

TRABALHO DE PESQUISA / RESEARCH PAPER

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS NO ESTUDO DAS
RELAÇÕES ENTRE A TRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A
PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO NO RIO GRANDE DO SUL**

Vander de Freitas Meio¹
Cosme Damião Cruz²
Nairam Félix de Barros³
Roberto Ferreira de Novais³
Liovando Marciano da Costa³

ABSTRACT - Soil samples collected at different depths in eight soil profiles, during June and July 1992, under *Eucalyptus saligna* stands, were subjected to chemical analyses to determine the contents of N, P, K, Ca, Mg and S. Plots were established, near each profile, to evaluate the biomass production of leaves, branch, bark, wood and litter. The data were subjected to regression analysis and path and grouping analyses. Variation in wood production among sites was related to variations in the nutrient contents of the soil. The relative P content (P content extracted by Mehlich -1 x clay content/10), at the depth from 0 to 20 cm, S content from 40 to 70 cm and relative P from 100 to 130 cm, were the characteristics showing greatest influence on wood production. N was the nutrient which had the most marked effect upon the production of shoot components (leaf + branch + bark). The sites were allocated into five heterogeneous groups, on the basis of similarity of soil fertility, and the sites RA and BN showed the highest and lowest yielding potential for the next cycle, respectively.

RESUMO - Amostras de oito perfis de solo sob plantio de *Eucalyptus saligna* no Rio Grande do Sul, foram coletadas durante os meses de junho e julho de 1992 e submetidas a análises químicas para determinar os teores de N, P, K, Ca, Mg e S. Em áreas inventariadas em torno de cada perfil, determinou-se a produção de biomassa de folha, galho, casca, madeira e manta orgânica. Os dados foram submetidos à análise de regressão e análises de trilha e de agrupamento. As variações entre a produtividade de madeira dos sítios foram explicadas por variações nos teores dos nutrientes no solo. Dentre as variáveis estudadas, o P relativo (teor de P extraído com Mehlich-1 x teor de argila/10) na profundidade de 0 a 20 cm, o teor de S de 40 a 70 cm e o P relativo de 100 a 130 cm, foram os que tiveram maior influência sobre a produção de madeira. O N foi o nutriente que mais teve efeito sobre a produção dos componentes da parte aérea (folha + galho + casca). Os sítios foram distribuídos em cinco grupos heterogêneos, com base na similaridade dos atributos

¹ Aluno de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa;

² Professor Titular do Departamento de Biologia geral da Universidade Federal de Viçosa – 36571-000 - Viçosa, MG;

³ Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – 36571-000 - Viçosa, MG.

químicos do solo, onde os sítios RA e BN apresentaram o maior e o menor potencial produtivo para o próximo ciclo, respectivamente.

INTRODUÇÃO

A maioria dos estudos de relação solo-sítio evidencia mais o relacionamento da produtividade com atributos físicos do solo, principalmente, a capacidade de retenção e armazenamento de água, comparativamente, aos químicos (BOWERSOX & WARD, 1972; SANTANA, 1986; CORREIA, 1993). Contudo, vários autores encontraram valores altos de coeficientes de determinação, utilizando regressões múltiplas, entre atributos químicos do solo e as variações ocorridas entre a produção de diferentes sítios florestais (VOIGT et al., 1957; MADER & OWEN, 1961; THONSON & McCOMB, 1962; BARROS, 1974; GONÇALVES, 1990).

A tentativa de correlacionar os teores disponíveis, ou trocáveis, dos nutrientes no solo com a produtividade somente no momento do corte não reflete as variações ocorridas ao longo de todo o ciclo, principalmente, na fase inicial de crescimento, na qual a absorção dos nutrientes do solo é intensa. Esta condição é diferente da verificada no final do ciclo, em que os nutrientes absorvidos pela planta são também advindos da reciclagem de nutrientes (REIS & BARROS, 1990). Toma-se, assim, difícil separar se os teores encontrados em determinada camada do solo estão determinando a produtividade, ou, se na verdade, são decorrência das diferenças entre as produções dos sítios ou de variações locais.

Apesar da grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres complexos, os coeficientes de correlação não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores (CRUZ & REGAZZI, 1994). Estudos sobre o desdobramento do coeficiente de correlação são feitos pela análise de trilha, desenvolvida por Wright (1923), citado por LI (1975). A análise de trilha consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica, em que as estimativas dos efeitos são obtidos, por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas.

Outro estudo de importância na área florestal é a análise de agrupamento, que tem por finalidade estratificar, por algum critério de classificação, os sítios em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre eles (Sneath & Sokal, 1973 e Mardia et al., 1979, citados por CRUZ, 1990).

Este estudo teve como objetivo estabelecer relações entre os nutrientes do solo e a produtividade de **Eucalyptus saligna** e separar os diferentes sítios em grupos semelhantes com base em atributos químicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas em oito sítios florestais no Estado do Rio Grande do Sul, em áreas sob **Eucalyptus saligna**, com sete anos de idade. Os sítios Pinheiros (P), Feijó (F) e Rodeio Alto (RA) encontram-se na região do embasamento cristalino, composto por granitos. O sítio Barba Negra (BN) encontra-se associado a sedimentos inconsolidados. Os solos dos demais sítios pertencem à formação Rio Bonito, constituída, predominantemente, por arenitos e siltitos (Boa Vista - BV, Colorado - C, São Francisco - SF), e argilito (Mangueira de Pedra II - MPII).

De acordo com o levantamento de solos da região (BRASIL, 1979) e descrição dos perfis e dados analíticos (MELO, 1994), os solos foram classificados como: aluvial (sítio BN), podzólico vermelho-escuro (sítios BV, C, SF e P), cambissolo (sítios FeRA) e podzólico vermelho-amarelo (sítio MPII).

Dentro de cada sítio, selecionou-se um talhão, com área superior a sete hectares (as áreas dos talhões escolhidos variaram de 7 a 17,3 ha) e densidade de plantio de 1.850 árvores/ha. Abriu-se uma trincheira até 170cm de profundidade, retirando-se amostras de solo de 0 a 20, de 20 a 40, de 40 a 70, de 70 a 100, de 100 a 130 e de 130 a 170 cm, para determinações químicas. O N mineral. ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) foi extraído com KCl 1N e determinado, segundo metodologia descrita por Bremner & Keeney (1966), citados por TEDESCO et al. (1985). Após extração com Mehlich-1, o K foi determinado por fotometria de chama, e o P, colorimetricamente, pelo método da vitamina C, modificado por BRAGA & DEFELIPO (1974). Utilizou-se o P relativo ($\text{Pr} = \text{teor de P extraído com Mehlich-1} \times \text{teor de argila da amostra}/10$) nos estudos de regressão entre os atributos químicos do solo e produtividade dos sítios. Os teores de Ca e de Mg, após extração com KCl 1 N, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o S, pelo método turbidimétrico, após extração com fosfato monocálcico (DEFELIPO & RIBEIRO, 1981).

Em parcelas de 486 m² (18 x 27 m), em torno de cada perfil de solo, determinou-se a biomassa de manta orgânica e abateram-se duas árvores de dimensões médias em relação às árvores da parcela (diâmetro à altura do peito e altura total, os quais tiveram os valores médios variando de 14,5 a 16 cm e 20 a 23,8 m, respectivamente), determinando-se a biomassa de folha, galho, casca e madeira. A estimativa da biomassa de casca e de madeira foi feita com base no volume e na densidade desses constituintes, e a de folha e galhos com base no peso fresco determinado no campo, descontando-se a umidade de suas amostras (secagem em estufa a 75°C até peso constante). Maiores informações sobre os métodos de determinação de biomassa e amostragem e processos analíticos utilizadas no presente trabalho podem ser obtidas em MELO (1994).

Calculou-se a produção de matéria seca de madeira, matéria seca dos componentes da parte aérea, exceto madeira (folha + galho + casca) e matéria seca total da parte aérea (folha + galho + casca + madeira + manta orgânica).

Os dados foram submetidos à análise de regressão, e às análises de trilha e de agrupamento, utilizando-se o Programa GENES I, desenvolvido pelo setor de Genética da Universidade Federal de Viçosa. Por meio da análise de regressão linear selecionaram-se as variáveis independentes. A exclusão seqüencial das variáveis, com menor contribuição para a soma de quadrado da regressão, permitiu chegar à equação com menor número de variáveis explicativas (independentes), sem que o coeficiente de determinação fosse acentuadamente reduzido.

Com as variáveis selecionadas para cada modelo (análise de regressão), efetuou-se a análise de trilha, que possibilitou avaliar os efeitos diretos das variáveis independentes (explicativas) sobre uma variável dependente (básica). Esta análise permitiu, ainda, verificar os efeitos indiretos entre as variáveis explicativas sobre a variável básica.

O Processo de Agrupamento envolveu, basicamente, duas etapas: inicialmente, foi caracterizada a similaridade, ou dissimilaridade, entre os sítios, por meio da distância Euclidiana média padronizada, e, depois, adotaram-se técnicas de agrupamento para a formação dos grupos (Método de Tocher e Dispersão Gráfica pelos Componentes Principais), segundo metodologia descrita por CRUZ & REGAZZI (1994). O conjunto de características, usadas para esta separação, foi o conteúdo dos macronutrientes e o fósforo

relativo, até a profundidade de 70cm. Desta maneira, procurou-se reunir os sítios florestais, representados pelos talhões selecionados, com base na similaridade dos atributos químicos do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de determinação aumentaram na medida em que se utilizaram os teores dos nutrientes nas maiores profundidades, atingindo valor igual a 0,99 na profundidade de 40 a 70cm, para a produção de madeira (TABELA 1), e igual a 1,00 para a produção dos componentes da parte aérea (TABELA 2). Desta forma, as variações entre a produtividade dos sítios estudados estão sendo explicadas pelos teores dos nutrientes do solo.

TABELA 1. Coeficiente de regressão parcial e de determinação (R^2) da regressão entre cada uma das variáveis químicas do Solo, amostrado em diferentes profundidades, e a produção de matéria seca de madeira, em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Profundidade cm	Variáveis Independentes (Nutrientes no Solo)						Modelo Completo R^2	Reduzido	
	N	Pr ⁽¹⁾	K	Ca	Mg	S		R^2	R^2_{aj}
Coeficiente de Regressão Parcial									
0-20	0,11ns	0,95ns	-	0,05ns	-0,14ns	1,41ns	0,43ns	0,43ns	-0,98
20-40	0,35ns	1,90ns	-	-24,22ns	12,79ns	-	0,53ns	0,52ns	-0,12
40-70	-	-486**	-	-	26,42**	328**	1,00°	0,99**	0,98
70-100	-1,06ns	-	0,63ns	-154,65ns	118,45ns	1,04ns	0,61ns	0,61ns	-0,35
100-130	-	11,45**	-	-40,52*	-	1,47*	0,98ns	0,95**	0,92
130-170	-	4,52°	-	-111,50°	13,25ns	-	0,68ns	0,66ns	0,40

ns, o, * e ** = Não-significativo e significativos nos níveis de 0,10, 0,05 e 0,01 de probabilidade respectivamente, pelo teste t (coeficiente de regressão parcial) e teste F (R^2).

(1) Pr = Fósforo relativo (P disponível (Mehlich -1) x % argila/10).

TABELA 2. Coeficiente de regressão parcial e de determinação (R^2) da regressão entre cada uma das variáveis químicas do solo, amostrado em diferentes produtividades, e a produção de matéria seca dos componentes da parte aérea (Folha + Galho + Casca), em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Profundidade cm	Variáveis Independentes (Nutrientes no Solo)						Modelo Completo R^2	Reduzido	
	N	Pr ⁽¹⁾	K	Ca	Mg	S		R^2	R^2_{aj}
Coeficiente de Regressão Parcial									
0-20	0,08°	0,05ns	-	0,01ns	-	-0,22ns	0,79ns	0,77ns	0,46
20-40	0,16*	0,44ns	-0,03ns	-	-	-	0,83ns	0,82°	0,68
40-70	0,18**	-0,66*	-	6,22*	-	0,54**	0,99ns	0,98**	0,96
70-100	-	-	0,08ns	-22,74°	16,13°	0,12ns	0,86ns	0,84ns	0,62
100-130	0,12ns	0,86ns	-	-11,67ns	6,92ns	0,47ns	0,92ns	0,92ns	0,71
130-170	-	2,50ns	-1,08ns	-57,43ns	-2,43ns	-1,46ns	0,84ns	0,82ns	0,39

ns, o, * e ** = Não-significativo e significativos nos níveis de 0, 10, 0,05 e 0,01 de probabilidade respectivamente, pelo teste t (coeficiente de regressão parcial) e teste F (R^2).
1/ Pr = Fósforo relativo (P disponível (Mehlich -1) x % argila /10).

Com os modelos reduzidos (TABELAS 1 e 2), desdobrou-se, por meio da análise de trilha, a correlação de cada variável independente (nutriente do solo) com a produtividade, em seus efeitos diretos e indiretos para uma melhor compreensão da influência dos nutrientes no solo sobre a produção de madeira e de componentes da parte aérea (TABELAS 3,4,5 e 6).

TABELA 3. Desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos*, entre produção de matéria seca de madeira e teores de nutrientes no solo, nas profundidades de 0 a 20cm, de 20 a 40cm e de 40 a 70cm, em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Variáveis	Pr ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	S ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾	Total ^(**)
Pr ⁽¹⁾	0,83	-0,61	0,16	0,02	0,00	0,41
Ca ⁽¹⁾	-0,49	1,03	-0,06	-0,42	-0,05	0,02
S ⁽¹⁾	0,37	-0,17	0,35	-0,13	-0,01	0,42
Mg ⁽¹⁾	-0,03	0,78	0,08	-0,56	-0,07	0,21
N ⁽¹⁾	0,02	-0,22	-0,01	0,20	0,21	0,19

Coeficiente de Determinação = 0,432

Efeito da Variável Residual = 0, 753

Variáveis	Pr ⁽²⁾	N ⁽²⁾	Mg ⁽²⁾	Ca ⁽²⁾	Total ^(**)
Pr ⁽²⁾	0,51	0,06	0,08	0,03	0,67
N ⁽²⁾	0,10	0,31	0,01	-0,15	0,27
Mg ⁽²⁾	0,18	0,01	0,22	-0,06	0,35
Ca ⁽²⁾	-0,05	0,19	0,05	-0,26	-0,07

Coeficiente de Determinação = 0,520

Efeito da Variável Residual = 0,690

Variáveis	S ⁽³⁾	Mg ⁽³⁾	Pr ⁽³⁾	Total ^(**)
S ⁽³⁾	1,13	-0,11	-0,28	0,74
Mg ⁽³⁾	-0,21	0,59	-0,01	0,37
Pr ⁽³⁾	0,63	0,01	-0,51	0,13

Coeficiente de Determinação = 0,990

Efeito da Variável Residual = 1,007

* leitura dos efeitos diretos na diagonal (números em negrito) e dos efeitos indiretos na horizontal;

** coeficiente de correlação (r);

(1) profundidade de 0 a 20 cm, (2) de 20 a 40 cm e (3) de 40 a 70 cm.

TABELA 4. Desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos*, entre produção de matéria seca de madeira e teores de nutrientes no solo, nas profundidades de 70 a 100 cm, de 100 a 130 cm e de 130 a 170 cm, em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Variáveis	K ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁴⁾	N ⁽⁴⁾	S ⁽⁴⁾	Total ^(**)
K ⁽⁴⁾	-0,53	-0,32	0,12	0,05	0,18	0,55
Mg ⁽⁴⁾	-0,05	3,12	-2,73	-0,01	-0,04	0,28
Ca ⁽⁴⁾	-0,02	2,91	-2,92	0,30	-0,07	0,19
N ⁽⁴⁾	-0,03	0,04	0,96	-0,91	0,10	0,16
S ⁽⁴⁾	0,32	-0,48	0,75	-0,33	0,29	0,55

Coefficiente de Determinação = 0,432

Efeito da Variável Residual = 0,753

Variáveis	Pr ⁽⁵⁾	Ca ⁽⁵⁾	S ⁽⁵⁾	Total ^(**)
Pr ⁽⁵⁾	1,35	-0,56	-0,16	0,63
Ca ⁽⁵⁾	1,04	-0,72	-,024	0,08
S ⁽⁵⁾	-0,49	0,39	0,44	0,35

Coefficiente de Determinação = 0,954

Efeito da Variável Residual = 0,213

Variáveis	Ca ⁽⁶⁾	Pr ⁽⁶⁾	Mg ⁽⁶⁾	Total ^(**)
Ca ⁽⁶⁾	-1,52	0,65	0,52	-0,35
Pr ⁽⁶⁾	-1,08	0,92	0,39	0,23
Mg ⁽⁶⁾	-1,33	0,60	0,59	-0,14

Coefficiente de Determinação = 0,656

Efeito da Variável Residual = 0,586

* leitura dos efeitos diretos na diagonal (números em negrito) e dos efeitos indiretos na horizontal;

** coeficiente de correlação (r);

(4) profundidade de 70 a 100 cm, (5) de 100 a 130 cm e (6) de 130 a 170 cm.

TABELA 5. Desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos., entre produção de matéria seca dos componentes da parte aérea (folha + galho + casca) e teores de nutrientes no solo nas profundidades de 0 a 20cm, de 20 a 40cm e de 40 a 70cm, em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Variáveis	N ⁽¹⁾	S ⁽¹⁾	Pr ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Total ^(**)
N ⁽¹⁾	0,83	-0,01	0,00	-0,03	0,79
S ⁽¹⁾	-0,03	0,28	0,09	-0,03	0,32
Pr ⁽¹⁾	0,02	0,12	0,21	-0,09	0,26
Ca ⁽¹⁾	-0,18	-0,04	-0,12	0,16	-0,19

Coefficiente de Determinação = 0,767

Efeito da Variável Residual = 0,482

Variáveis	N ⁽²⁾	Pr ⁽²⁾	K ⁽²⁾	Total ^(**)
N ⁽²⁾	0,76	0,11	-0,05	0,83
Pr ⁽²⁾	0,15	0,60	-0,24	0,50
K ⁽²⁾	0,15	0,57	-0,26	0,47

Coefficiente de Determinação = 0,816

Efeito da Variável Residual = 0,429

Variáveis	N ⁽³⁾	S ⁽³⁾	Ca ⁽³⁾	Pr ⁽³⁾	Total ^(**)
N ⁽³⁾	0,75	-0,13	-0,09	0,10	0,63
S ⁽³⁾	-0,10	0,95	-0,05	-0,20	0,60
Ca ⁽³⁾	-0,20	-0,14	0,34	-0,10	-0,10
Pr ⁽³⁾	-0,21	0,53	0,09	-0,36	0,05

* leitura dos efeitos diretos na diagonal (números em negrito) e dos efeitos indiretos na horizontal;

** coeficiente de correlação (r);

(1) profundidade de 0 a 20 cm, (2) de 20 a 40 cm e (3) de 40 a 70 cm.

TABELA 6. Desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos*, entre produção de matéria seca dos componentes da parte aérea (folha + galho + casca) e teores de nutrientes no solo, nas profundidades de 70 a 100cm, de 100 a 130cm e de 130 a 170cm, em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Variáveis	Ca ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁴⁾	K ⁽⁴⁾	S ⁽⁴⁾	Total ^(**)
Ca ⁽⁴⁾	-2,21	2,03	-0,01	-0,04	-0,23
Mg ⁽⁴⁾	-2,06	2,18	-0,04	-0,03	0,06
K ⁽⁴⁾	0,09	-0,22	0,34	0,10	0,30
S ⁽⁴⁾	0,56	-0,33	0,21	0,17	0,60

Coefficiente de Determinação = 0,835
Efeito da Variável Residual = 0,406

Variáveis	N ⁽⁵⁾	S ⁽⁵⁾	Pr ⁽⁵⁾	Ca ⁽⁵⁾	Mg ⁽⁵⁾	Total ^(**)
N ⁽⁵⁾	0,62	-0,08	0,04	0,29	-0,10	0,77
S ⁽⁵⁾	-0,07	0,72	-0,19	0,58	-0,71	0,33
Pr ⁽⁵⁾	0,05	-0,26	0,53	-0,82	0,66	0,16
Ca ⁽⁵⁾	-0,17	-0,39	0,41	-1,06	0,89	-0,32
Mg ⁽⁵⁾	-0,06	-0,52	0,36	-0,98	0,97	-0,23

Coefficiente de Determinação = 0,918
Efeito da Variável Residual = 0,286

Variáveis	Ca ⁽⁶⁾	Pr ⁽⁶⁾	K ⁽⁶⁾	S ⁽⁶⁾	Mg ⁽⁶⁾	Total ^(**)
Ca ⁽⁶⁾	-3,39	1,85	0,54	1,51	-0,49	-0,59
Pr ⁽⁶⁾	-2,84	2,60	-0,12	0,50	-0,36	-0,21
K ⁽⁶⁾	0,98	0,14	-2,20	0,83	0,18	-0,07
S ⁽⁶⁾	2,49	-0,54	0,75	-2,42	0,29	0,57
Mg ⁽⁶⁾	-3,50	1,70	0,71	1,25	0,56	-0,40

Coefficiente de Determinação = 0,827
Efeito da Variável Residual = 0,416

* leitura dos efeitos diretos na diagonal (números em negrito) e dos efeitos indiretos na horizontal;

** coeficiente de correlação (r);

(4) profundidade de 70 a 100cm, (5) de 100 a 130cm e (6) de 130 a 170 cm.

Para que uma variável independente seja considerada importante sobre a variável dependente (produtividade), é necessário que o valor numérico do seu efeito direto seja maior que o efeito da variável residual. É importante também que os coeficientes de correlação sejam, em valor absoluto, altos. Neste sentido, com relação à produção de madeira (TABELAS 3 e 4), as variáveis Pr (1) - fósforo relativo na produtividade de 0 a 20 cm, S (3) - teor de enxofre de 40 a 70 cm e Pr (5) - fósforo relativo de 100 a 130 cm, apresentaram efeitos diretos sobre a produção de madeira, superiores ao efeito residual, com valores de coeficientes de correlação de 0,41, 0,74 e 0,63, respectivamente. Outras variáveis tiveram efeito direto expressivo sobre a produção de madeira, como Ca(1), Mg(4), Ca(4), N(4), Ca(5), S(5), Ca(6), Pr(6) e Mg(6), contudo, elas não se correlacionam bem com a variável básica.

Por outro lado, as variáveis Pr(2), K(4) e S(4) apresentaram correlação mais alta com a produção de madeira, mas seus efeitos diretos foram menores do que a variável residual, demonstrando, assim, que sua importância pode ser considerada apenas em conjunto com outras variáveis, por não influenciar diretamente a produção (TABELAS 3 e 4).

As variáveis podem estar afetando, indiretamente, a produção de madeira, reduzindo, ou aumentando, a disponibilidade de outros nutrientes no solo (coeficientes de trilha positivo ou negativo, respectivamente). Para que exista efeito indireto, também é necessário que o valor absoluto do coeficiente de trilha seja superior ao efeito da variável residual.

O fósforo relativo (Pr) correlacionou-se significativamente, com a produção de madeira na profundidade de 40 a 70cm (TABELA 1). Com a utilização desta medida relativa de fósforo (Pr), as correlações obtidas foram melhores, por considerar o teor de argila de cada camada, refletindo não apenas o teor do elemento, mas também a capacidade do solo em repor o nutriente para sua solução. NOVAIS (1977) trabalhando com cinco Ultissols norte americanos encontrou estreita correlação entre capacidade tampão de fosfato do solo e teor de argila ($r= 0,913^*$). O efeito direto negativo sobre a produção de madeira (TABELA 3), nesta profundidade, indica que ocorreu maior extração do nutriente nos sítios mais produtivos. O fósforo absorvido em profundidade, foi posteriormente acumulado em camadas mais superficiais do solo pela decomposição de resíduos orgânicos, onde o fósforo relativo teve um efeito direto positivo sobre a produção nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm (TABELA 3). Verificou-se uma redução nos teores de P no solo extraído com Mehlich -1 da ordem de 35; 64; 35; 59; 70; 69; 84 e 74% para os sítios BN, BV, C, SF, P, F, RA, e MPII, respectivamente, na camada de 40 a 70 cm em relação à camada sobrejacente (0 a 40 cm) (dados apresentados por MELO, 1994), evidenciando a maior absorção de P em profundidade, principalmente, nos sítios mais produtivos (RA e MPII) (TABELA 8). Comportamento semelhante foi obtido por CORREIA (1993), em estudo realizado em Itapetininga (SP). Na profundidade de 0 a 20cm, esse autor encontrou efeito direto positivo do fósforo sobre a produtividade do eucalipto, e de 90 a 110 cm, o efeito foi altamente expressivo, contudo negativo. Sob condições de déficit hídrico, a absorção de fósforo em profundidades torna-se ainda mais importante, pelo maior teor de água no solo, favorecendo o transporte do nutriente até as raízes da planta.

O nitrogênio foi o nutriente que mais teve efeito sobre a produtividade dos componentes da parte aérea (TABELAS 5 e 6), apresentando as melhores correlações nas profundidades de 0 a 20, de 20 a 40, de 40 a 70 e de 100 a 130cm, com coeficientes de

correlação de 0,79, 0,83, 0,63 e 0,77, respectivamente. Nestas situações, o seu efeito direto sobre a produção dos componentes da parte aérea foi superior ao efeito da variável residual.

Os sítios foram distribuídos em cinco grupos heterogêneos entre si, em que a maior concentração foi verificada no grupo 2, reunindo os sítios P, F e MPII (TABELA 7).

O Método de Tocher apenas reuniu em grupos os sítios semelhantes, mas não foi possível mostrar quais os sítios que foram mais similares entre si, dentro de cada grupo. As informações ao nível de indivíduo, ao se fazer o agrupamento, são perdidas, restando apenas aquelas sobre a média dos grupos. Assim, para visualizar a distribuição das observações dentro de cada grupo, mostrando a dissimilaridade entre sítios, recorreu-se ao agrupamento com base nas dispersões em relação aos eixos cartesianos.

Desta forma, os grupos, formados pelo Método de Tocher, são apresentados num gráfico de duas dimensões, em que cada área delimitada reúne os sítios semelhantes. Quanto mais próximos os sítios dentro de um círculo, mais similares eles são (FIGURA 1).

TABELA 7. Agrupamento de oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul, pelo método de Tocher, com base no conteúdo de N, Pr⁽¹⁾, K, Ca, Mg e S, na profundidade de 0 a 70 cm.

Grupo	Sítio⁽²⁾
<1>	BV e C
<2>	P, F e MPII
<3>	RA
<4>	BN
<5>	SF

(1) Pr = fósforo relativo (P disponível (Mehlich-1) x % de argila /10);

(2) BN = Barba Negra, BV = Boa Vista, C = Colorado, SF = São Francisco, P = Pinheiros, F = Feijó, RA = Rodeio Alto e MPII = Mangueira de Pedra II.

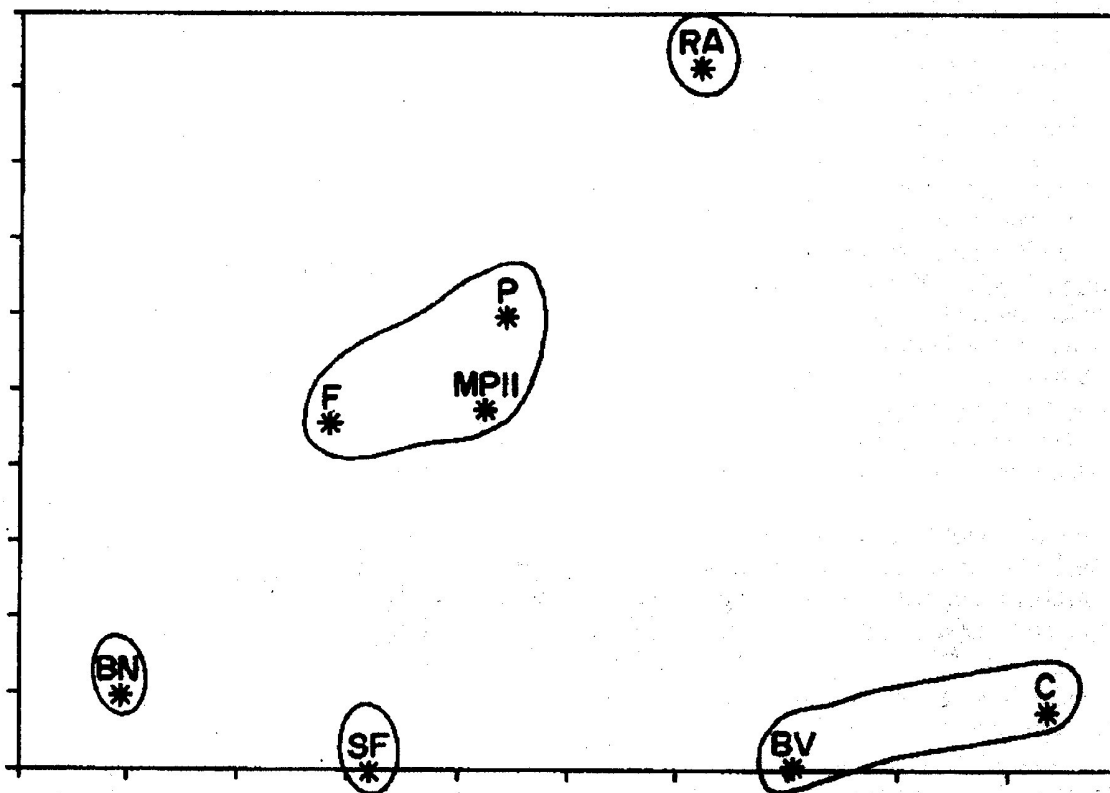


FIGURA 1. Dispersão de escores de oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul (BN, BV, C, SF, P, F, RA e MPII), obtidos em função do conteúdo de N, Pr (Fósforo Relativo), K, Ca, Mg e S até a profundidade de 70 cm, em relação aos eixos representados pelos componentes principais e agrupamento pelo método de Tocher, com base na distância Euclidiana média padronizada.

Ao passar do espaço n-dimensional ($n = 6$, neste estudo), representado pelos nutrientes no solo, para o espaço bi-dimensional, representado pelos componentes principais, o grau de distorção dos pontos no gráfico foi de 21,6%.

Na TABELA 8, são apresentados os valores de conteúdo de cada nutriente até a profundidade de 70 cm. Como se pode observar, no conjunto das variáveis, o sítio RA apresenta os maiores valores de fósforo relativo, potássio e enxofre, e com valores relativamente altos dos demais nutrientes. Desta forma, o sítio RA apresenta uma maior potencial produtivo no próximo ciclo, quando se consideram apenas os atributos químicos do solo.

TABELA 8. Conteúdo de macronutrientes no Solo até a profundidade de 70 cm e produção de matéria seca de madeira (MSM), em oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Sítio ⁽¹⁾	Pr ⁽²⁾	N	K	Ca	Mg	S	MSM t/ha
				kg/ha			
BN	19,8	40,6	35,6	108,0	82,5	9,9	74
BV	25,6	77,0	62,4	1226,0	804,0	34,7	117
C	44,8	37,8	119,4	1588,0	996,7	46,6	100
SF	14,8	332,9	37,8	920,0	361,1	18,6	96
P	81,8	105,0	349,3	352,0	328,2	64,6	88
F	49,9	70,0	108,7	132,0	197,6	76,0	115
RA	104,9	112,7	725,3	346,0	446,5	90,7	135
MPII	59,2	324,8	232,0	318,0	513,6	73,3	118
X	137,6	50,1	208,8	623,9	466,3	51,8	106

(1) BN = Barba Negra, BV = Boa Vista, C = Colorado, SF = São Francisco, P = Pinheiros, F = Feijó, RA = Rodeio Alto e MPII = Mangueira de Pedra II;

(2) Pr = fósforo relativo (P disponível (Mehlich -1) x % argila/10).

No outro extremo, têm-se os sítios BN e SF, mostrando as menores quantidades de fósforo relativo, potássio e enxofre. De maneira análoga, o sítio BN apresenta o menor potencial produtivo, concordando com a produção de madeira, obtida no ciclo anterior (TABELA 8). As diferenças entre alguns nutrientes não permitiram que os sítios BN e SF fossem reunidos num mesmo grupo. Contudo, eles formaram grupos mais próximos entre si, evidenciando uma certa concordância, apesar de serem grupos heterogêneos com base nas Distâncias Euclidianas médias.

A inclusão de mais um sítio num mesmo grupo refletiu, não apenas, a homogeneidade com relação aos atributos químicos do solo, mas, coincidentemente, esses sítios foram bastante similares, com relação a outras características, tais como: material de origem, grau de desenvolvimento do solo, textura, composição mineralógica e reserva mineral do solo, conforme observado por MELO (1994). Os sítios RA, P, F e MPII possuem solos mais jovens, com presença de minerais primários e com melhor reserva mineral em nutrientes (MELO, 1994).

O solo do sítio P, apesar de se encontrar entre os mais ricos em nutrientes, apresentou baixa produção de madeira. A declividade acentuada do talhão (TABELA 9) concorre para reduzir a infiltração e o acúmulo de água no solo, além de acentuar a perda de nutrientes por erosão, o que limitou sua produtividade.

Com relação aos atributos químicos do solo o sítio BN tem característica peculiar. Apesar de seus baixos conteúdos de nutrientes no solo até a profundidade de 70cm, ele apresenta uma reserva mineral expressiva na camada entre 115 e 170 cm (MELO, 1994), que pode ser importante para produções futuras.

TABELA 9. Características espaciais de oito sítios com *Eucalyptus saligna*, no Rio Grande do Sul.

Sítio ⁽¹⁾	Relevo ⁽²⁾	Afloramento	Declividade	Orientação
BN	P	-	0°	240°SW
BV	PI/CC	-	6°	0°N
C	CC/CV	-	4°	40°NE
SF	PI	-	3°	150°SE
P	CC	+	17°	290°NW
F	PI/CC	+	7°	250°SW
RA	CC	+	9°	95°SE
MPII	PI/CC	+	6°	12°NE

(1) BN = Barba Negra, BV = Boa Vista, C = Colorado, SF = São Francisco, P = Pinheiros, F = Feijó, RA = Rodeio Alto e MPII = Mangueira de Pedra II;

(2) P = plano, PI = plano inclinado, CC = côncavo e C V = convexa;

(3) - e + = ausência e presença de afloramento de rocha, respectivamente.

CONCLUSÕES

As variações na produtividade do eucalipto foram explicadas por variações nos atributos químicos do solo.

As camadas inferiores do solo foram importantes no suprimento de P para o eucalipto.

O N foi o nutriente que melhor se correlacionou com a produção de folha, galho e casca, apresentando efeito direto e positivo, altamente expressivo sobre a produção desses componentes.

A separação dos sítios em grupos refletiu a heterogeneidade do solo com relação aos atributos químicos, evidenciando suas diferenças quanto ao potencial produtivo para os próximos ciclos de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, N.F. **Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com altura de *Eucalyptus alba*, na Região de Santa Bárbara, MG.** Viçosa, 1974.89 p. (Tese-Mestrado -UFV).

BOWERSOX, T.W.; WARD, W.W. Prediction of oak site index in the ridge and valley region of Pennsylvania. **Forest science**, Madison, 18: 192-5, 1972.

BRAGA, J.M .; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, 21: 73-85, 1974.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife, 1979. 431 p. (Boletim técnico, 30)

- CORREIA, J.R. **Uso de técnicas multivariadas no estudo das inter-relações de características do solo e a produtividade de eucalipto.** Viçosa, 1993. 106p. (Tese - Mestrado -UFV).
- CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas.** Piracicaba, 1990. 188p. (Tese -Doutorado -ESALQ).
- CRUZ, C.D.; REGAZZI , A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 390p.
- DEFELIPO, B.F.; RIBEIRO,A.C. **Análise química do solo.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim técnico, 29).
- GONÇALVES, J.L.M. **Interação genótipo-ambiente e relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1990. 135p. (Tese-Doutorado -ESALQ)
- LI, C.C. **Path analysis: a primer.** Pacific Grone, Boxwood, 1975. 346p.
- MADER, D.L.; OWEN, D.F. Relationships between soil properties and pine growth in Massachusetts. **Soil science society of American proceedings**, Madison, 25: 62-5, 1961.
- MELO, V.F. **Relação entre a reserva mineral de solos e a produção e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith, no Rio Grande do Sul.** Viçosa, 1994. 145 p. (Tese-Mestrado-UFV).
- NOVAIS, R.F. **Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils.** Raleigh, 1977. 153p. (Tese -Doutorado -NCSU).
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantas de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (eds). **Relação solo-eucalipto.** Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.265-302.
- SANTANA, J.A.S. **Efeito de propriedades de solo na produtividade de duas espécies de eucalipto na região do médio Rio Doce-MG.** Viçosa, 1986. 117p. (Tese-Mestrado-UFV).
- TEDESCO, M.J.; VOLWEISS, S.J.; BOHRNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. (Boletim técnico, 5).
- THONSON, G.W.; McCOMB, A.L. Growth of plantation black walnut in relation to pH and certain chemical factors of the soil. **Forest science**, Madison, 8: 322-33, 1962.

VOIGT, G.K.; HEILSELMAN, N.L.; ZASADA, Z.A. The effect of soil characteristics on the growth of quaking aspen in Northern Minnesota. **Soil science society of American proceedings**, Madison, 21: 649-52, 1957.

Trabalho recebido = 02/05/1994

Trabalho aceito = 16/03/1995