens ao comparar os delineamentos sistemáticos com os aleatórios: delineamento mais compacto, redução de heterogeneidade local e inexistência de bordadura. Entre as desvantagens relaciona o

risco de gradientes sistemáticos causando "bias" nas estimativas dos efeitos e no erro, e no risco de interação entre parcelas vizinhas.

HUXLEY (1985) arrola as seguintes premissas para a instalação de um delineamento sistemático: área uniforme, plana e com tratos culturais adequadamente realizados. Considera-o como tendo caráter exploratório e devendo ser seguido de experimentos robustos para uma faixa de tratamentos identificada como potencial, para análises precisas de crescimento. PEARCE (1989) e RAO et alii (1990) também ratificam este uso dos delineamentos sistemáticos.

2.2.1. Delineamento Sistemático Tipo "Leque"

Dentre os cinco delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo propostos por NELDER (1962), destaca-se o denominado delineamento sistemático tipo "leque" (IA), que se caracteriza por ser baseado num sistema de raios e arcos de círculos concêntricos, onde a retangularidade, ou seja, a razão entre as distâncias inter e intra linhas, é constante. Neste delineamento, esquematizado na Figura 4, a área por planta aumenta com o aumento da distância à origem, sendo os raios separados por um ângulo constante e os arcos espaçados por uma progressão geométrica da distância radial. O cálculo desses valores de geometria plana e suas relações são detalhados pelo autor, e reforçados ou ampliados na sua utilização por BLEASDALE (1966), NAMKOONG (1966), FREYMAN & DOLMAN (1971), ROGERS (1972) e CHALITA (1991).

Os 3 principais valores que definem este delineamento são r_0 (primeira distância radial), α (fator da progressão geométrica radial) e θ (ângulo entre raios). Além destes, destacam-se a retangularidade τ , e a área associada por planta A_n . As relações existentes entre estes valores são:

$$r_{n+1} = r_n \cdot \alpha \quad \tau = \theta / (\alpha^{1/2} - \alpha^{-1/2}) \quad A_n = \theta \cdot r_n^2 (\alpha - \alpha^{-1}) / 2$$

MEAD (1988) lembra que a concepção básica para eliminação das bordaduras baseia-se no efeito compensatório, e que para isso os incrementos no

fator quantitativo devem ser de no máximo 10%, valor este referido por NELDER (1962) como um α máximo de 1,111.

NELDER (1962) enfatiza a preocupação com a retangularidade identificando-a como um fator distinto de análise no caso de plantas hortícolas. ROGERS (1972) detalha a definição de retangularidade nos delineamentos tipo "leque", uma vez que as distâncias entre plantas, nos arcos, podem ser tomadas sobre o arco, ou sobre a corda que imaginariamente unem as plantas vizinhas.

Estudando o crescimento de berinjela em um delineamento tipo "leque" e em um delineamento tradicional, MINAMI (1977) registra maior facilidade de manejo e produção por área no delineamento sistemático, creditando-a a um manejo mais acurado, e aponta como sua única desvantagem a impossibilidade de análise estatística. Salaria que os dois experimentos forneceram a mesma tendência de acréscimo da produção por planta e decréscimo da produção por área com o aumento do espaçamento. FINCH et alii (1976) utilizaram o delineamento sistemático tipo "leque" para avaliar infestação de insetos em ralzes de brássicas obtendo uma relação decrescente entre infestação e espaçamento.

Da sua concepção para área hortícola os delineamentos tipo "leque" foram rapidamente aplicados em plantas arbóreas por FREEMAN (1964) no estudo de espaçamento em cacau, onde numa pequena área irregular, pode-se instalar 3 repetições do delineamento. Seguiram-se a instalação de delineamentos tipo "leque" na área florestal por Van Slyke (1966) e Chacko (1966), citados por EVERT (1971), MYERS et alii (1970), TENNENT (1975), WRIGHT (1976) e LAND & NANCE (1987).

Estas constantes pesquisas de espaçamento estão ligadas à necessidade de definição da melhor combinação entre genótipo e espaçamento, para os novos sítios que vão sendo utilizados em reflorestamento (CANNON, 1981; BALLONI & SIMÕES 1980), e para as novas introduções de materiais genéticos (NAMKOONG, 1966; LAND & NANCE, 1987).

NAMKOONG (1966) considera o delineamento tipo "leque" de extrema utilidade em estudo da resposta de diferentes genótipos de árvores ao espaçamento, por permitir se trabalhar com um grande número de famílias em diferentes espaçamentos e numa área compacta. A retangularidade não é vista pelo autor como preocupante em função do longo ciclo de crescimento permitir ajustes

compensatórios. Recomenda ainda, que estes delineamentos sejam seriamente considerados em melhoramento florestal e silvicultura e que se façam repetições dos "leques", como ilustra a Figura 5.

FIGURA 5. Repetições de delineamentos sistemáticos tipo "leque" no estudo de espaçamentos (NAMKOONG, 1966).

Seguindo esta recomendação, LAND & NANCE (1987) utilizaram um delineamento tipo "leque" para testar progênies de *Pinus taeda*, sendo que cada família foi representada por 5 raios contíguos, com 5 densidades de plantio, entre 1077 e 2990 árvores/ha. Os autores demonstram, para a idade de 10 anos, a interação entre progênies e espaçamento, sugerindo uma forma de determinar a área potencialmente disponível por planta para corrigir os desvios causados por mortalidade e dominância de árvores, utilizando-a como covariável na análise.

MURTRIE & WOLF (1983) utilizaram um delineamento tipo "leque" para estabelecer um modelo de competição entre árvores e gramíneas por luz, água e nutrientes. HUXLEY (1985) lembra que as bordaduras externas no caso dos delineamentos tipo "leque" devem ser observadas para evitar distorção das curvas de crescimento nos tratamentos extremos, e que os "leques" devem ser repicados e casualizados quanto à sua orientação, e se forem só 2, devem ser perpendiculares entre si. PEARCE (1989) também diagnostica que o delineamento tipo "leque" seguramente irá criar gradientes microclimáticos internos ao experimento, como por exemplo em relação à direção predominante do vento, recomendando dispor as repetições de forma ortogonal.

2.2.2. Métodos de Análise

A despeito do grande número de experimentos sistemáticos sugeridos por diversos autores, EVERT (1971) e LIN & MORSE (1975) comentam que quase inexistem trabalhos efetuando análises estatísticas de delineamentos sistemáticos, o que seria de grande utilidade para realmente se por à prova seus aspectos positivos e negativos.

Chacko (1966), citado por EVERT (1971), relata que experimentos florestais em blocos compactos indicaram que a maior fonte de variação experimental recaia sobre o material genético e menos sobre a fertilidade do solo, o que poderia sugerir a simplificação da análise de variância, efetuando-a como se o delineamento fosse aleatório. Jenkyn et alii (1979), citado por FREEMAN (1988), também utilizam a análise de variância convencional tratando seus experimentos como aleatórios, mas introduziram a análise de covariância para alertar sobre interações entre parcelas vizinhas. Quanto a esta prática PEARCE (1989) critica-a comentando que não se pode tomar como aleatórios valores que sabidamente não o são.

DAWKINS (1960), SCOTT(1962), NELDER (1962), NAMKOONG (1967), EVERT (1971), WRIGHT (1976), HUXLEY & MAINGU (1978), HUXLEY (1985), MEAD (1988) e PEARCE (1989) recomendam a análise de regressão como uma das grandes ferramentas de análise de delineamentos sistemáticos com níveis crescentes do fator nos tratamentos. HUXLEY (1985) ainda sugere que devido a possibilidade de dominância entre parcelas vizinhas, se utilize médias móveis.

MEAD (1988) comenta que apesar de ser a variabilidade entre plantas a principal componente da variância residual, comparativamente a variabilidade do solo ou algum gradiente de fertilidade local desconhecida, as dúvidas sobre estes argumentos não satisfarão uma análise de variância tradicional.

HOLLIDAY (1960) caracteriza a relação entre produção por planta e por área em função da densidade de plantas e NELDER (1962) sugere a seguinte relação entre produção por planta (ω) e densidade (ρ), tendo-se os parâmetros α , β e θ :

$$\omega^{-\theta} = \alpha + \beta \cdot \rho$$

Segundo o autor, β seria dependente da retangularidade. BERRY (1967) desdobra esta equação, utilizando valores de espaçamento entre linhas e entre plantas para caracterizar a retangularidade.

NAMKOONG (1967) sugere a equação de RICHARDS (1959) no ajuste de modelos de crescimento para espaçamentos florestais por considerá-la bastante flexível no ajuste de qualquer forma de crescimento vegetativo, mostrando que a equação sugerida por NELDER (1962) é apenas uma simplificação desta:

$$w(1-m) = W(1-m)(1 + b.e^{-kx})$$

onde: w = peso ou volume da planta ou parcela ;

W = valor assintótico ou produção máxima;

k = taxa de crescimento;

m = constante que determina o ponto de inflexão;

$b = (w_0/W)(1-m)$, e w em $x=0$ é w_0 ;

x = idade ou espaçamento.

O autor não se preocupa com a retangularidade, haja vista a compensação das árvores ao longo dos anos de crescimento. Esta suposição é confirmada por SALMINEN & VARMOLA (1993) que não obtiveram respostas diferenciadas de crescimento (DAP, altura e volume) aos 17 anos para *Pinus sylvestris*, conduzidos sob diferentes retangularidades em espaçamentos de 2,0 x 2,0 m, 3,0 x 3,0 m, 3,5 x 3,5 m, 5,0 x 0,8 m, 5,0 x 1,8 m e 8,0 x 1,53 m.

NAMKOONG (1967), WRIGHT (1976) e PEARCE (1989) recomendam que se investigue as correlações existentes entre parcelas vizinhas, haja visto a competição radicular e aérea, bem como o efeito nas parcelas vizinhas provocado pela morte de plantas. WILKINSON et alii (1983) comentam o uso de análise de covariância com informações de parcelas vizinhas. DRAPER & GUTTMAN (1980) ilustram um modelo geral para superfície de resposta no qual se contempla o efeito de uma parcela sobre suas vizinhas. BESAG & KEMPTON (1986) também mostram modelos para ajustar o efeito de parcelas vizinhas. GOMEZ & DEDATTA (1972) são mais rigorosos e recomendam eliminar as parcelas adjacentes às falhas, e

NELDER(1962) lembra que a ocorrência de 1 falha no delineamento tipo "leque" resulta na perda de 5 observações, a falha e seus 4 vizinhos imediatos.

NELDER (1962) e MEAD (1988) sugerem que se estimem os parâmetros da regressão para diferentes blocos e posteriormente se compare estas estimativas como se constituíssem uma amostra aleatória.

LUTWICK et alii (1980) trabalharam com um delineamento sistemático com níveis crescentes de N e P aplicados em gramíneas, ortogonalmente, num total de 162 combinações, com 2 blocos e em 3 locais. Estabelecem um modelo de 2ª ordem como superfície de resposta, reconhecendo que apesar do "bias" possivelmente existente, o experimento serviu para avaliar a faixa de dosagens que necessitam de maiores estudos. Usam também gráficos com contornos de produção para comparar os efeitos do N e P nos 3 locais.

WAHUA & MILLER (1978) utilizaram o delineamento tipo "leque" num estudo de consorciação de sorgo e soja num arranjo em sub-subparcela onde a parcela é representada pela variedade de sorgo, a subparcela pelos tipos de consorciação e a sub-subparcela representando o espaçamento entre plantas de sorgo. A análise do experimento foi feita com base em regressões tendo como variável independente a densidade de plantio do sorgo.

NELDER (1962), BLEASDALE (1966) e WAHUA & MILLER (1978) chamam a atenção para a estimativa de produção por área em delineamentos sistemáticos tipo "leque", aconselhando avaliar a opção de se trabalhar com apenas um ou com um conjunto de arcos adjacentes que constituiriam uma parcela

CLEAVER et alii (1970) estabeleceram experimentos sistemáticos com plantas hortícolas, com gradientes crescentes de 2 nutrientes, de forma ortogonal, concluindo que a existência de gradiente de fertilidade que levasse a resultados viciados podia ser testada comparando-se, na análise de variância, os quadrados médios das interações simples e duplas dos tratamentos e repetições. Os mesmos autores se utilizam de linhas de iso-produção para comparar os efeitos nas diferentes repetições avaliando-se suas similaridades. Comentam ainda que buscam padrões básicos de resposta e que o delineamento sistemático propiciou trabalhar com menor área e ficar mais atento aos detalhes de manejo. Segundo os autores obtiveram-se

respostas a doses de P ainda não testada nos delineamentos tradicionais com pequeno número de tratamentos.

FOX (1973) trabalhando com um delineamento sistemático com gradientes crescentes de 40 níveis de N em fileiras de milho, com 4 repetições em sentidos opostos, considera cada planta como uma parcela, ocupando todo o experimento uma área de apenas 50 m². Efetua a análise de variância de forma tradicional, bem como as regressões, tendo como variável independente os níveis de N aplicados.

BAUDER et alii (1975) comparam um delineamento sistemático, com 24 níveis crescentes de N e 8 níveis de umidade no solo dispostos ortogonalmente, com um delineamento em parcela subdividida, com 4 níveis de umidade (parcela) e 5 níveis de nitrogênio (subparcela), o qual demandou uma área 4 vezes maior, para estudar a produção de milho em dois locais. Os autores estabelecem as superfícies de resposta e efetuam as análises de regressão e variância tomando ambos delineamentos como aleatórios. Relatam que os delineamentos levam às mesmas conclusões finais e os valores estimados pelas equações dos diferentes delineamentos não são significativamente distintas. Como desvantagem do delineamento sistemático apontam que o menor tamanho das parcelas refletem em maiores variâncias entre as mesmas.

WILLEY & RAO (1981) utilizaram delineamento sistemático no estudo da consorciação de grão-de-bico e cártano, buscando obter padrões básicos de resposta e testaram, numa área de 228 m², 128 tratamentos distintos, estabelecendo regressões de produção por planta e por área e interpretando o comportamento das duas espécies frente à consorciação.

MEAD (1988) chama a atenção de que as maiores críticas aos delineamentos sistemáticos com fator contínuo se devem: 1º a uma visão restrita da experimentação na sua realidade prática, e 2º devido a falta de métodos de análise que possibilitem utilizar apropriadamente os dados experimentais obtidos nestes delineamentos.

RAO et alii (1990) concluem que a recomendação de delineamentos sistemáticos é dependente do balanço entre a precisão estatística e a sua praticidade agronômica.

2.3. Espaçamento para *Eucalyptus dunnii*

O *Eucalyptus dunnii* é originário da região de Nova Gales do Sul e Queensland, na Austrália, entre as latitudes de 28° a 30° S, e altitudes de 300 a 800m, onde a espécie atinge 30 a 40 metros de altura em solos úmidos e férteis (FAO, 1981). O clima regional apresenta precipitação anual de 1000 a 1500 mm, pequena estação seca de 3 meses no inverno, temperaturas máximas de 29° C e mínimas de 8° C, com geadas ocasionais (HILLIS & BROWN, 1978). A madeira tem uso para serraria, na Austrália, sendo também utilizada para produção de celulose no Brasil, e como fonte de energia e carvão (FAO, 1981; PEREIRA et alii, 1986).

Introduzida no Brasil em 1964, a espécie é apta para reflorestamento homogêneo e equiâneo no sul do país, pois suporta temperaturas mínimas de -5° C (GOLFARI et alii, 1978). O autor cita, ainda, parcelas experimentais no Paraná com altura média de 32 m e diâmetro à altura do peito (DAP) de 26 cm, aos 7 anos, num espaçamento de 3m x 3m (9m²/planta), numa altitude de 900m e solos férteis.

A espécie destaca-se, em grande parte do estado do Paraná, pelo seu rápido crescimento e uniformidade dos maciços florestais (EMBRAPA, 1986). Estudando o comportamento de três procedências de *E. dunnii* no Paraná, PEREIRA et alii (1986) citam produções de 133 a 203 m³/ha aos 4 anos e meio, em experimento com espaçamento de 3,0 x 2,0 m e 25 plantas úteis por parcela.

MONTEIRO & CORDEIRO (1983) descrevem o comportamento da espécie frente ao espaçamento num delineamento em blocos casualizados e num arboreto, aos 5 anos. Os 6 tratamentos no delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições, foram os de 2,0 x 2,0 m, 2,0 x 2,5 m, 2,5 x 2,5 m, 3,0 x 2,5 m, 3,0 x 3,0 m e 2,5 x 1,7 m, variando de 4,0 a 9,0 m²/planta, tendo cada parcela 36 plantas úteis. Houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis diâmetro e altura, sendo que no menor espaçamento (2 x 2 m) o DAP médio/altura média foi de 10,5 cm/18,6 m, e no maior espaçamento (3 x 3 m) de 15,3 cm/21,2 m. Não houve diferença significativa para volume total, que teve média geral 198,10 m³/ha. Ao avaliarem o arboreto, obtiveram valores para DAP/altura, no espaçamento 2,0 x 2,0 m, de 13,1 cm/20,2 m, e no 3,0 x 3,3 m, de 23,0 cm/26,1 m, superiores àqueles observados no delineamento em blocos casualizados.

3.MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Localização dos Experimentos

Dois experimentos, um com delineamento em blocos casualizados e o outro com delineamento sistemático tipo "leque", testando espaçamentos de plantio para *Eucalyptus dunnii*, foram instalados em março de 1988 na fazenda Ibiti, de propriedade da Ripasa S/A Celulose e Papel, situada no município de Itararé, Estado de São Paulo.

As coordenadas geográficas locais são de 24° 11' S de latitude, 49° 08' W de longitude e 980 metros de altitude.

A fazenda pertence à região administrativa estadual de Sorocaba, a qual possui cerca de 240000 ha de reflorestamentos com *Eucalyptus*, representando 45% das florestas com este gênero no Estado de São Paulo (KRONKA et alii, 1993).

Os experimentos foram instalados em local de relevo plano e em áreas contíguas (Figuras 7 e 33 -apêndice).

3.1.2. Caracterização do Material Genético

A espécie testada foi o *Eucalyptus dunnii* Maiden, proveniente de um lote de sementes de polinização aberta, de populações nativas da Austrália. As sementes foram importadas, através da empresa Consulfior Ltda, com lote nº 480.

As mudas foram produzidas no viveiro da fazenda Fortaleza, Ibaté -SP, da Ripasa S/A Celulose e Papel, no sistema de tubetes (50 cm³), tendo como substrato uma mistura de 90% de casca de eucalipto compostada e 10% de cinza de

caldeira de biomassa. As fertilizações de viveiro constituíram-se da aplicação de 10 kg de super fosfato simples/m³ do substrato e 4 fertilizações de cobertura, com uma solução preparada à base de 0,5 kg de sulfato de amônio e 0,3 kg de cloreto de potássio / 100 litros d'água, aos 15, 35, 55 e 75 dias.

As mudas foram produzidas em 90 dias, e selecionadas para plantio aquelas com altura entre 30 e 35 cm, vigorosas e sadias.

3.1.3. Caracterização do Solo

O solo local foi classificado por RIZZO (1984) como sendo um latossolo vermelho escuro álico, A moderado, textura argilosa, relevo plano e suave ondulado (Haplic Acrorthox, segundo Soil taxonomy USDA), tendo como material de origem siltitos e argilitos da formação Itararé, profundo e possuindo boa drenagem interna. Esta unidade de mapeamento de solo representava, na época, 23% das áreas florestais da Empresa.

A descrição morfológica do perfil do solo identificou 4 horizontes, até 150 cm de profundidade, possuindo, em geral, cores bruno avermelhadas (2,5YR 3/4), textura argilosa, e estrutura superficial granular, média, forte, plástica e pegajosa passando a maciça, porosa, plástica e pegajosa em profundidade.

As análises físicas e de fertilidade do solo, por horizonte, encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1. Análise física do latossolo vermelho escuro, nos diversos horizontes, antes do preparo de solo (RIZZO, 1984).

Horizonte nome	Profundidade cm	Areia %	Silte %	Argila %	Densidade g/cm ³	Porosidade %
Ap	000-025	39	13	48	1,33	27
B1	025-060	34	12	54	1,16	22
B21	060-100	31	11	58	1,20	19
B22	100-150+	30	12	58	1,20	21

TABELA 2. Análise de fertilidade do latossolo vermelho escuro, nos diversos horizontes, antes do preparo de solo (RIZZO, 1984).

Hor.	Prof.	pH	M.O.	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	V
nome	cm	KCl	%	ppm	emg/100g					%
Ap	000-025	3,6	3,3	2	0,38	0,50	0,19	10,72	11,81	9
B1	025-060	3,7	2,4	1	0,05	0,19	0,05	8,00	8,30	4
B21	060-100	3,9	1,7	1	0,05	0,15	0,02	6,56	6,78	3
B22	100-150+	4,6	0,9	2	0,02	0,09	0,02	3,84	3,97	3

A maior densidade aparente na camada superficial, Tabela 1, se deve à compactação por pisoteio de gado, sendo facilmente removida pelos processos usuais de aração e gradagem que antecederam o plantio, estando a densidade aparente natural de 1,2 g/cm³ numa faixa bastante propícia para o crescimento radicular das plantas. A porosidade e textura, praticamente constantes ao longo do perfil, também se mostram favoráveis ao crescimento de maciços florestais.

Quanto ao aspecto químico, o solo é de baixa fertilidade natural, sendo extremamente ácido, pobre em fósforo e em bases. No entanto, devido aos seus altos teores de matéria orgânica, CTC e argila, possibilita, através de um adequado manejo de fertilização, sua correção nutricional e permitindo que se consigam boas produtividades com materiais genéticos adaptados às condições climáticas regionais.

3.1.4. Caracterização Bioclimática

O clima local é do tipo Cfb, pela classificação de Köppen e segundo GOLFARI (1978) a área pertence à 4ª Região Bioclimática Brasileira possuindo clima submontano, úmido, com chuvas uniformes e ausência de deficiência hídrica ao longo do ano. Corresponde também à 2ª Região Bioclimática do Paraná (EMBRAPA, 1986), com uma precipitação média de 1389 mm/ano, evapotranspiração potencial de 947 mm/ano, temperatura média anual de 19° C, e com 0 a 3 geadas por ano (RIZZO, 1984).

A existência de um posto meteorológico na fazenda Ibiti, com coletas diárias de precipitação, temperaturas mínimas e máximas, possibilitou elaborar a Tabela 3.

TABELA 3. Precipitações (Ppt) e Temperaturas médias (Tem) mensais, no período de março de 1988 a fevereiro de 1994, no local do ensaio, em Itararé-SP.

Ano	1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994	
Mês	Ppt mm	Tem ° C	Ppt mm	Tem ° C	Ppt mm	Tem ° C	Ppt mm	Tem ° C	Ppt mm	Tem ° C	Ppt mm	Tem ° C	Ppt mm	Tem ° C
Jan			223	23,4	335	23,8	118	23,4	100	23,9	332	23,3	170	22,6
Fev			244	25,0	111	25,0	161	23,0	205	22,0	234	22,7	93	25,6
Mar	119	22,3	120	28,2	114	24,0	224	22,0	340	21,9	128	22,8		
Abr	81	19,6	35	24,3	81	22,2	87	20,7	100	18,7	44	22,3		
Mai	213	17,0	39	17,9	65	15,6	47	16,8	178	18,3	101	18,6		
Jun	59	14,5	66	16,5	28	14,2	106	16,5	18	17,2	87	15,2		
Jul	6	14,1	206	19,1	160	13,4	18	15,1	35	17,3	47	18,3		
Ago	0	17,8	73	18,3	89	16,2	48	17,4	47	16,2	51	16,7		
Set	30	19,2	100	20,6	110	16,7	134	19,6	117	18,2	188	17,1		
Out	117	19,2	102	16,1	84	19,3	126	20,9	135	19,4	111	21,3		
Nov	63	21,5	68	18,6	90	22,0	73	21,9	128	20,6	87	23,9		
Dez	159	23,3	238	23,4	49	21,5	230	23,0	53	22,4	185	23,7		
Ano	847	18,9	1514	21,0	1316	19,5	1372	20,0	1456	19,7	1595	20,5	263	24,1

No período de março 1988 a fevereiro de 1994, foram registradas 3 geadas, que não danificaram as árvores do experimento, em virtude de sua resistência natural ao fenômeno (HILLIS & BROWN, 1978). A distribuição das chuvas e as temperaturas médias mensais indicam que durante todo o período de crescimento do ensaio houve condições térmicas e hídricas propícias para o desenvolvimento do *E. dunnii*, dada a similaridade com sua região de origem (HILLIS & BROWN, 1978).

A vegetação anterior, no local do experimento, era de campo nativo, com gramíneas de altitude, usado extensivamente para pastoreio de gado bovino.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento em Blocos Casualizados

O primeiro experimento foi instalado no delineamento convencional, em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos ensaiados, bem como suas relações com área por planta e densidade de plantas por hectare, são expostos na Tabela 4.

TABELA 4. Tratamentos de espaçamento do *E.dunnii*, no experimento em blocos casualizados.

TRATAMENTO (número)	ESPAÇAMENTO (m linha x m planta)	ÁREA (m ² /planta)	DENSIDADE (plantas/ha)
1	3,00 x 1,50	4,50	2222
2	3,00 x 2,00	6,00	1667
3	3,00 x 2,50	7,50	1333
4	3,00 x 3,00	9,00	1111
5 ⁽¹⁾	3,00 x 3,00	9,00	1111

(1) Plantio em quinquôncio

Os tratamentos 1 a 4 foram implantados sob um arranjo retangular, isto é, as plantas encontram-se alinhadas tanto no sentido das linhas de plantio, como ortogonalmente ao mesmo. Para o tratamento 5 o arranjo foi em quinquôncio, ficando as plantas de uma linha defasadas de 1,5 metros em relação às plantas das linhas vizinhas, objetivando melhorar a distribuição das plantas na ocupação da área. Ambos arranjos são visualizados na Figura 6.

retangular

quinquôncio

FIGURA 6. Arranjo de plantio retangular para os tratamentos 1 a 4, e em quinquôncio para o tratamento 5, no experimento em Blocos Casualizados.

As unidades amostrais foram estabelecidas de forma a terem 25 plantas úteis por parcela, 5 linhas por 5 plantas (5 x 5), e bordaduras duplas a quádruplas. A Tabela 5 caracteriza as parcelas amostrais utilizadas.

TABELA 5. Plantas úteis e totais, bordaduras entre linhas e entre plantas, área útil e total, das unidades amostrais do experimento em blocos casualizados.

ITEM \ TRATAMENTO	1	2	3	4	5
Espaçamento (m x m)	3,00 x 1,50	3,00 x 2,00	3,00 x 2,50	3,00 x 3,00	3,00 x 3,00
Plantas Úteis	25	25	25	25	25
Plantas Totais	143	143	121	99	99
Bordadura Entre Linhas	3	3	3	3	3
Bordadura Entre Plantas	4	4	3	2	2
Área Útil (m ²)	112,5	150,0	187,5	225,0	225,0
Área Total (m ²)	844,5	858,0	907,5	891,0	891,0

A Figura 7 ilustra o croqui de instalação do experimento em blocos casualizados, onde os tratamentos foram aleatorizados dentro dos blocos, e do sistemático tipo "Leque".

FIGURA 7. Croqui de instalação do experimento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

A marcação das covas foi efetuada com o uso de teodolito para locação dos vértices externos dos blocos, sendo que internamente foram marcadas as

distâncias entre linhas e entre plantas com cordas, devidamente identificadas para os diferentes espaçamentos de plantio.

3.2.2. Delineamento Sistemático Tipo “Leque”

3.2.2.1. Caracterização e Instalação

O segundo experimento foi instalado em delineamento sistemático tipo “leque”, conforme o modelo (IA) proposto por NELDER (1962) (Figura 4). Como exposto por NELDER (1962), e reforçado por BLEASDALE (1966) e CHALITA (1991), este arranjo fica totalmente caracterizado ao definirem-se os valores do raio inicial r_0 (distância do centro do círculo à bordadura interna), a razão da progressão geométrica dos raios (α) e o ângulo entre os mesmos (θ). Com estes valores podemos calcular os raios dos tratamentos (r_1 a r_n), a área associada à cada planta (A_1 a A_n), que é representada pelo setor circular que a contém, e a retangularidade (τ), que representa a relação entre as distâncias médias entre plantas nos raios e nos arcos. Estes valores estão ilustrados na Figura 8.

FIGURA 8. Valores do raio inicial (r_0), raios dos tratamentos (r_1 a r_n), ângulo entre raios (θ) e área associada a cada planta (A_1 a A_n) no delineamento sistemático tipo “leque”.

Dado o grande número de combinações possíveis entre os valores de r_0 , α e θ , o número de espaçamentos possíveis é também elevado, de forma que se optou em trabalhar com valores que possibilitassem obter um número de 4 a 5 tratamentos dentro das faixas comerciais de espaçamento para o gênero *Eucalyptus*, ou seja de 3 a 12 m²/planta (BALLONI & SIMÕES, 1980). Assim elaborou-se um programa em computador, na linguagem BASIC, que definidos esses três valores, fornecia os espaçamentos para 20 arcos concêntricos.

Após inúmeras simulações, optou-se pelos seguintes valores:

$$r_0 = 5,30 \text{ m}, \alpha = 1,21 \text{ e } \theta = 10^\circ (0,17453 \text{ rd}).$$

Estes valores propiciaram, então, obter-se o delineamento em "leque" caracterizado pela Tabela 6.

TABELA 6. Valores da distância radial, área por planta e densidade de plantas para 10 espaçamentos (tratamentos) no delineamento sistemático tipo "leque"

TRATAMENTO número	DISTÂNCIA RADIAL (m)	ÁREA (m ² /planta)	DENSIDADE (plantas/ha)
1	6,42	1,40	7143
2	7,78	2,05	4878
3	9,42	3,01	3322
4	11,41	4,41	2268
5	13,82	6,47	1546
6	16,74	9,50	1053
7	20,27	13,93	718
8	24,55	20,43	489
9	29,73	29,97	334
10	36,00	43,95	228

Observa-se a grande amplitude de variação dos espaçamentos, de 1,40 a 43,95 m²/planta, dos quais metade (tratamentos 3 a 7), estão cobrindo faixas comercialmente utilizadas para *Eucalyptus*, entre 3 a 14 m²/planta.

Quanto ao número de repetições, pensou-se inicialmente em se utilizar "leques" incompletos, com 8 raios, sendo 6 úteis (2 externos de bordadura), conforme

arranjo sugerido por NAMKOONG (1966) (Figura 5). No entanto, o aumento das bordaduras, e conseqüentemente da área experimental, levou a se optar por colocar as 6 repetições formando um círculo completo. Além disso esta disposição possibilita a "compensação" de possíveis gradientes de fertilidade existentes, dada a ortogonalidade mútua entre as repetições, sugerida por HUXLEY (1985) e PEARCE (1989). O número de 6 plantas por repetição seguiu as recomendações de NELDER (1962), BLEASDALE (1966) e WAHUA & MILLER (1978) de se trabalhar com um conjunto de raios, ao invés de valores individuais por planta, e dos valores mínimos de 4 plantas úteis por parcela em experimentos com *Eucalyptus* obtidos por GOMES & COUTO (1985).

O experimento conta, além da bordadura interna com raio de 5,30m, com uma bordadura externa com raio de 43,60 m. A Figura 9 ilustra o croqui do experimento.

FIGURA 9. Croqui de instalação do experimento sistemático tipo "leque".

A retangularidade (τ) do delineamento é de 0,91, ou seja, próxima a unidade. Comparativamente, no delineamento em blocos casualizados a retangularidade variou de 1,0 (3,0 m x 3,0 m) a 2,0 (3,0 m x 1,5 m). Desta forma, este fator não foi motivo de preocupação, como bem esclarecem NAMKOONG (1966) e SALMINEN & VARMOLA (1993).

A locação das covas para plantio foi efetuada com auxílio de um teodolito colocado no centro do círculo, que iniciou a marcação dos raios a partir do Norte Magnético em 25/02/1988 (r_0), e de uma corda, já devidamente marcada com as distâncias entre plantas, a qual era esticada do centro da figura à cova da bordadura externa (43,6 m).

3.2.2.2. Rearranjo das Parcelas Experimentais

Em virtude da ocorrência de falhas e mortalidade de algumas árvores no delineamento sistemático, as plantas vizinhas passaram a ter uma área disponível de crescimento diferente daquela inicialmente estabelecida para os tratamentos (NELDER, 1962). Como estas ocorrências foram poucas e aleatórias dentro do experimento, optou-se por eliminar da análise experimental todas as plantas vizinhas a estas falhas ou mortes, como propõem GOMEZ & DEDATTA (1972), ao invés de buscar uma correção dos valores observados das variáveis em estudo através de análise de covariância (WILKINSON et alii, 1983; DRAPPER & GUTTMAN, 1980; BESAG & KEMPTON, 1986; LAND & NANCE, 1987).

De modo semelhante, excluíram-se da análise as poucas árvores bifurcadas, isto é, com dois fustes ao nível do DAP (Diâmetro à Altura do Peito, 1,30m em relação ao solo). Este procedimento objetivou também eliminar a necessidade de correções para as variáveis estudadas.

Como as falhas, morte e bifurcações não ocorreram de forma idêntica em todos os tratamentos, padronizou-se o número de plantas totais por tratamento pela situação mais crítica, que foi a da perda de 5 plantas no tratamento 8, restando portanto 31 plantas por tratamento, das 36 originais.

Esta depuração das informações levou a rearranjar, de forma bem próxima à proposta original, a concepção das repetições e parcelas no delineamento sistemático. Assim as 6 repetições iniciais, por tratamento, com parcelas de 6 plantas, foram rearranjadas em 5 repetições, por tratamento, com parcelas de 6 plantas, totalizando 30 plantas por tratamento.

Portanto, para esta padronização de 30 árvores por tratamento, fez-se necessário a exclusão, por sorteio, de diferente número de árvores por tratamento. No item 3.2.4.1, são detalhadas as árvores eliminadas neste rearranjo.

3.2.3. Práticas Silviculturais Adotadas

O preparo de solo para instalação dos experimentos constitui-se de um revolvimento total da pastagem nativa com grade aradora (discos 32") tracionada por trator de esteira, seguida de uma gradagem de nivelamento (discos 24") com trator de pneu. A Figura 33 ilustra este preparo inicial do solo.

O plantio ocorreu no dia 25 de março de 1988, com as mudas provenientes do viveiro da Empresa.

A fertilização foi padronizada por área, à base de 300 kg/ha de super fosfato simples granulado, 100 kg/ha de NPK 25:0:25 mistura de grânulos e 4 t/ha de calcário calcítico pó.

No delineamento em blocos casualizados o super fosfato simples foi aplicado em sulco, ao longo da linha de plantio, no dia anterior ao plantio. A fertilização com NPK 25:0:25 foi realizada 25 dias após o plantio, em meia lua distante 30 cm das mudas. A calagem foi realizada à lanço, em junho de 1991, quando as plantas estavam com 39 meses.

No delineamento sistemático adotou-se uma dose mínima de 42 g de super fosfato simples e 14 g de NPK 25:0:25 na cova, para todos os tratamentos, um dia antes do plantio. A fertilização restante ocorreu aos 30 dias após o plantio em doses crescentes, ao redor das plantas, de forma a terem todos os tratamentos a mesma quantidade final de fertilização por área. A calagem foi realizada à lanço, em área total, simultaneamente ao delineamento em blocos casualizados.

Esta fertilização era, na época, a utilizada pela Empresa em seus plantios comerciais.

No 14º dia após o plantio foi realizada vistoria nos experimentos para repor mudas nas falhas de plantio.

Desde o plantio (Figura 33), e ao longo de toda a fase de crescimento (Figura 34 - apêndice), os experimentos ficaram livres de matocompetição, devido à baixa infestação de ervas no local e as práticas de capina manual sempre efetuadas quando necessárias.

3.2.4. Avaliações Dendrométricas

Os experimentos foram avaliados simultaneamente aos 26, 42, 48, 60 e 71 meses de idade, por pessoal técnico treinado em mensurações dendrométricas, e munidos de fichas próprias para anotações dos dados. Em cada uma destas avaliações coletaram-se os dados individuais referentes ao DAP e altura total, das árvores úteis, em cada uma das parcelas do experimento em blocos casualizados e do sistemático tipo "leque".

As avaliações foram sempre efetuadas numa mesma sequência de caminamento dentro das parcelas experimentais e anotavam-se ainda as ocorrências de falhas, mortalidade e bifurcações.

3.2.4.1. Falhas e Bifurcações

As falhas, mortes e bifurcações foram anotadas nas fichas de avaliação de campo de cada um dos experimentos, considerando-se como falha de plantio a inexistência da árvore na primeira avaliação, e como mortalidade as futuras falhas ocorridas ao longo do crescimento.

No caso do delineamento em blocos casualizados, com 25 plantas úteis por parcela, a ocorrência de uma ou outra falha não gera discrepâncias na estimativa dos parâmetros populacionais, haja vista a capacidade compensatória das plantas em condição de maciços florestais.

Para o delineamento sistemático, como já exposto no item 3.2.2.2, houve necessidade de rearranjo do número de repetições em função das falhas e das bifurcações, conforme mostra a Tabela 7.

TABELA 7. Número do raio das plantas excluídas da análise experimental devido a falha ou morte, sua ou de plantas vizinhas, à bifurcação e árvores sorteadas para padronizar em 30 o número total de árvores por tratamento no delineamento em "leque".

TRATAMENTO	FALHAS/MORTES	BIFURCADAS	SORTEIO
1	5-6-7		11-21-28
2	6-11		12-14-20-24
3	3-10-11-12		18-25
4	2-3-4-11		29-36
5	3-22		1-10-12-19
6	21-22-23		6-12-34
7	22		5-11-23-31-33
8	36	17-18-23-25	8
9	1-35-36	16	14-27
10	36	10-19	4-7-24

Assim, após este rearranjo o delineamento sistemático tipo "leque" ficou constituído de 5 repetições por tratamento, tendo cada parcela 6 plantas, conforme mostra a Tabela 8.

TABELA 8. Número do raio das plantas que compõem as 5 repetições de cada tratamento no delineamento sistemático tipo "leque".

Repetição Tratamento	1	2	3	4	5
1	1-2-3-4-8-9	10-12-13-14-15-16	17-18-19-20-22-23	24-25-26-27-29-30	31-32-33-34-35-36
2	1-2-3-4-5-7	8-9-10-13-15-16	17-18-19-21-22-23	24-26-27-28-29-30	31-32-33-34-35-36
3	1-2-4-5-6-7	8-9-13-14-15-16	17-19-20-21-22-23	24-26-27-28-29-30	31-32-33-34-35-36
4	1-5-6-7-8-9	10-12-13-14-15-16	17-18-19-20-21-22	23-24-25-26-27-28	30-31-32-33-34-35
5	2-4-5-6-7-8	9-11-13-14-15-16	17-18-20-21-23-24	25-26-27-28-29-30	31-32-33-34-35-36
6	1-2-3-4-5-7	8-9-10-11-13-14	15-16-17-18-19-20	24-25-26-27-28-29	30-31-32-33-35-36
7	1-2-3-4-6-7	8-9-10-12-13-14	15-16-17-18-19-20	21-24-25-26-27-28	29-30-32-34-35-36
8	1-2-3-4-5-6	7-9-10-11-12-13	14-15-16-18-20-21	22-24-26-27-28-29	30-31-32-33-34-35
9	2-3-4-5-6-7	8-9-10-11-12-13	15-17-18-19-20-21	22-23-24-25-26-28	29-30-31-32-33-34
10	1-2-3-5-6-8	9-11-12-13-14-15	16-17-18-20-21-22	23-25-26-27-28-29	30-31-32-33-34-35

3.2.4.2. Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Os DAP, em centímetros, das árvores foram determinados mensurando-se, com fita métrica, as circunferências ao nível do peito (CAP), com precisão de 0,5 cm, e posteriormente convertendo-as para DAP pela divisão por π (pi).

O DAP médio associado a cada parcela experimental foi determinado pela média de todos os DAP da parcela. No delineamento em blocos casualizados o número de plantas mensuradas variou de 25 nas parcelas sem falhas a 23 na parcela com maior número de falhas, tendo o experimento uma sobrevivência média de 99%. O número de plantas mensuradas, por parcela, no delineamento sistemático foi 6.

3.2.4.3. Altura

As alturas totais, em metros, foram determinadas com auxílio do hipsômetro de "Suunto" (FINGER, 1992).

Para cada parcela calculou-se a altura média pela média de todas as alturas totais.

3.2.4.4. Volume Individual

Para se obter os volumes sólidos individuais por planta, com casca, foram abatidas, em diferentes idades, árvores de *E. dunnii*, do povoamento comercial com espaçamento de 3,0 m x 3,0 m, que circunda o experimento, em classes diamétricas representativas das faixas de diâmetro mensuradas no experimento.

Estas árvores foram cubicadas de metro em metro, da base de corte até o diâmetro mínimo de 6 cm, calculando-se o volume de cada seção pela fórmula de Smalian, e o volume do ponteiro como se fosse um cone (FINGER, 1992). O volume sólido individual de cada árvore abatida foi então determinado por:

$$v = (\pi / 8) \cdot [(D_1^2 + D_n^2) + 2 \cdot (D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_{n-1}^2)] + (\pi / 12) \cdot D_n^2 \cdot c,$$

onde:

v = volume sólido individual (m^3);

$D_1, D_2 \dots D_n$ = diâmetros da árvore nas diversas alturas (m);

c = comprimento do ponteiro final da árvore (m).

Fez-se então o ajuste de equações volumétricas tendo como variável dependente o volume individual, e como variáveis independentes o DAP e altura total dessas árvores. O modelo de equação volumétrica utilizado, dado seus bons ajustes nos povoamentos comerciais da Empresa, foi o de Spurr com variável combinada logarítmica (COUTO & BASTOS, 1987):

$$\ln v_i = a_0 + a_1 \cdot \ln (DAP_i^2 \cdot H_i) + \ln e_i,$$

onde:

v_i = volume individual da árvore i (m^3);

a_0, a_1 = coeficientes da regressão;

DAP_i = diâmetro à altura do peito da árvore i (cm);

H_i = altura total da árvore i (m);

e_i = erro associado à observação i .

A Tabela 9 apresenta as estimativas dos parâmetros das equações ajustadas nas diferentes idades, seus coeficientes de determinação (R^2), testes F da regressão e o número de árvores utilizadas.

TABELA 9. Coeficientes das equações volumétricas ajustadas para as diferentes idades, seus coeficientes de determinação (R^2), testes F e o número de árvores cubicadas.

IDADE	a_0	a_1	R^2	F(1)	Árvores
25	-9,704472	0,927806	0,998	17033**	35
42	-9,757822	0,938556	0,997	16614**	56
61	-10,587227	1,041064	0,995	14524**	80
70	-10,257052	0,996496	0,999	20494**	90

(1) ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Assim, dado seus excelentes ajustes, as equações foram utilizadas, nas suas respectivas idades para se estimar, através do DAP e altura total das árvores, o volume sólido individual, em pé, das mesmas. Para a idade de 48 meses, utilizou-se a equação ajustada para 42 meses, pois as distribuições diamétricas aos 48 e 42 meses não diferiram substancialmente.

Desta forma, calculou-se o volume individual médio, associado a cada parcela, pela média de todos os volumes sólidos individuais, e expressando o valor final em $\text{dm}^3/\text{árvore}$.

3.2.4.5. Área Basal

Para o cálculo da área basal por hectare somou-se, para cada parcela, as áreas das seções transversais ($\pi \cdot \text{DAP}^2 / 4$) de todas as árvores, fazendo-se em seguida a estimativa da área basal por hectare pela fórmula:

$$\text{ABh} = \text{ABp} \cdot k;$$

onde:

ABh = área basal por hectare (m^2/ha);

ABp = área basal da parcela (m^2);

k = fator de expansão para hectare ($k = 10000 \text{ m}^2 / \text{Área da Parcela em m}^2$).

A Tabela 10 apresenta os fatores de expansão (k) para os diferentes tratamentos, nos dois experimentos.

TABELA 10. Fator de expansão para hectare (k), para os diferentes tratamentos, nos delineamentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

Del\Tr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Blocos	88	67	53	44	44	-	-	-	-	-
Leque	1190	813	554	378	258	175	120	82	56	38

3.2.4.6. Volume Total

O volume sólido total por hectare, com casca, foi calculado, para cada parcela, através da soma dos volumes individuais, estimados a partir dos valores de dap e altura de cada árvore pelas equações volumétricas da Tabela 9, multiplicada pelo respectivo fator de expansão por hectare (k) (Tabela 10):

$$V_{Th} = V_{Tp} \cdot k,$$

onde:

V_{Th} = volume total por hectare (m^3/ha);

V_{Tp} = volume total da parcela (m^3);

k = fator de expansão para hectare.

3.2.5. Análise do Delineamento em Blocos Casualizados

O objetivo básico do delineamento em blocos casualizados foi o de ser o referencial acerca do verdadeiro comportamento das variáveis em estudo (DAP, altura, volume individual, área basal e volume total), em função do espaçamento inicial, nas condições de maciço florestal.

Isto se deve ao fato de todas as árvores mensuradas, em cada parcela, estarem em competição direta, com árvores da parcela e bordaduras, sob o mesmo espaçamento e plantadas num arranjo comercial (Figura 6). Além disso, o cálculo das variáveis área basal e volume total, se basearam em parcelas de 112,5 a 225,0 m^2 , com fatores de expansão por hectare (k) próximos.

Em função deste importante papel de "referência" na interpretação do delineamento sistemático tipo "leque", avaliou-se o comportamento desse experimento, nas diferentes idades, no tocante à variância residual, coeficiente de variação experimental e eficiência relativa para todas as 5 variáveis em estudo, considerando-se o modelo estatístico:

$$y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij};$$

onde:

y_{ij} = valor da variável y no tratamento i e bloco j ;

m = média geral;

t_i = efeito do tratamento i ;

b_j = efeito do bloco j ;

e_{ij} = erro experimental associado à observação y_{ij} .

A análise de variância ficou estabelecida como mostra a Tabela 11.

TABELA 11. Esquema de análise de variância do delineamento em blocos casualizados

Causas de Variação	GL	SQ	QM
Tratamentos	$(t - 1) = 4$	SQT	QMT
Blocos	$(b - 1) = 3$	SQB	QMB
Resíduo	$(t-1)(b-1) = 12$	SQR	QMR
Total	$(tb - 1) = 19$		

Assim, para as variáveis DAP, altura, volume individual, área basal e volume total obtiveram-se, para cada idade de avaliação as estimativas da variância residual (QMR) e o coeficiente de variação experimental (CVexp):

$$CV \text{ exp } (\%) = 100 \cdot \sqrt{QMR} / \bar{y}$$

Para o cálculo da eficiência relativa do delineamento em blocos casualizados, comparativamente ao inteiramente ao acaso, utilizou-se a fórmula deduzida por COCHRAN & COX (1978), com a correção quando o número de graus de liberdade do resíduo é pequeno:

$$ER(\%) = 100 \cdot [QMR_i (n_1+1) (n_2+3)] / [QMR_b (n_2+1) (n_1+3)]$$

onde:

n_1 = número de graus de liberdade associados ao resíduo no delineamento em blocos casualizados;

n_2 = número de graus de liberdade associados ao resíduo no delineamento inteiramente ao acaso;

QMR_i = estimativa da variância residual no delineamento inteiramente ao acaso;

QMR_b = estimativa da variância residual no delineamento em blocos casualizados

Após estas verificações da uniformidade da área experimental e qualidade do experimento, efetuou-se a análise experimental do mesmo em termos de seus fatores quantitativos (espaçamento). Para isso, analisou-se a existência, ou não, de efeito linear do espaçamento sobre as variáveis em estudo, fixando-se a idade de 71 meses como idade de interesse, em virtude dos plantios comerciais da Empresa com o *E.dunnii* serem manejados com esta idade de corte para fins de produção de celulose.

A opção em se verificar apenas o efeito linear do espaçamento se prende aos seguintes aspectos: 1. A estreita amplitude e pequeno número de espaçamentos em estudo (4 espaçamentos: 4,5; 6,0; 7,5 e 9,0 m²/planta); e 2. Busca-se apenas verificar tendências de comportamento para compará-las ao delineamento sistemático.

Assim, aos 71 meses, para as 5 variáveis em estudo, procedeu-se à análise de regressão linear, conforme mostra a Tabela 12.

TABELA 12. Esquema de análise de variância da regressão linear para efeito do espaçamento no delineamento em blocos casualizados.

Causa Variação	G.L.	SQ	QM	F
Efeito Linear	1	SQRL	QMRL	QMRL/QMR
Desvios da Regressão	(t-2) = 2	SQDR	QMDR	QMDR/QMR
Bloco	(b-1) = 3	SQB		
Resíduo	(t-1)(b-1) = 9	SQR	QMR	
Total	(tb -1) = 15			

A seguir, estimaram-se os coeficientes linear (b_0) e angular (b_1) para todas as variáveis, bem como seus erros padrão e intervalos de confiança bilaterais para um coeficiente de confiança de 95% de probabilidade ($\alpha = 0,05$), conforme DRAPPER & SMITH (1981):

$$\hat{b}_1 = [\Sigma xy - (\Sigma x \cdot \Sigma y / n)] / [\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n] ; s(\hat{b}_1) = \sqrt{QMR / [\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n]}$$

$$\hat{b}_0 = \bar{y} - \hat{b}_1 \cdot \bar{x} ; s(\hat{b}_0) = \sqrt{QMR \cdot \Sigma x^2 / \{ n \cdot [\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n] \}}$$

$$IC\ b_0 = \hat{b}_0 \pm t.s(\hat{b}_0) ; IC\ b_1 = \hat{b}_1 \pm t.s(\hat{b}_1)$$

A significância do efeito linear, bem como os intervalos de confiança dos coeficientes b_0 e b_1 , para todas as variáveis, foram utilizados para fins de comparação com o delineamento sistemático tipo "leque".

3.2.6. Análise do Delineamento Sistemático Tipo "Leque"

Por ser um delineamento onde: 1. Não houve a casualização dos tratamentos, 2. Não se deixaram bordaduras entre tratamentos, e 3. Os fatores de expansão por hectare (k) são extremamente variáveis; percebe-se que, de fato, ele não pode ser analisado como se fosse um delineamento aleatório (MEAD, 1988 e PEARCE, 1989). No entanto, a existência dos fatores quantitativos crescentes, mesmo que colocados em arranjo sistemático, sugerem o uso de análise de regressão (DAWKINS, 1960; SCOTT, 1962; NELDER, 1962; NAMKOONG, 1967; EVERT, 1971; WRIGHT, 1976; HUXLEY & MAINGU, 1978; HUXLEY, 1985; MEAD, 1988 e PEARCE, 1989).

Previamente a esta análise, seguindo proposta de NELDER (1962), CLEAVER et alii (1978) e BAUDER et alii (1978), averiguou-se graficamente o comportamento das variáveis DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, frente ao espaçamento, dentro das diferentes repetições, evidenciando-se um comportamento errático de algumas variáveis. Como forma de valorizar esta constatação, calcularam-se as variâncias, por tratamento, eliminando-se,

justificadamente, aquelas com nítida perturbação, para que não prejudicassem as regressões a serem ajustadas.

Posteriormente, para as 5 variáveis em estudo, na idade de 71 meses, selecionaram-se os tratamentos 4, 5 e 6 do delineamento sistemático para ajuste de regressões lineares, estimativa dos parâmetros b_0 e b_1 e obtenção de seus desvios padrão e intervalos de confiança para um coeficiente de confiança de 95% de probabilidade. Esta seleção objetivou trabalhar numa faixa de espaçamento, de 4,41 a 9,50 m²/planta, próxima ao delineamento em blocos casualizados (4,50 a 9,00 m²/planta).

O modelo ajustado foi:

$$y_{ij} = b_0 + b_1.E_i + e_{ij}$$

onde:

y_i = valor da variável y no espaçamento i e repetição j ;

b_0, b_1 = coeficientes a serem determinados;

E_i = efeito do espaçamento de plantio i (m²/planta);

e_{ij} = erro experimental associado à observação y_{ij} .

A análise de variância para a regressão se encontra na Tabela 13.

TABELA 13. Esquema de análise variância da regressão linear para efeito do espaçamento, nos tratamentos 4,5 e 6, do delineamento sistemático tipo "leque".

Causa Variação	G.L.	SQ	QM	F
Efeito Linear	1	SQRL	QMRL	QMRL/QMR
Resíduo	(n-2)=13	SQR	QMR	
Total	(n-1)=14			

Assim, obtiveram-se as significâncias das regressões ajustadas no delineamento sistemático, bem como os intervalos de confiança dos parâmetros, possibilitando compará-los com as equações ajustadas no delineamento em blocos casualizados, para faixas similares de variação do espaçamento.

3.2.7. Análise Comparativa dos Delineamentos

Inicialmente, compararam-se as variâncias residuais e as significâncias dos coeficientes b_0 e b_1 estimados para as variáveis DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, bem como seus intervalos de confiança, para ambos experimentos na idade de 71 meses, na faixa de espaçamentos similares.

Apesar das variáveis em estudo terem apresentado a mesma tendência de comportamento frente ao espaçamento em ambos delineamentos, constatou-se uma frequente propensão do delineamento sistemático apresentar uma estimativa do coeficiente linear b_0 superior ao do delineamento em blocos casualizados. Esta superioridade, até certo ponto encoberta pelas maiores variâncias residuais do delineamento sistemático tipo "leque", pode significar, dada a similaridade dos coeficientes angulares, uma superestimativa das variáveis em estudo, para um determinado espaçamento, comparativamente ao delineamento em blocos casualizados.

Assim, constatou-se a possibilidade de se estabelecer uma relação entre os valores observados no delineamento sistemático e aqueles do delineamento em blocos casualizados, por representar este último o comportamento da espécie em condição de maciço florestal.

Esta relação é de grande interesse pois possibilita estimarem-se valores de DAP, altura, volume individual, área basal e volume total para povoamentos de *E.dunnii*, em condições de maciço florestal, em espaçamentos que não foram testados no delineamento em blocos casualizados. Com isso, dispensar-se-ia a necessidade de nova experimentação num delineamento aleatório, na faixa de espaçamento considerada de interesse, como recomendam os pesquisadores para culturas agrícolas (HUXLEY, 1985; PEARCE, 1989 e RAO et alii, 1990).

O modelo determinístico então almejado foi:

$$y_b(x) = y_s(x) + c(x);$$

onde:

$y_b(x)$ = valor da variável y no delineamento em blocos casualizados no espaçamento x ;

$y_s(x)$ = valor da variável y no delineamento sistemático tipo "leque" no espaçamento x ;

$c(x)$ = fator de correção entre delineamento sistemático tipo "leque" e o em blocos casualizados para o espaçamento x .

Para obtenção deste modelo fez-se necessário estabelecer: 1. Uma equação de regressão ($y_s(x)$) para toda a faixa de espaçamento do delineamento sistemático (1,40 a 43,95 m²/planta) e 2. Uma regra de ajuste entre os delineamentos ($c(x)$).

Na primeira etapa avaliaram-se diferentes modelos para ajustar as variáveis dependentes (DAP, altura, volume individual, área basal e volume total) em função da variável independente, o espaçamento (E , em m²/planta), como mostra a Tabela 14.

TABELA 14. Equações de resposta ao espaçamento (E) testadas para as 5 variáveis em estudo (y), no delineamento sistemático tipo "leque"

MODELO	DAP, Altura, Volume individual	Área Basal, Volume Total
1	$y = a_0 + a_1 \cdot E$	$y = a_0 + a_1 \cdot E$
2	$y = a_0 + a_1 \cdot E + a_2 \cdot E^2$	$y = a_0 + a_1 \cdot E + a_2 \cdot E^2$
3	$y = a_0 + a_1 \cdot E + a_2 \cdot E^2 + a_3 \cdot E^3$	$y = a_0 + a_1 \cdot E + a_2 \cdot E^2 + a_3 \cdot E^3$
4 e 5	$y^{-1} = a_0 + a_1 \cdot E^{-1}$	$\ln y = a_0 + a_1 \cdot E$

Estes modelos foram escolhidos, após observação do comportamento geral de cada variável frente ao espaçamento (Figuras 11, 12, 13, 14 e 15), pela sua simplicidade de ajuste e utilização (1.linear, 2.quadrático e 3.cúbico) e com base nas propostas de HOLLIDAY (1960), NELDER (1962) e BLEASDALE (1966) (4.inversa e 5.logarítmica). Optou-se por utilizar como variável independente o espaçamento, em m²/planta, ao invés da densidade de plantas por hectare, para não se trabalhar com coeficientes estimados muito pequenos.

As melhores regressões foram eleitas considerando-se, concomitantemente, seus valores de coeficiente de determinação (R^2), valor do teste F e soma de quadrados da variável original $[y_i - \hat{y}_i]^2$ (SQ).

Na segunda etapa, relativa ao fator de correção, foi solucionada considerando-se os seguintes pontos: 1. O valor médio da variável no delineamento em blocos casualizados, foi considerado como sendo o maior desvio entre as estimativas do delineamento em blocos casualizados e as estimativas do delineamento sistemático tipo "leque" (Figura 10); 2. Considerou-se a existência de uma convergência de resposta para ambos delineamentos no tratamento 10 do delineamento sistemático (43,95 m²/planta), na idade de 71 meses, isto é, neste espaçamento o desvio seria mínimo, e igual a zero; 3. Os desvios na faixa compreendida entre 7,2 e 43,95 m²/planta, seriam decrescentes, em função da suposta convergência; e 4. O detalhamento da forma e pontos de convergência, para cada variável, deveria ser efetuado posteriormente, num aprofundamento do estudo.

FIGURA 10. Ajuste da equação, das variáveis em estudo, para o delineamento em blocos casualizados (y_b) em função do espaçamento (x), e com base nas equações determinadas para o delineamento sistemático tipo "leque" (y_s) e convergência no espaçamento de 43,95 m²/planta.

A consideração de que no espaçamento de 43,95 m²/planta, na idade de 71 meses, ambos delineamentos teriam as mesmas estimativas, se embasa na características assintóticas dos valores de DAP, altura e volume individual (Tabelas 21, 22 e 23 e Figuras 11, 12 e 13) onde se depreende que para este espaçamento, e idade, as árvores estão crescendo sem competição, independentemente do tipo de delineamento a que estão submetidas.

Pode-se então obter as equações finais, que estimam as variáveis de interesse, em condições de maciço florestal, em função de espaçamentos bastante amplos (7,20 a 43,95m²/planta), obtidos em delineamento sistemático tipo "leque" e corrigidos, para a condição de maciços florestais, pela utilização das parcelas do delineamento em blocos casualizados como "referência".

Assim, obtiveram-se as equações para as variáveis em estudo, no delineamento em blocos casualizados (Figura 10), por:

$$y_b(x) = y_s(x) - \frac{\Delta y(x_0) \cdot (M - x)}{(M - x_0)}$$

e, desde que $x_0 = 7,20$ m²/planta e $M=43,95$ m²/planta tem-se:

$$y_b(x) = y_s(x) - \frac{[y_s(x_0)-y_0] \cdot (43,95 - x)}{(43,95 - 7,20)}$$

onde:

$y_b(x)$ = valor estimado para a variável y no delineamento em blocos casualizados (maciço florestal) no espaçamento x ;

$y_s(x)$ = valor estimado para a variável y no delineamento sistemático tipo "leque" no espaçamento x ;

$y_s(x_0)$ = valor estimado para a variável y no delineamento sistemático tipo "leque" no espaçamento $x_0 = 7,20$ m²/planta;

y_0 = valor médio de y no delineamento em blocos casualizados, aos 71 meses;

x = espaçamento de plantio, variando entre 7,20 e 43,95 m²/planta.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Delineamento em Blocos Casualizados

O delineamento em blocos casualizados ocupou uma área total de 16764 m², sendo 13164 m² (79%) referentes às bordaduras (Figura 7). A sobrevivência aos 71 meses foi de 99%, havendo, no mínimo, 23 plantas úteis mensuráveis por parcela, das 25 possíveis.

As Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19 sumarizam os valores médios obtidos, por tratamento e idade, das variáveis DAP, altura, volume individual, área basal e volume total no experimento em blocos casualizados.

TABELA 15 DAP médio (cm), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do *E.dunnii*, no delineamento em blocos casualizados.

Tratamento (m ² /planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 4,5	7,97	10,40	10,67	11,43	12,03
2- 6,0	8,62	11,55	11,88	12,77	13,48
3- 7,5	9,27	12,85	13,36	14,38	15,22
4- 9,0	9,64	13,55	14,07	15,10	16,00
5- 9,0	9,70	13,63	14,20	15,41	16,24

TABELA 16. Altura média (m), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do *E.dunnii*, no delineamento em blocos casualizados

Tratamento (m ² /planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 4,5	10,12	14,54	15,84	18,73	19,11
2- 6,0	10,07	15,10	16,60	19,58	20,26
3- 7,5	10,00	15,46	17,20	20,42	21,04
4- 9,0	9,84	15,38	16,93	20,32	20,98
5- 9,0	10,01	15,65	17,41	21,20	21,84

TABELA 17. Volume individual ($\text{dm}^3/\text{árvore}$), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do *E. dunnii*, no delineamento em blocos casualizados.

Tratamento (m^2/planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 4,5	26,32	63,37	72,39	95,48	105,55
2- 6,0	29,37	77,00	90,94	123,12	137,28
3- 7,5	33,46	96,47	115,07	163,26	181,57
4- 9,0	34,93	103,38	121,85	175,33	193,89
5- 9,0	36,27	107,28	128,21	187,98	205,44

TABELA 18. Área basal (m^2/ha), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do *E. dunnii*, no delineamento em blocos casualizados.

Tratamento (m^2/planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 4,5	11,62	20,01	21,13	24,03	26,68
2- 6,0	9,92	17,95	19,36	22,11	24,71
3- 7,5	9,23	17,91	19,40	22,53	25,39
4- 9,0	8,17	16,20	17,52	20,25	22,77
5- 9,0	8,39	16,64	18,08	21,03	23,45

TABELA 19. Volume total (m^3/ha), por tratamento, nas diferentes idades de avaliação do *E. dunnii*, no delineamento em blocos casualizados.

Tratamento (m^2/planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 4,5	58,50	140,83	160,86	212,17	234,48
2- 6,0	48,95	128,33	151,57	205,19	228,67
3- 7,5	44,62	128,62	153,43	217,69	241,76
4- 9,0	38,81	114,86	135,39	194,81	215,20
5- 9,0	40,30	119,19	142,46	208,86	228,02

Os valores observados nas Tabelas 15 a 19 evidenciam o bom desenvolvimento do *E. dunnii* nas condições locais de solo (Tabelas 1 e 2) e clima (Tabela 3), obtendo-se, aos 71 meses, incremento médio anual de $39 \text{ m}^3/\text{ha.ano}$, confirmando a potencialidade da espécie para zonas edafoclimáticas similares a esta, conforme relatam GOLFARI et alii (1978), PEREIRA et alii (1986) e EMBRAPA (1986)

O DAP médio/altura média nos espaçamentos de 4,5 e 9,0 m²/planta aos 60 meses, respectivamente de 11,43 cm/18,73m e 15,26 cm/20,76m, são quase que idênticos aos encontrados por MONTEIRO & CORDEIRO (1983), que citam valores de 10,5 cm/18,6 m para 4,0 m²/planta e 15,3 cm/21,2 m para 9,0 m²/planta. Observa-se portanto, que os resultados advindos desta experimentação encontram vasta área geográfica de aplicação, no que se refere à produção de madeira para energia (PEREIRA et alii, 1986), celulose e serraria (HILLIS & BROWN, 1978).

Na Tabela 20 são apresentados os valores do quadrado médio do resíduo, teste F para tratamento, coeficiente de variação experimental e eficiência relativa do delineamento em blocos casualizados, para as 5 variáveis em estudo, nas diferentes idades de avaliação.

TABELA 20. Quadrado médio do resíduo (QMR), teste F para tratamento, coeficiente de variação experimental (CV) e eficiência relativa (ER) do delineamento em blocos casualizados, para as 5 variáveis em estudo, nas diferentes idades.

Estatística	IDADE (meses)	DAP (cm)	ALTURA (m)	V.IND. (dm ³ /pl.)	A.BASAL (m ² /ha)	V.TOTAL (m ³ /ha)
QMR (12 gl)	26	0,1046	0,1286	5,26	0,3144	12,60
	42	0,1384	0,1690	25,61	0,7302	53,13
	48	0,1326	0,2604	54,70	1,0521	109,71
	60	0,2024	0,3016	164,86	1,7948	309,19
	71	0,2168	0,4411	224,48	2,1689	396,38
F (1)	26	20,62 **	0,34 ns	12,94 **	24,63 **	19,90 **
	42	56,09 **	4,43 *	54,49 **	12,06 **	7,57 **
	48	69,73 **	5,78 **	39,91 **	7,42 **	3,60 *
	60	55,71 **	11,61 **	36,10 **	4,70 *	0,95 ns
	71	59,55 **	9,50 **	31,39 **	4,44 *	0,96 ns
CV (%)	26	3,6	3,6	7,1	5,9	7,7
	42	3,0	2,7	5,6	4,8	5,7
	48	2,8	3,0	7,0	5,3	7,0
	60	3,2	2,7	8,6	6,1	8,4
	71	3,1	3,2	9,1	5,9	8,6
ER (%)	26	85	83	86	85	105
	42	82	87	100	102	102
	48	84	104	97	98	100
	60	87	104	95	103	98
	71	85	92	99	98	101

(1) * Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade, ns Não Significativo

Percebe-se, analisando a Tabela 20, que os valores do teste F, para as variáveis em estudo, tiveram comportamentos distintos, ao longo do crescimento das árvores. Assim, para o DAP e volume individual, os valores de F foram sempre altamente significativos, em função de serem variáveis individuais extremamente influenciáveis, ao longo do crescimento das plantas, pela densidade do povoamento (SMITH, 1958 e ASSMANN, 1970). Para a altura, as diferenças entre tratamentos só passaram a ser altamente significativas a partir dos 48 meses, quando as alturas médias nos espaçamentos mais fechados passaram a ser inferiores aos demais, mostrando ser o *E.dunnii* uma espécie sensível à competição intra-específica (BALLONI & SIMÕES, 1980).

No tocante às variáveis expressas em termos de produção por hectare (área basal e volume total), observa-se que as mesmas passam de altamente significativas, nas idades mais jovens, para pouco ou não significativas nas idades de 5 a 6 anos. Este fato se deve ao efeito compensatório das árvores, que crescem individualmente mais, quando em menores densidades. Assim, a medida que o povoamento envelhece os tratamentos com menor densidade inicial vão alcançando, em termos de produção por área, os implantados com maior densidade, desaparecendo a diferença entre tratamentos (EVERT, 1971) e atingindo-se a produção máxima potencial de área basal e volume do sítio (ASSMANN 1970; SCHENEIDER, 1993).

Ainda pela Tabela 20, observa-se que o experimento apresenta, ao longo de todo o seu crescimento, e para as 5 variáveis em estudo, baixíssimos coeficientes de variação experimental para experimentação de campo. Estes valores confirmam a expectativa inicial de homogeneidade da área experimental, plana e uniforme (Figura 33), e são reflexos também da excelente sobrevivência (99%), condições climáticas favoráveis (Tabela 3) e controle de matocompetição (Figuras 33 e 34).

Esta uniformidade pode ainda ser constatada pela eficiência relativa (ER%) do delineamento em blocos casualizados, comparativamente ao inteiramente ao acaso, pois para as 5 variáveis em estudo, em todas as idades, a eficiência variou

de 82 a 104%, mostrando que o experimento dispensaria o controle local através dos blocos (COCHRAN & COX, 1978).

A uniformidade da área experimental, e os cuidados nos tratamentos culturais, certamente encontrados no experimento sistemático tipo "leque" contíguo, são fundamentais para a correta instalação e utilização deste delineamento, evitando a existência de gradiente de fertilidade viciando as estimativas dos efeitos dos tratamentos e o inflacionando do erro experimental (NELDER, 1962; HUXLEY, 1985).

4.1.1. Análise de Regressão Linear

A Tabela 21 fornece o teste F para o efeito linear do espaçamento e desvio da regressão, a estimativa dos parâmetros b_0 e b_1 , e seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade, para as 5 variáveis em estudo, aos 71 meses.

TABELA 21. Valores do teste F para regressão e desvio da regressão, estimativas dos parâmetros b_0 e b_1 da regressão linear e intervalos de confiança para 95% de probabilidade, das 5 variáveis em estudo, no delineamento em blocos casualizados, para *E. dunnii*, aos 71 meses.

Valor	(1)	DAP (cm)	ALTURA (m)	V.IND. (dm ³ /pl)	A.BASAL (m ² /ha)	V.TOTAL (m ³ /ha)
F	Regr.	234,64**	33,03**	121,92**	17,76**	3,85 ns
F	Desv.	1,20 ns	1,65 ns	1,21 ns	1,16 ns	0,98 ns
b_0	li	7,119	15,727	-19,236	26,624	205,298
	es	8,030	17,134	12,487	29,717	247,117
	ls	8,941	18,540	44,209	32,809	288,937
b_1	li	0,789	0,298	16,866	-1,128	-8,074
	es	0,912	0,488	21,147	-0,711	-2,429
	ls	1,035	0,678	25,429	-0,294	3,215

(1) li = limite inferior, es = valor estimado, ls = limite superior, $t_{(12, 0.975)} = 2.18$

Observa-se que, para todas as variáveis, não houve efeito significativo para o desvio da regressão, ratificando, portanto, a suficiência de se fazer a comparação entre os delineamentos através do efeito linear do espaçamento.

Com exceção do volume total, todas as demais variáveis tiveram efeito linear significativo do espaçamento, ou seja, os coeficientes angulares $\hat{b}_1$ diferiram de zero, havendo resposta destas variáveis ao espaçamento. No caso do DAP, altura e volume individual, este efeito é crescente ($\hat{b}_1 > 0$), e para a área basal, decrescente ($\hat{b}_1 < 0$). Nota-se ainda que os valores de F para a regressão referente ao DAP e volume individual, são elevados, comparativamente aos da altura e área basal.

Estes comportamentos estão coerentes com as observações de resposta de crescimento individual e conjunto de árvores em espaçamentos crescentes (ASSMANN 1970; EVERT 1971; SCHENEIDER 1993). A não significância de b_1 para volume total, mostra que aos 71 meses, e para espaçamentos entre 4,5 e 9,0 m²/ planta, o efeito compensatório de crescimento das árvores já possibilitou a equiparação das produções por área.

4.2. Delineamento Sistemático Tipo “Leque”

O delineamento sistemático tipo “leque” ocupou uma área de 5972 m², sendo 1103 m² (18%) ocupado pelas bordaduras (Figura 9). A sobrevivência, de 99%, foi excelente, ocorrendo apenas 5 falhas/mortes em todo o experimento

O bom crescimento do *E. dunnii*, ao longo das 5 avaliações e nos dez espaçamentos do delineamento sistemático tipo “leque”, pode ser constatado nas Tabelas 22, 23, 24, 25 e 26, onde são expostos os valores médios do DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, respectivamente. Este desenvolvimento expressa mais uma vez o excelente potencial da espécie para regiões edafoclimáticas semelhantes à área experimental (GOLFARI et alii, 1978; EMBRAPA, 1986).

Pela análise das Tabelas 22 a 26, observa-se um aumento dos valores médios do DAP, altura e volume sólido individual total nos espaçamentos mais largos, acompanhados de uma tendência de diminuição da área basal e volume total por hectare.

TABELA 22. DAP médio (cm), por tratamento e idade de avaliação, do *E.dunnii*, no delineamento sistemático tipo "leque".

Tratamento (m ² /planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 1,40	5,52	6,48	6,65	6,99	7,41
2- 2,05	6,68	8,02	8,49	8,87	9,29
3- 3,01	7,30	8,85	9,12	9,61	10,02
4- 4,41	8,98	11,37	11,70	12,47	12,92
5- 6,47	9,79	12,75	13,14	13,91	14,62
6- 9,50	10,98	14,86	15,43	16,44	17,39
7- 13,93	11,55	16,29	17,06	18,39	19,38
8- 20,43	12,92	18,72	19,61	21,43	22,74
9- 29,97	13,62	19,98	21,15	23,13	24,64
10- 43,95	13,49	20,38	21,68	23,99	25,66

TABELA 23. Altura média (m), por tratamento e idade de avaliação, do *E.dunnii*, no delineamento sistemático tipo "leque".

Tratamento (m ² /planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 1,40	9,38	11,38	12,16	13,37	13,63
2- 2,05	10,19	13,51	14,43	15,97	16,62
3- 3,01	10,62	13,67	14,82	16,32	17,04
4- 4,41	11,24	15,25	16,55	19,61	19,87
5- 6,47	11,10	15,22	16,94	19,71	20,46
6- 9,50	10,91	15,77	17,38	20,23	21,34
7- 13,93	10,47	15,69	17,44	20,93	21,82
8- 20,43	10,18	15,15	17,46	20,51	22,18
9- 29,97	9,99	15,28	17,33	21,04	22,42
10- 43,95	9,45	14,35	16,37	19,96	21,20

TABELA 24. Volume individual médio (dm³/árvore), por tratamento e idade de avaliação, do *E.dunnii*, no delineamento sistemático tipo "leque".

Tratamento (m ² /planta)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 1,40	13,56	24,95	28,50	33,44	39,21
2- 2,05	19,86	38,89	45,70	52,99	60,38
3- 3,01	23,34	45,35	52,02	62,24	70,53
4- 4,41	35,21	75,13	85,77	115,51	122,08
5- 6,47	41,25	93,78	109,65	147,74	161,03
6- 9,50	49,24	126,62	149,36	210,33	234,75
7- 13,93	51,80	148,65	179,25	269,13	293,82
8- 20,43	61,72	186,78	233,76	364,62	410,83
9- 29,97	66,79	209,02	262,19	426,57	472,03
10- 43,95	64,30	212,79	271,64	460,66	510,40

TABELA 25. Área basal média (m^2/ha), por tratamento e idade de avaliação do *E.dunnii*, no delineamento sistemático tipo "leque".

Tratamento ($m^2/planta$)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 1,40	18,90	27,46	29,26	32,99	37,51
2- 2,05	18,27	27,13	30,21	33,23	36,49
3- 3,01	14,60	21,91	23,32	26,15	28,69
4- 4,41	14,76	23,77	25,21	28,74	30,95
5- 6,47	12,01	20,49	21,78	24,53	27,08
6- 9,50	10,18	18,71	20,23	23,13	25,93
7- 13,93	7,66	15,26	16,77	19,54	21,80
8- 20,43	6,48	13,67	15,03	18,05	20,33
9- 29,97	4,91	10,55	11,83	14,18	16,10
10- 43,95	3,33	7,60	8,62	10,59	12,13

TABELA 26. Volume total médio (m^3/ha), por tratamento e idade de avaliação do *E.dunnii*, no delineamento sistemático tipo "leque".

Tratamento ($m^2/planta$)	IDADE (meses)				
	26	42	48	60	71
1- 1,40	96,89	178,21	203,56	238,89	280,09
2- 2,05	96,86	189,70	222,92	258,51	294,54
3- 3,01	77,54	150,68	172,81	206,78	234,32
4- 4,41	79,85	170,37	194,50	261,93	276,83
5- 6,47	63,76	144,95	169,47	228,35	248,89
6- 9,50	51,83	133,28	157,22	221,40	247,11
7- 13,93	37,19	106,72	128,68	193,20	210,93
8- 20,43	30,21	91,43	114,42	178,47	201,09
9- 29,97	22,29	69,74	87,48	142,33	157,50
10- 43,95	14,63	48,42	61,81	104,81	116,13

Evidencia-se, portanto, que o delineamento sistemático tipo "leque" criou gradientes de espaçamento capazes de influenciar as variáveis dendrométricas em estudo, confirmando as potencialidades de uso deste delineamento no estudos de espaçamentos florestais (NAMKOONG 1967; TENNENT 1975; WRIGHT 1976; LAND & NANCE 1987).

Face a esta constatação, vê-se a necessidade de confrontar estes resultados com os obtidos no delineamento em blocos casualizados, efetuado através das Figuras 11, 12, 13, 14 e 15.

FIGURA 11. DAP médio (cm) do *E.dunnii*, aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

FIGURA 12. Altura média (m) do *E.dunnii*, aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

FIGURA 13. Volume individual médio (dm³/planta) do *E. dunnii*, aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

FIGURA 14 Área basal média (m²/ha) do *E. dunnii*, aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

FIGURA 15. Volume total médio (m^3/ha) do *E. dunnii*, aos 71 meses, nos diferentes espaçamentos, para o delineamento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque".

Analisando-se os gráficos das Figuras 11 a 15, e observando a faixa de espaçamentos similares, entre 4 a 9,5 m^2/planta , verifica-se que há uma tendência de comportamento semelhante do *E. dunnii* frente ao espaçamento nos dois delineamentos, para todas as 5 variáveis em estudo. No entanto, apenas para a altura (Figura 12) as médias dos delineamentos se aproximam bastante, enquanto para o DAP, volume individual, área basal e volume total (Figuras 11, 13, 14 e 15, respectivamente), as médias do delineamento sistemático são sempre superiores às do delineamento em blocos casualizados.

MINAMI (1977), estudando a produção de beringelas em delineamentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque" também encontrou superioridade para o delineamento sistemático no tocante à produção por área, mas não creditou-a à diferença de arranjo das plantas nesses delineamentos.

No entanto, NELDER (1962), BLEASDALE (1966) e NAMKOONG (1967) já preconizavam valores de incremento de raio nos tratamentos sistemáticos tipo "leque" inferiores a 10% ($\alpha < 1,111$), evitando-se com isso criarem-se gradientes

muito acentuados de aumento de área, que interfeririam no efeito compensatório dos tratamentos anterior e posterior.

Assim, o valor de incremento de área utilizado no presente estudo ($\alpha = 1,21$), pode ser um dos fatores que está contribuindo para este aparente comportamento diferenciado do delineamento sistemático tipo "leque" e em blocos casualizados, para áreas individuais por planta similares (MEAD, 1988).

Pode-se inferir, para o presente delineamento sistemático tipo "leque", que o seu arranjo de plantio está propiciando maior disponibilidade dos fatores produtivos, como luz, água e nutrientes, às plantas, sob um determinado espaçamento, do que o delineamento em blocos casualizados. MONTEIRO & CORDEIRO (1983) também obtiveram maiores dimensões das árvores de *E. dunnii* quando plantadas em arboreto, comparativamente ao plantio em blocos casualizados, para um mesmo espaçamento.

Como o delineamento em blocos casualizados é tomado como padrão do comportamento da espécie em condições de maciço florestal, a existência de um desvio nas respostas das variáveis dendrométricas quando do uso do delineamento sistemático tipo "leque" impossibilitaria a utilização direta dos valores obtidos neste delineamento para tomadas de decisões relativas aos espaçamentos dos plantios comerciais (PEARCE, 1989; RAO et alii, 1990). Assim, fez-se necessário avaliar cuidadosamente o comportamento diferenciado das variáveis nos experimentos, para espaçamentos semelhantes.

Em virtude da impossibilidade de análise de variância do experimento sistemático tipo "leque" (SCOTT, 1962; MEAD, 1988; PEARCE 1989) optou-se pela visualização gráfica do comportamento das 5 variáveis em estudo, nas 5 repetições do experimento como sugerem CLEAVER et alii (1978) e BAUDER et alii (1978).

As Figura 16, 17, 18, 19 e 20 apresentam, respectivamente, os valores do DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, aos 71 meses, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".

FIGURA 16. DAP médio (cm), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".

FIGURA 17. Altura média (m), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".

FIGURA 18. Volume individual médio (dm³/planta), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".

FIGURA 19. Área basal (m²/ha), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".

FIGURA 20. Volume total (m^3/ha), dos tratamentos 1 a 10, para as 5 repetições do delineamento sistemático tipo "leque".

Constata-se que para as características individuais das plantas, como DAP, altura e volume individual (Figuras 16, 17 e 18, respectivamente), o comportamento frente ao espaçamento foi semelhante entre as repetições. No entanto, para a área basal (Figura 19) e volume total (Figura 20) observam-se divergências de comportamento, notadamente no tratamento 1, ora com altos valores, ora com baixos valores, comparativamente aos demais.

Com o objetivo de quantificar esta variação elaborou-se a Tabela 27 onde constam as variâncias, por tratamento, para as 5 variáveis em estudo, e a razão entre a maior e menor variância, com e sem a participação do tratamento 1, o qual possui as maiores variâncias para área basal e volume total.

Nota-se que a variância do tratamento 1, para as variáveis que expressam valores por hectare, destoa completamente das demais, creditando-se isso à pequena área da parcela, e consequentemente ao grande valor do fator de expansão por hectare ($k=1190$) (BAUDER et alii, 1975; LIN & MORSE 1975). Além disso, o fato de ser sempre o tratamento 1 o mais próximo à bordadura interna deve acarretar maiores interferências do centro do círculo (Figura 9), ao criar um microclima

diferenciado (PEARCE 1989), influenciando no comportamento das plantas (HUXLEY, 1985).

TABELA 27. Variância, por tratamento, para as 5 variáveis em estudo, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque", e razão entre a maior (Mx) e menor (Mi) variâncias, com e sem a participação do tratamento 1.

TRAT.	ESP(m ² /pl)	DAP	ALTURA	V.IND.	A.BASAL	V.TOTAL
1	1,40	4,52	7,29	731,44	433,25	37318,09
2	2,05	2,13	5,43	342,66	89,64	8153,67
3	3,01	1,93	2,47	402,87	46,78	4446,71
4	4,41	0,93	1,77	466,24	16,13	2397,36
5	6,47	4,47	2,78	3683,19	62,01	8798,68
6	9,50	1,13	1,84	1207,63	8,40	1338,10
7	13,93	2,35	0,86	4298,97	14,12	2215,45
8	20,43	3,67	2,91	6697,24	9,18	1604,56
9	29,97	2,03	1,20	4191,96	3,13	466,70
10	43,95	0,93	1,48	1356,62	0,45	70,23
Mx/Mi 1 a 10		4,86	8,47	19,54	962,78	531,37
Mx/Mi 2 a 10		-	-	-	199,20	116,09

Optou-se então pela eliminação do tratamento 1, quando do ajuste de equações de resposta ao espaçamento (item 4.3.2) no delineamento sistemático tipo "leque", para as variáveis área basal e volume total. A alternativa de utilização da regressão linear ponderada para estas 2 variáveis, face a heterocedasticidade, bem como a análise de resíduos, não foi implementada pelo fato do trabalho ser uma primeira abordagem no tocante à viabilidade de utilização do delineamento tipo "Leque",

4.2.1. Análise de Regressão Linear

Objetivando-se comparar os resultados de ambos delineamentos, numa faixa semelhante de espaçamento, efetuaram-se as análises de regressão linear para as 5 variáveis em estudo, conforme a Tabela 13, utilizando-se apenas dos valores obtidos nos tratamentos 4, 5 e 6 (4,41 a 9,50 m²/planta).

A Tabela 28 apresenta o quadrado médio do resíduo, o valor do teste F para a regressão, e as estimativas dos parâmetros b_0 e b_1 , e seus respectivos

intervalos de confiança para 95% de probabilidade, para as 5 variáveis em estudo, aos 71 meses.

TABELA 28. Quadrado médio do resíduo (QMR), teste F para regressão, estimativas dos parâmetros b_0 e b_1 da regressão linear, e seus intervalos de confiança para 95% de probabilidade, das 5 variáveis em estudo, no delineamento sistemático tipo "leque".

Valor	(1)	DAP	ALTURA	V.IND.	A.BASAL	V.TOTAL
		(cm)	(m)	(dm ³ /pl)	(m ² /ha)	(m ³ /ha)
QMR	(13 gl)	2,016	1,969	1659,530	27,499	3920,792
F		25,23**	2,81 ns	19,64**	2,10 ns	0,50 ns
b_0	li	6,300	15,920	-56,112	24,429	175,880
	es	8,992	18,581	21,133	34,372	294,613
	ls	11,685	21,242	98,379	44,316	413,346
b_1	li	0,502	-0,084	11,431	-2,339	-22,152
	es	0,881	0,290	22,299	-0,940	-5,447
	ls	1,260	0,665	33,167	0,459	11,258

(1) li = limite inferior, es = valor estimado, ls = limite superior, $t_{(13, 0.975)} = 2.16$.

Observa-se que apenas o DAP e volume individual apresentaram efeito linear significativo do espaçamento. Os valores de F para as variáveis altura e área basal, apesar de não significativos, são nitidamente superiores ao do volume total, evidenciando uma leve tendência de apresentar coeficiente angulares b_1 significativos, provavelmente não o sendo dado o pequeno número de tratamentos em teste e principalmente à variância residual elevada (Tabela 28), comparativamente à variância observada no delineamento em blocos casualizados (Tabela 20). Para DAP e volume individual os coeficientes b_1 apresentam valores positivos, assim como a altura. Por sua vez, a área basal e volume total possuem estimativas negativas de b_1 embora estas sejam não significativas.

Novamente, os comportamentos das variáveis em estudo são concordantes com os resultados experimentais de respostas individuais e conjunta das árvores ao espaçamento (ASSMANN, 1970; EVERT, 1971; LAND & NANCE, 1987).

4.3. Análise Comparativa dos Delineamentos

4.3.1. Regressão Linear para Faixa Similar de Espaçamentos

Ao comparem-se as análises de regressão linear efetuadas para os experimentos em blocos casualizados (Tabela 21) e sistemático tipo "leque" (Tabela 28), numa faixa similar de espaçamentos, constata-se semelhanças marcantes entre as mesmas.

As Figuras 21, 22, 23, 24 e 25 ilustram os valores médios das variáveis DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, respectivamente, e suas regressões lineares, para o experimento em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento (4,4 a 9,5 m²/planta).

FIGURA 21. DAP médio (cm) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.

FIGURA 22. Altura média (m) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.

FIGURA 23. Volume individual médio (dm³/planta) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.

FIGURA 24. Área basal média (m^2/ha) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.

FIGURA 25. Volume total médio (m^3/ha) e regressão linear para os experimentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", na faixa similar de espaçamento.

Assim, para os dois delineamentos houve efeito linear significativo do espaçamento em relação ao DAP e ao volume individual, e não houve em relação ao volume total.

Por outro lado, o efeito linear foi significativo no tocante à altura e área basal no delineamento em blocos casualizados não o sendo para o delineamento sistemático tipo "leque". Este fato, no entanto, provavelmente se justifica pelo pequeno número de tratamentos (3) no delineamento sistemático, comparativamente ao delineamento em blocos casualizados (4), para a faixa comum de análise, e suas maiores variâncias residuais devido ao seu menor número de plantas por parcela, 6, em relação ao delineamento em blocos casualizados, com 25 (BAUDER et alii 1975). Assim consultando as Tabelas 20 e 28 notamos que as variâncias residuais do delineamento sistemático tipo "leque" são 9, 5, 7, 13 e 10 vezes maiores que aquelas obtidas no delineamento em blocos casualizados, respectivamente para as variáveis DAP, altura, volume individual, área basal e volume total.

Como a área experimental é homogênea, como visto no item 4.1., recai então sobre o material genético a maior contribuição sobre a variância residual, confirmando as afirmações de Chacko (1966), citado por EVERT (1971), e MEAD (1988). Como as plantas utilizadas no ensaio são originadas de sementes colhidas em populações sem nenhum nível de melhoramento (item 3.1.2), percebe-se claramente sua influência sobre o comportamento das parcelas. Assim, a utilização de mudas de espécies com maior nível de melhoramento genético ou a utilização de plantas de um mesmo clone, produzidas assexuadamente, contribuiriam sobremaneira para a redução da variância residual e aumentando, conseqüentemente, a sensibilidade do teste F e a redução dos intervalos de confiança das estimativas dos parâmetros b_0 e b_1 .

Face ao exposto, nota-se, por exemplo, uma estratificação nos valores do teste F da regressão no delineamento em blocos casualizados que é idêntico à estratificação observada no sistemático tipo "leque", ou seja, $F_{\text{efeito linear (DAP, volume individual)}} > F_{\text{efeito linear (altura, área basal)}} > F_{\text{efeito linear (volume total)}}$.

As Figuras 26 e 27 também auxiliam na comparação do comportamento das 5 variáveis em estudo, nos dois delineamentos, ao apresentarem os intervalos de confiança para os parâmetros b_0 e b_1 das regressões lineares comparativamente aos parâmetros b_0 e b_1 estimados no delineamento em blocos casualizados. Para facilitar esta comparação padronizaram-se os limites inferiores dos parâmetros no delineamento em blocos casualizados como sendo zero e o limites superiores como sendo 100, para as 5 variáveis em estudo.

FIGURA 26. Intervalos de confiança dos parâmetros b_0 , no delineamento sistemático tipo "leque", para as 5 regressões lineares das variáveis em estudos, relativamente aos intervalos de confiança do delineamento em blocos casualizados padronizados de 0 (limite inferior) a 100 (limite superior).

FIGURA 27. Intervalos de confiança dos parâmetros b_1 , no delineamento sistemático tipo "leque", para as 5 regressões lineares das variáveis em estudos, relativamente aos intervalos de confiança do delineamento em blocos casualizados padronizados de 0 (limite inferior) a 100 (limite superior)

Pelas Figuras 26 e 27 percebe-se que os intervalos de confiança de b_0 e b_1 , para as 5 variáveis em estudo, em ambos os delineamentos se sobrepõem, expressando que o *E.dunnii* responde de forma semelhante ao espaçamento em ambos os experimentos, na faixa similar considerada. Nota-se claramente os maiores intervalos de confiança dos coeficientes b_0 e b_1 no delineamento sistemático tipo "leque", devido à sua maior variância residual, já comentada. Para a cultura do milho, BAUDER et alii (1975) também obtiveram regressões para delineamento sistemático e em blocos casualizados semelhantes para todos os coeficientes, mostrando que provavelmente, para as culturas agrícolas o comportamento diferenciado das variáveis de produção frente ao espaçamento, entre os delineamentos, seja pequeno ou nulo, em função do curto ciclo das culturas (3 a 4 meses).

No entanto, para o caso florestal, uma análise mais cuidadosa da Figura 26 evidencia que o delineamento sistemático tipo "leque" possui todas as estimativas de b_0 superiores às respectivas estimativas no delineamento em blocos

casualizados, e na sua maioria acima do seu limite superior do intervalo de confiança. O mesmo já não ocorre para as estimativas de b_1 no delineamento sistemático tipo "leque" (Figura 27), pois as mesmas oscilam acima e abaixo da média das respectivas estimativas do delineamento em blocos casualizados.

Percebe-se, portanto, que, encoberta pela excessiva variância residual do delineamento sistemático tipo "leque", existe uma diferenciação no comportamento do *E. dunnii* nos dois delineamentos, para espaçamentos semelhantes.

Para espécies florestais, o longo período de crescimento e o grande alcance das raízes e copas (NAMKOONG, 1966) deve levar a essa tendência maior de diferenciação do padrão de resposta das variáveis de produção, individuais ou conjuntas, nos dois delineamentos.

No presente caso, nota-se, que para o DAP, volume individual, área basal e volume total, os dois experimentos, na faixa comum de espaçamento analisada, possuem tendências semelhantes de resposta ao espaçamento (coeficientes angulares b_1 similares), porém, defasados (coeficientes b_0 maiores para o delineamento sistemático). No caso da altura, por ser uma variável menos influenciável pelo espaçamento, a não ser para espaçamentos bem adensados (BALLONI & SIMÕES, 1980), e mais dependente da qualidade do sítio (SCHENEIDER, 1993), os valores observados em ambos experimentos, na faixa comum de espaçamento, são muito semelhantes e as retas da regressão linear se cruzam (Figura 22).

Assim, constatado que o delineamento sistemático tipo "leque" pode superestimar as estimativas das variáveis em estudo, e sabendo que esta observação só foi possível pela existência de um delineamento em blocos casualizados contíguo ao mesmo, optou-se por prosseguir na análise experimental e se fazer uma proposta de utilização dos delineamentos sistemático tipo "leque" de forma mais segura e eficiente.

Esta proposta inicia-se pela recomendação básica de se implantar, concomitantemente e em área contígua ao delineamento sistemático tipo "leque", parcelas, nos plantios comerciais, com alguns espaçamentos coincidentes, com aqueles em teste no delineamento sistemático. Esta premissa básica objetiva que as

parcelas comerciais sejam a ligação entre o delineamento sistemático tipo "leque" e as condições reais de maciço florestal.

A segunda fase da proposta pressupõe o ajuste de curvas de resposta ao espaçamento para a condição de maciço florestal, numa faixa tão grande quanto aquela testada no delineamento sistemático. Esta fase só será necessária se for detectada a diferença de comportamento entre as variáveis em estudo nas parcelas experimentais e no delineamento sistemático.

Como no presente caso encontramos fortes indícios dessa defasagem de resposta, passaremos no item 4.3.2 a esta segunda fase.

4.3.2. Equações de Resposta ao Espaçamento no Delineamento Sistemático Tipo "Leque"

Na Tabela 29 encontram-se os valores do teste F para regressão, coeficiente de determinação e soma de quadrados dos erros das variáveis originais, das equações ajustadas tendo como variável dependente as 5 variáveis em estudo, e como variável independente o espaçamento (Tabela 14). Para as variáveis DAP, altura e volume individual houve 50 observações, enquanto para a área basal e volume total, dada a eliminação das observações do tratamento 1, existiram 45 observações.

Pela Tabela 29 observa-se que foi possível o ajuste de boas equações de regressão, para todas as 5 variáveis em estudo, em função do espaçamento, mas que os modelos diferiram entre as variáveis.

Para a escolha da melhor equação considerou-se, principalmente, os menores valores da SQ, assim como os maiores valores de F e R^2 , lembrando-se que os valores de R^2 não são diretamente comparáveis nos modelos lineares e logarítmicos. Também, sem perder de vista o interesse por equações mais simples, selecionou-se, para cada variável, aquelas constantes na Tabela 30.

Dentre todas as variáveis, apenas a altura foi expressa em função da equação inversa proposta por NELDER (1962), ficando as demais bem ajustadas por modelos polinomiais, dispensando a utilização de equações não lineares para as curvas de resposta, como a de RICHARDS (1959).

TABELA 29. Valores de F para regressão, coeficiente de determinação (R^2) e soma de quadrados dos erros das variáveis originais (SQ) para as equações de resposta ao espaçamento, para as 5 variáveis em estudo, no delineamento sistemático tipo "leque", para *E. dunnii* aos 71 meses.

Modelo	Valores	DAP cm	ALTURA m	V.IND. dm ³ /pl	A.BASAL m ² /ha	V.TOTAL m ³ /ha
Linear	F	180,54**	20,89**	253,80**	67,38**	39,20**
	R ²	0,790	0,303	0,841	0,610	0,477
	SQ	430,89	346,59	237885,55	1284,89	128904,54
Quadrático	F	334,01**	35,32**	336,86**	38,85**	19,33**
	R ²	0,934	0,600	0,935	0,649	0,479
	SQ	134,86	198,73	97538,68	1157,18	128299,48
Cúbico	F	275,96**	33,56**	221,93**	26,44**	12,58**
	R ²	0,947	0,686	0,935	0,659	0,479
	SQ	107,99	156,0	96659,74	1123,86	128294,54
Inverso	F	227,87**	113,39**	65,55**	-	-
	R ²	0,826	0,702	0,577	-	-
	SQ	204,09	134,59	37840665,1	-	-
Logarítmico	F	-	-	-	141,68**	69,22**
	R ²	-	-	-	0,767	0,617
	SQ	-	-	-	3125,34	279526,94

TABELA 30. Equações de resposta ao espaçamento E, em m²/planta, seleccionadas, para as 5 variáveis em estudo, no delineamento sistemático tipo "leque" (s), para o *E. dunnii*, aos 71 meses.

VARIÁVEL	EQUAÇÃO
DAP (cm)	$DAP_s = 6,047918 + 1,550715.E - 0,044836.E^2 + 0,000449.E^3$
ALTURA (m)	$ALT_s = (0,043206 + 0,042707.E^{-1})^{-1}$
V.INDIV. (dm ³ /pl)	$VIN_s = 6,837521 + 25,90874.E - 0,33096.E^2$
A.BASAL (m ² /ha)	$ABA_s = 31,798023 - 0,498670.E$
V.TOTAL (m ³ /ha)	$VOL_s = 277,417077 - 3,809628.E$

Nas Figuras 28, 29, 30, 31 e 32 estão traçadas as equações determinadas para DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, respectivamente. Nota-se, portanto, que a utilização de regressão na interpretação do delineamento sistemático tipo "leque" é, sem dúvida alguma, a forma mais acertada para sua análise (NELDER,1962; NAMKOONG,1967; EVERT,1971; WRIGHT,1976; HUXLEY & MAINGU,1978; HUXLEY,1985; MEAD,1988 e PEARCE,1989)

4.3.3. Equações de Resposta ao Espaçamento Ajustadas para o Delineamento em Blocos Casualizados

Com base nas equações constantes na Tabela 30, na convergência de resposta das variáveis admitida para o espaçamento de 43,95 m²/planta, e no valor médio do delineamento em blocos casualizados (Figura 10), obtiveram-se as equações de resposta ao espaçamento ajustadas para o delineamento em blocos casualizados, discriminadas na Tabela 31.

TABELA 31. Equações de resposta ao espaçamento E, em m²/planta, para o DAP, altura, volume individual, área basal e volume total, ajustadas para o delineamento em blocos casualizados (b), para *E. dunnii*, aos 71 meses.

VARIÁVEL	EQUAÇÃO
DAP (cm)	$DAP_b = 5,494978 + 1,563296.E - 0,044836.E^2 + 0,000449.E^3$
ALTURA (m)	$ALT_b = 0,352796 - 0,008027.E + (0,043206 + 0,042707.E^{-1})^{-1}$
V. INDIV. (dm ³ /pl)	$VIN_b = -6,883828 + 26,220944.E - 0,33096.E^2$
A. BASAL (m ² /ha)	$ABA_b = 27,483629 - 0,400504.E$
V. TOTAL (m ³ /ha)	$VOL_b = 253,066080 - 3,255567.E$

As equações de resposta do DAP, altura, volume individual, área basal e volume total ao espaçamento, ajustadas para blocos casualizados, são apresentadas nas Figuras 28, 29, 30, 31 e 32, respectivamente.

Observa-se portanto, que a existência do delineamento em blocos casualizados, em área contígua e com alguns tratamentos comuns ao delineamento sistemático tipo "leque", possibilitou a detecção do padrão diferenciado de comportamento das variáveis em estudo, entre os dois experimentos. Além disso, possibilitou o ajuste das estimativas dessas variáveis, obtidas numa ampla faixa de espaçamentos do delineamento sistemático, para a situação de blocos casualizados, a qual representa o comportamento do *E. dunnii* em condições de plantio homogêneo e equiâneo para fins comerciais.

FIGURA 28. Equações de resposta do DAP em função do espaçamento para o *E. dunnii*, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.

FIGURA 29. Equações de resposta da altura em função do espaçamento para o *E. dunnii*, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.

FIGURA 30. Equações de resposta do volume individual em função do espaçamento para o *E. dunnii*, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.

FIGURA 31. Equações de resposta da área basal em função do espaçamento para o *E. dunnii*, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados.

FIGURA 32. Equações de resposta do volume total em função do espaçamento para o *E. dunnii*, aos 71 meses, no delineamento sistemático tipo "leque" e a respectiva equação ajustada para blocos casualizados

Assim, propõe-se que o uso dos delineamentos sistemáticos tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais deva estar sempre associado a parcelas de "referências", no plantio comercial, plantadas simultaneamente e em área contígua ao delineamento sistemático tipo "leque" e contendo espaçamentos comuns em relação a este. Recomenda-se que estas parcelas sirvam para aferir os resultados obtidos no delineamento sistemático, bem como para corrigir os possíveis padrões de respostas das variáveis em estudo em função do espaçamento. Evitar-se-á, assim, a extrapolação indevida dos resultados do experimento sistemático tipo "leque" para as condições de maciço florestal.

Além deste aspecto, as parcelas "referências" possibilitarão a eliminação da fase de comprovação dos resultados do delineamentos sistemáticos, apregoados por HUXLEY (1985), PEARCE (1989) e RAO et alii (1990). Esta fase se refere à utilização de poucos tratamentos em experimentos robustos com aleatorização, para a faixa de espaçamento que mostrou potencial de utilização num delineamento sistemático "exploratório". Evidentemente, para a área agrícola, onde as culturas possuem ciclos curtos de 3 a 4 meses, esta fase de comprovação é factível

dentro de um mesmo ano agrícola. Entretanto, esta prática, se adotada na área florestal manejada com *Eucalyptus*, onde os ciclos mínimos são de 6 a 11 anos, acarretaria uma demora significativa para aplicação dos resultados (12 a 22 anos). A utilização das parcelas de "referência" reduz pela metade este prazo, ou seja, os dados seriam utilizados para direcionar os plantios comerciais concomitantemente a avaliação do delineamento sistemático tipo "leque", nas diferentes idades de manejo consideradas.

Desta forma, são extremamente procedentes as ponderações efetuadas por MEAD (1988) e RAO et alii (1990) de que o uso dos delineamentos sistemáticos de fator quantitativo contínuo deve ser visto não sobre a ótica estrita da estatística, mas sim através de um consenso entre sua aplicabilidade agronômica, suas limitações estatísticas e sua segurança de extrapolação de resultados.

Para exemplificar esta proposta de utilização dos delineamentos sistemáticos tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais, são apresentados, no item 4.3.5, dois exemplos ilustrativos de sua aplicabilidade nas situações práticas do dia-a-dia florestal.

4.3.4. Exemplos Ilustrativos do Uso das Equações Ajustadas

4.3.4.1. Exemplo 1

Este primeiro exemplo tabula os valores das equações de resposta das variáveis DAP, volume individual e volume total, do delineamento sistemático tipo leque (y_s) e ajustado para blocos casualizados (y_b), numa faixa de 10,0 a 20,0 m²/planta, para que se constate a magnitude dos desvios entre os valores do delineamento sistemático tipo "leque" e aquele esperado para condições de maciço, para o *E. dunnii*, aos 71 meses (Tabela 32).

TABELA 32. Valores estimados para o DAP, volume individual e volume total, no delineamento sistemático tipo “leque” (SL), e respectivos valores ajustados para condição de blocos casualizados (BC), e relação percentual entre ambos, numa faixa de 9,5 a 15,0 m²/planta, para *E.dunnii*, aos 71 meses.

Espaç (m ² /pl)	DAP (cm)			Vol. Individual (dm ³ /planta)			Volume Total (m ³ /ha)		
	SL	BC	%	SL	BC	%	SL	BC	%
10,0	17,52	17,09	2,5	232,83	222,23	4,8	239,32	220,51	8,5
11,0	18,28	17,86	2,3	251,79	241,50	4,3	235,51	217,25	8,4
12,0	18,98	18,57	2,2	270,08	260,11	3,8	231,70	214,00	8,3
13,0	19,62	19,23	2,0	287,72	278,06	3,5	227,89	210,74	8,1
14,0	20,20	19,83	1,9	304,69	295,34	3,2	224,08	207,49	8,0
15,0	20,74	20,37	1,8	321,00	311,96	2,9	220,27	204,23	7,9
16,0	21,22	20,87	1,7	336,65	327,93	2,7	216,46	200,98	7,7
17,0	21,66	21,32	1,6	351,64	343,22	2,5	212,65	197,72	7,6
18,0	22,05	21,73	1,5	365,96	357,86	2,3	208,84	194,47	7,4
19,0	22,41	22,09	1,4	379,63	371,84	2,1	205,03	191,21	7,2
20,0	22,72	22,42	1,3	392,63	385,15	1,9	201,22	187,95	7,1

4.3.4.2. Exemplo 2

Qual deveria ser o espaçamento de plantio do *E.dunnii*, para fins de produção de celulose, para se obter aos 71 meses, na idade de corte, o maior diâmetro médio do povoamento e produção mínima de 200 m³/ha, necessárias, supostamente, para viabilizar economicamente a exploração com “harvester” ?

Como o diâmetro é crescente com o aumento do espaçamento e o volume total decrescente, podemos resolver diretamente a equação (Tabela 31):

$$VOL_b = 253,066080 - 3,255567.E$$

que para $VOL_b = 200,0$ m³/ha fornece $E = 16,30$ m²/planta, espaçamento que aplicado na equação do DAP_b (Tabela 31):

$$DAP_b = 5,494978 + 1,563296.E - 0,044836.E^2 + 0,000449.E^3$$

estima o DAP_b em 21,01 cm, na idade de corte.

Assim, poder-se-ia, comercialmente, adotar-se um plantio de 4,04 m x 4,04 m para obterem-se os valores desejados, aos 71 meses para o *E.dunnii*, em região edafoclimática semelhante.

A consulta à Tabela 32 levaria também a obtenção de resultado aproximado, destacado em negrito na mesma.

4.3.5. Aspectos Operacionais da Condução dos Experimentos

Conduzidos em áreas contíguas, e tendo os mesmos tratos culturais, evidenciou-se a maior facilidade de instalação e avaliação do delineamento sistemático tipo "leque", como já observado por NELDER (1962), FREEMAN (1966), MINAMI (1977), NAMKOONG (1967), CLEAVER et alii (1970) e WRIGHT (1976).

No entanto, o arranjo em "leque" impossibilita o uso de máquinas nos tratos culturais como o controle de ervas daninhas, fertilização etc, operações essas que necessitam ser realizadas manualmente.

A ocorrência de 5 falhas, embora pequeno, e contornável no presente estudo através do rearranjo das parcelas experimentais, alerta sobre a extremo zelo que necessitam os experimentos implantados com este delineamento, para não dificultar sua análise (DRAPPER & GUTTMAN, 1980; WILKINSON et alii 1983; BESAG & KEMPTON, 1986; LAND & NANCE ,1987), ou mesmo inutilizá-lo (NELDER, 1962; WRIGHT, 1976; PEARCE, 1989).

5.CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos experimentos de espaçamento para *E.dunnii*, com delineamentos em blocos casualizados e sistemático tipo "leque", pode-se concluir que:

- O delineamento sistemático tipo "leque" reproduziu, numa pequena área, o comportamento, individual (DAP, altura e volume individual) e conjunto (área basal e volume total), das plantas frente ao espaçamento, de forma semelhante àquele observado no delineamento em blocos casualizados;

O delineamento sistemático tipo "leque" possibilitou conhecer os padrões de resposta do *E.dunnii* ao espaçamento, tanto em termos de crescimento individual como conjunto, numa amplitude que dificilmente seria avaliada via delineamentos aleatórios tradicionais;

A análise de regressão mostrou ser ferramenta estatística adequada no estudo de espaçamentos florestais quando se utiliza o delineamento sistemático tipo "leque";

- O delineamento sistemático tipo "leque" necessita, para sua correta análise e interpretação, de parcelas "refêrencias" contíguas, plantadas em condições de maciço florestal;

- Com base nessas parcelas "referências" pode-se estabelecer equações de respostas, das variáveis dendrométricas ao espaçamento, ajustadas para a condição de maciço florestal, na ampla faixa de espaçamentos ensaiada no delineamento sistemático tipo "leque";
- A escolha de área uniforme, o plantio de material genético melhorado e a execução de tratos culturais criteriosos, são premissas fundamentais para a utilização bem sucedida dos delineamento sistemático tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN,E. **The principles of forest yield study**. Oxford, Pergamon Press, 1970. 506p.
- BALLONI,E.A. & SIMÕES,J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, 1(3):1-16, 1980.
- BAUDER,J.W.; HANKS,R.J.; JAMES,D.W. Crop production function determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 39:1187-92, 1975.
- BERRY,G. A mathematical model relating plant yield with arrangement for regularly spaced crops. **Biometrics**, Washington, 505-15, 1967
- BESAG,J. & KEMPTON,R. Statistical analysis of field experiments using neighbouring plots. **Biometrics**, Washington, 42: 231-51, June 1986.
- BLEASDALE,J.K.A. Systematic designs for spacing experiments. **Experimental Agriculture**, London, 3: 73-85, 1966.
- CANNON,P. Espaciamento en plantaciones de *Eucalyptus*: una revision e interpretacion de la literatura especialmente para Colombia. **Informe de Investigación**, Cali, 73: 1-7, 1981.

- CHALITA, M.A.C. Delineamentos sistemáticos. Piracicaba, 1991. 72p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- CLEAVER, T.J.; GREENWOOD, D.J.; WOOD, J.T. Systematically arranged fertilizer experiments. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, **45**: 457-69, 1970.
- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. **Diseños experimentales**. México, Editorial Trillas, 1978. 661p.
- COUTO, H.T.Z.do & BASTOS, N.L.M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, (37): 33-44, 1987.
- COX, D.R. Some systematic experimental designs. **Biometrika**, London, **38**: 312-23, 1951.
- COX, D.R. **Planning of experiments**. New York, John Wiley, 1958. 308p.
- DAWKINS, H.C. The pudden clinal plot: thinning experiments without surrounds **Empire Forestry Review**, Oxford, **39**: 168-71, 1960.
- DRAPPER, N.R. & GUTTMAN, I. Incorporating overlap effects from neighbouring units into response surface models. **Applied Statistical**, London, **29**(2): 128-34, 1980.
- DRAPPER, N.R. & SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York, John Wiley, 1981. 709p.
- EMBRAPA **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Curitiba, MA/EMBRAPA/CNPF/PNPF, 1986. 89p.

EVERT,F. **Spacing studies** - a review. Ottawa, Canadian Forestry Service, 1971. 95p. (INFORMATION REPORT, FMR-X-37).

FAO **Eucalyptus for planting**. Roma, FAO, 1981. 677p.

FINGER,C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, UFSM/ CEPEF/ FATEC, 1992. 269p.

FINCH,S.; SKINNER,G.; FREEMAN,G.H. The effect of plant density on populations of the cabbage root fly on four cruciferous crops. **Annals of Applied Biology**; London, **83**:191-7, 1976.

FISHER,R. **The design of experiments**. Edinburg, Oliver and Boyd, 1935. 252p.

FOX,R.L. Agronomic investigations using continuous function experimental designs - nitrogen fertilization of sweet corn. **Agronomy Journal**, Madison, **65**: 454-6, May/June 1973.

FREEMAN,G.H. The use of a systematic design for a spacing trial with a tropical tree crop. **Biometrics**, Washington, **20**: 200-3, Mar. 1964.

FREEMAN,G.H. Systematic design. In: KOTS,S.; JOHNSON,N.L.; READ,C.B. ed. **Encyclopedia of Statistical Sciences**. New York, John Wiley, 1988. v.9, p.143-7.

FREYMAN,S. & DOLMAN,D. A simple systematic design for planting density experiments with set row widths. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, **51**:340-2, 1971.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. Zoneamento esquemático para reflorestamento no Brasil. **Série Técnica Prodepef**, Brasília, **11**: 1-66, 1978.

GOMES, F.P. & COUTO, H.T.Z. O tamanho ótimo de parcela experimental para ensaios com eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, **31**: 75-8, 1985.

GOMEZ, K.A. & DEDATTA, S.K. Missing hills in rice experimentation plots. **Agronomy Journal**, Madison, **64**: 163-4, 1972.

HILLIS, W.E. & BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne, CSIRO, 1978. 433p.

HOLLIDAY, R. Plant population and crop yield. **Nature**, Washington, **186**: 22-4, 1960.

HUXLEY, P.A. Systematic designs for field experimentation with multipurpose trees. **Agroforestry Systems**, The Hague, **3**: 197-207, 1985.

HUXLEY, P.A. & MAINGU, Z. Use of a systematic spacing design as an aid to the study of inter-cropping: some general considerations. **Experimental Agriculture**, London, **14**: 49-56, 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL **Estatística de reflorestamento**. Brasília, IBDF, 1988. 25p.

KRONKA, F.J.N.; MATSUKUMA, C.K.; NALON, M.A.; CALI, I.H.; ROSSI, M.; MATTOS, I.F.A.; PONTINHAS, A.A.S.; IKE, M.S.S. Inventário florestal do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba, 1993, Anais. SBS/SBEF, 1993, v3, p.520-1.

- LAND, S.B. Jr & NANCE, W.L. Apa: a useful tool for analyses of progeny tests. In: SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 19., College Station, 1987. Proceedings, New Orleans, SFES, 1987. p.300-11.
- LIN, C.S. & MORSE, P.M. A compact design for spacing experiments. **Biometrics**, Washington, **31**: 661-71, Sept. 1975.
- LUTWICK, L.E.; KOZUB, G.C.; SMITH, A.D. A two-factor systematic design for fertilizer studies. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, **60**: 657-63, 1980.
- MEAD, R. **The design of experiments**: statistical principles for practical application. Cambridge, University Press, 1988. 620p.
- MINAMI, K. Análise de crescimento e densidade de população de *Solanum melonngera* L. - Berinjela, cultivada em delineamento sistemático e convencional. Piracicaba, 1977. 81p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- MONTEIRO, R.F.R. & CORDEIRO, J.A. Observações sobre o comportamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Notas Klabin Paraná, Telêmaco Borda, 11p. 1983.
- MURTRIE, R. Mc & WOLF, L. A model of competition between trees and grass for radiation, water and nutrients. **Annals of Botany**, London, **52**: 449-58, 1983.
- MYERS, C.C.; BRAGA, G.R.; BURNETT, F.B. Delineamento sistemático para avaliar o efeito de espaçamento no desenvolvimento de *Eucalyptus alba* Reinw. em Minas Gerais **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, **7**: 35-8, 1970.
- NAMKOONG, G. Application of Nelder's designs in tree improvment research. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., Savannah, 1965. Proceedings. Macon, SCFTI, 1966. p.24-37.

- NELDER, J.A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, Washington, **18**: 283-307, 1962.
- PEARCE, S.C. **The agriculture field experiment**: a statistical examination of theory and practices. Chichester, John Wiley, 1989. 335p.
- PEREIRA, J.C.D.; HIGA, A.R.; SHIMIZU, J.Y.; HIGA, R.C.V. Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, **13**: 9-16, 1986.
- RAO, M.R.; SHARMA, M.M.; ONG, C.K. A study of the potencial of hedgerow intercropping in semi-arid India using a two-way systematic design. **Agroforestry Systems**, The Hauge, **11**: 243-58, 1990.
- RICHARDS, J. A flexible growth functions for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, **10**: 290-300, 1959.
- RIZZO, L.T.B. **Levantamento semi-detalhado dos solos da fazenda Ibiti**. Americana, Ripasa S/A Celulose e Papel, 1984. 111p.
- ROGERS, I.S. Practical considerations in the use of systematic spacing designs. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, **12**: 306-9, 1972.
- SALMINEN, H. & VARMOLA, M. Influence of initial spacing and planting design on the development of young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. **Silva Fennica**, Helsinki, **27** (1): 21-8, 1993.
- SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria, UFSM, 1993. 348p.

- SCOTT, J.F. Statistical objections to clinal plots. **Empire Forestry Review**, Oxford, **41**: 17-8, 1962.
- SMITH, J.H.G. Better yields through wider spacing. **Journal of Forestry**, Washington, **56**(7): 492-7, 1958.
- TENNENT, J.H.G. Competition quotient in young *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, **5** (2):230-4. 1975.
- WAHUA, T.A.T & MILLER, D.A. Relative yield totals and yield components of intercropped sorghum and soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, **70**: 287-91, 1978.
- WALTERS, G.A. ***Saligna eucalyptus* growth in a 15-year-old spacing study in Hawaii**. Berkeley, USDA/PSFRES, 1980. 6p.
- WILKINSON, G.N.; ECKERT, S.R.; HANCOCK, T.W.; MAYO, O. Nearest neighbour (NN) analysis of field experiments. **Journal of Royal Statistical Society B**, London, **45**(2): 151-211, 1983.
- WILLEY, R.W. & RAO, M.R. A systematic design to examine effects of plant population and spacial arrangement in intercropping, illustrated by an experiment on chickpea/safflower. **Experimental Agriculture**, London, **17**: 68-73, 1981.
- WRIGHT, H.L. Experiments as a source of data for growth models. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 16., Oslo, 1976. Proceedings. Oslo, IUFRO, 1976, v.1 p.60-73.
- YATES, F. The comparative advantages of systematic and randomized arrangements in the design of agricultural and biological experiments. **Biometrika**, London, **30**:440-66, 1938.

7.APÊNDICE

FIGURA 33. Vista aérea dos experimentos de espaçamento para *E.dunnii* com delineamentos em blocos casualizados (à esquerda) e sistemático tipo "leque" (à direita), aos 3 meses de idade (escala aproximada 1:5000).

FIGURA 34. Vista, do centro para a periferia, do experimento em delineamento sistemático tipo "leque" aos 48 meses de idade, tendo ao fundo as parcelas do delineamento em blocos casualizados.