

CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE MULTIVARIADA NA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS EM POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., BASEADA NOS FATORES FÍSICOS E MORFOLÓGICOS DO SOLO E NO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DA SERAPILHEIRA

CONTRIBUTION OF THE MULTIVARIATE ANALYSIS ON THE SITE CLASSIFICATION IN PLANTED FORESTS OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., BASED ON PHYSICAL AND MORPHOLOGICAL SOIL FACTORS AND ON THE LITTER NUTRIENT CONTENT

Eloidir José Gerhardt¹ César Augusto Guimarães Finger² Solon Jonas Longhi³
Mauro Valdir Schumacher²

RESUMO

Neste trabalho foi estudado, por meio da técnica estatística multivariada, a influência dos fatores físicos e morfológicos do solo e da quantidade de nutrientes da serapilheira, na classificação de sítios em um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., com 47 anos de idade, localizado na Floresta Nacional de Canela, Rio Grande do Sul, Brasil. Foram instaladas 12 Amostras por Contagem Angular (ACA), conforme a metodologia de BITTERLICH (1984), distribuídas proporcionalmente em três sítios naturais previamente classificados. Dentro da ACA foi abatida, para fins de análise de tronco e determinação do crescimento em altura, a árvore de altura média dominante, conforme definido por Pollanchütz, bem como coletadas amostras de solo com um tubo coletor, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Tais amostras foram distribuídas de forma equidistante sob a projeção da copa da árvore dominante média. Posteriormente, cada amostra de solo foi dividida em dois horizontes geométricos, A1 e A2, com base nos quais foram determinadas as características físicas e morfológicas do solo. Também, foi amostrada a serapilheira e analisado seu conteúdo químico. A análise de agrupamento (Cluster) classificou o conjunto de observações em três grupos distintos, em razão de suas localizações nos diferentes sítios naturais. O primeiro grupo corresponde ao sítio com maiores incrementos médios anuais em altura e localiza-se nas planícies e partes inferiores das encostas cujos solos são profundos, siltosos e arenosos. O segundo corresponde ao sítio com menores incrementos em altura e localiza-se em relevo pouco movimentado em forma de depressão irregular cujos solos são profundos, argilosos, compactos e com resíduos de rocha ao longo do perfil. O terceiro, com incrementos médios anuais em altura, intermediários quando comparados com os dois primeiros, abrange as áreas mais íngremes da área estudada, com afloramentos rochosos. A análise discriminante comprovou a eficiência dos agrupamentos e mostrou, com nível de significância de 0,01, que as variáveis profundidade do solo, teores de argila, areia fina e silte, densidade do solo e incremento médio anual em altura apresentaram maior poder de discriminação e separação dos grupos.

Palavras-chave: *Araucaria angustifolia*, crescimento, solo, análise multivariada.

1. Engenheiro Florestal, MSc. Av. do Comércio, 932, CEP 98360-000, Rodeio Bonito (RS).
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). longhiso@ccr.ufsm.br

ABSTRACT

In this work, with the help of multivariate statistical techniques, it was studied the influence of morphological and physical soil factors and litter nutrient content on site classification of a 47 years old *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. stand located on Canela National Forest, Rio Grande do Sul State, Brazil. A stratified sampling, covering three natural sites that received four angle-count sampling (ACS) each one, according to the methodology of BITTERLICH (1984) were installed. In the area of the ACS the tree with the average dominant height was felled for the trunk analysis and determination of the height growth, as defined by Pollanchütz, and soil samples at depths of 0-10 cm and 10-20 cm were collected with an extractive cylinder. These samples were equidistantly distributed under the crown projection of the average dominant tree. Later, each sample was divided into two geometric horizons, A1 e A2, from which the physical characteristics of the soil were determined. Litter samples were obtained and their chemical content was analyzed. The cluster analysis classified the group of observations into three distinct groups, according to their locations in the different natural sites. The discriminant analysis confirmed the efficiency of the groupings and indicated, with a significance level of 0.01, that the variables soil depth, contents of clay, fine sand and loam, soil density and height mean annual increment presented a higher discriminating power of separating the groups. The first one corresponds to the site of higher yearly mean growth in height and it is located on the plains and low hillsides, where soils, are deep, loamy and sandy. The second, correspond to the lower height growth sites, located on intermontane plains which occurs in the form of irregular lowlands where soils are deep, clay, compacted and with rock residuals along its profile. The third, with yearly mean growth in height intermediary when compared with the two first ones, enclose the most steepest areas of the study with based rocks.

Key words: *Araucaria angustifolia*, growth, soil, multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia, conhecida como pinheiro-do-paraná, pinheiro-brasileiro ou simplesmente pinheiro, embora autoctone e de grande valor comercial, tem sido preterida nos reflorestamentos no sul do País, em favor de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. O motivo principal refere-se ao maior crescimento e rusticidade dessas espécies o que garante o retorno do capital investido na atividade florestal mais precocemente.

Esse fato tem contribuído com o desinteresse em utilizar a araucária em reflorestamentos levando-a, em alguns locais, ao quase-desaparecimento da paisagem. Por outro lado, a legislação florestal atual é restritiva quanto ao aproveitamento das árvores, contribuindo fortemente para a falta de interesse dos proprietários rurais com a espécie.

O menor crescimento da *Araucaria angustifolia* decorre principalmente de sua exigência quanto aos aspectos físicos, morfológicos e químicos do solo. Em sítios de boa qualidade, pode apresentar incrementos que, associado à qualidade da madeira e a aspectos ambientais, viabilizem seu emprego em reflorestamentos com fins comerciais. Assim, é imprescindível que seu cultivo seja

feito em sítios propícios, buscando obter povoamentos ecologicamente estáveis e produtivos, tornando-os atrativos comercialmente. Para isso, é necessário que seja conhecido previamente à implantação dos povoamentos, a qualidade dos sítios, classificando-os segundo suas aptidões e cultivando a espécie nos locais de melhor qualidade onde deverão ser obtidos bons incrementos. Paralelamente a essa estratégia, a aplicação de tratamentos silviculturais, em época e intensidades adequadas aos objetivos da produção, permitirão obter árvores com maior volume individual, maior qualidade e sanidade, aumentando substancialmente a rentabilidade do investimento na floresta.

Dessa forma, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de conhecer, entre as variáveis que descrevem as características físicas e morfológicas do solo, o conteúdo de nutrientes da serapilheira e as características dendrométricas que influem e podem estar associadas ao crescimento de *Araucaria angustifolia* e que poderão estabelecer agrupamento de sítios.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fatores físicos e morfológicos do solo

NEMETH & DAVEY (1974) ressaltam a importância das características físicas do solo e dizem serem estas o melhor critério para avaliar o crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.

As características físicas do solo segundo VAN LAAR (1981) facilitam mais as previsões sobre a qualidade de sítio do que as químicas. Brown & Loewenstein *apud* CASSOL (1982), confirmam o exposto, demonstrando que as características físicas do solo explicaram 36% da variação de índice de sítio, enquanto que as químicas explicaram apenas 23% da variação.

Em relação ao crescimento da *Araucaria angustifolia*, OLIVEIRA (1948) menciona que não pode ser explicado somente em termos de expressões químicas, mas que características físicas e mecânicas do solo devem ser estudadas, pois, em uma estrutura granular e com aeração suficiente, as raízes encontram maior capacidade de penetração.

Segundo BLUM (1977), o sistema radicial da *Araucaria angustifolia* não tolera más propriedades físicas do solo, principalmente em horizontes compactados, porosidade limitada, horizontes com água estagnada ou lençol freático alto e impedimentos mecânicos, pois essas características prejudicam o crescimento radicial.

Os autores DE HOOG & DIETRICH (1979) lançaram a hipótese de que o lento crescimento da *Araucaria angustifolia* poderia ser atribuído à porosidade, permeabilidade e capacidade de retenção da água no solo. Nesse sentido, HOPPE (1980) obteve correlação positiva entre a porosidade total até a profundidade de 30 cm e a altura dominante e, DE HOOG (1981) encontrou o mesmo resultado para a camada de 50-100 cm. Conforme BAVER *et al.* (1972), solos com macroporosidade inferior a 10%, acarretam a diminuição da aeração e, conseqüentemente, levam a deficiência de oxigênio, prejudicando o crescimento radicial.

Brown & Loewenstein *apud* CASSOL (1982), afirmam que a composição granulométrica do

solo bem como a sua profundidade são importantes para o crescimento de coníferas. MADER (1976), estudando *Pinus strobus* L., concluiu que o acréscimo nos teores de silte e argila no horizonte "A" contribuem para seu melhor crescimento, justificando ser em provavelmente essas frações contribuintes para a umidade e fertilidade na zona primária de enraizamento. Entretanto, o mesmo acréscimo no horizonte "B" está associado a uma redução na qualidade de sítio, refletindo redução da aeração e pouco enraizamento. Semelhantes conclusões foram apresentadas por LOWRY (1975).

BRUM (1979), estudando o crescimento de *Pinus elliottii*, observou que entre as frações granulométricas do solo, o teor de silte apresentou correlação negativa com a altura dominante. Este foi também encontrado por HOPPE (1980), para *Araucaria angustifolia*. DE HOOG & DIETRICH (1979) também encontraram correlação negativa entre a percentagem de argila do horizonte "B" e sua altura.

LOWRY (1975) concluiu que o índice de sítio para *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. aumentava com o aumento da profundidade do solo. VAN GOOR (1965), GOLFARI (1967), BLUM (1977), DE HOOG & DIETRICH (1978, 1979) e DE HOOG (1981) são unânimes em afirmar que a *Araucaria angustifolia* é muito exigente em relação à profundidade do solo. VAN GOOR (1965) considera que um mínimo de 70 a 100 cm são necessários para um bom crescimento da espécie.

Conforme LASSERE *et al.* (1972), a diferença de produtividade da *Araucaria angustifolia*, em Piray-Misiones está associada, entre outros fatores, à profundidade do solo, pois esta se relaciona com a expansão do sistema radicial. O mesmo foi observado por DE HOOG & DIETRICH (1978, 1979), obtendo correlação positiva entre a profundidade do solo, a espessura do horizonte A e a altura.

Considerando que a *Araucaria angustifolia* desenvolve um sistema radicial que pode alcançar de 2 a 4 m de profundidade, a espécie necessita de solos bem-arejados, uma vez que é sensível à deficiência de oxigênio. Por outro lado, conforme ANDRAE & KRAPFENBAUER (1983), a espécie em solos litólicos e hidromórficos, desenvolve uma raiz fasciculada, de crescimento horizontal.

De acordo com CASSOL (1982), o solo mais adequado para a implantação de *Araucaria angustifolia* é o latossolo roxo, por apresentar melhor crescimento e produtividade. Os solos litólicos e gley pouco húmico, também avaliados pela autora, apresentaram produtividade inferior à do latossolo roxo, em aproximadamente 63% e 79% respectivamente. LASSERE *et al.* (1972) também obtiveram baixos crescimentos dessa espécie em solos hidromórficos e pedregosos.

REISSMANN *et al.* (1990) concluíram que a profundidade dos horizontes A e B e/ou a profundidade do material de origem afetam substancialmente o desenvolvimento de *Araucaria angustifolia*.

Para SILVA JUNIOR (1984), os efeitos das propriedades físicas do solo no crescimento das plantas estão relacionados com a maior ou menor disponibilidade de água.

BATISTA & COUTO (1992) obtiveram correlação positiva entre a altura dominante e os fatores físicos do solo. Os que mais influenciaram foram o teor da areia fina e da argila. As variáveis

biométricas, que melhor se correlacionaram com as propriedades físicas do solo, foram altura e número de árvores por hectare.

Técnicas multivariadas

A análise multivariada é um conjunto de técnicas estatísticas que trata de dados correspondentes às medidas de muitas variáveis simultaneamente.

A primeira aplicação conhecida das técnicas multivariantes, em problemas de classificação em grupos preestabelecidos, deve-se a Tildesley que, em 1921, empregou essas técnicas para classificar esqueletos pré-históricos em grupos raciais com base em dados antropométricos (MALLO, 1985).

Angelo, Castro & Hosokawa *apud* BATISTA (1990) afirmam que, quando se trata de estudos de vários parâmetros observados, ou medidos sobre um mesmo indivíduo ou unidade amostral, se pode recorrer aos métodos de análises multivariadas com o intuito de melhor explicar a estrutura da massa de dados, sendo os métodos mais comumente usados a Análise Fatorial, a Análise de Grupamentos e a Análise Discriminante.

A Análise de Grupamentos é uma técnica bastante primitiva, para que nenhuma suposição seja feita quanto ao número de grupos resultantes definida como um método de classificação numérica que visa a caracterizar os grupos com diferentes graus de similaridade em uma dada quantidade de dados (BOCKOR, 1975).

De acordo com MALLO (1985), a Análise de Cluster (grupamento) tem por objetivo agrupar indivíduos em um número restrito de grupos ou classes homogêneas. O grupamento é feito com base em uma similaridade ou uma distância.

Para JOHNSON & WICHERN (1982) e Sneath & Sokal e Orlóci *apud* LONGHI (1997), o critério de grupamento empregado na maioria dos algoritmos é uma medida de similaridade ou de distância estatística entre os elementos de uma matriz X. Essas medidas constituem na entrada de vários algoritmos e definem uma função dos valores dos vetores representativos dos elementos de X, para os quais se calcula uma medida de similaridade ou distância.

Segundo JOHNSON & WICHERN (1982) e Matteucci & Colma e Asencio *apud* LONGHI (1997), os métodos de grupamento (Cluster) podem ser de dois tipos: hierárquico e não-hierárquico. Os métodos hierárquicos produzem uma seqüência de partições em classes cada vez mais vastas, à semelhança das célebres classificações zoológicas (espécies, gêneros, famílias, ordem, etc.). JOHNSON & WICHERN (1982) definem o método como sendo uma série de fusões sucessivas ou de divisões sucessivas.

Dependendo do procedimento usado na formação das classes, as técnicas podem ser divisivas ou aglomerativas. As técnicas aglomerativas começam pela fusão sucessiva dos indivíduos que se combinam por suas semelhanças, repetindo o procedimento até esgotar as possibilidades de combinação ou até que não fiquem indivíduos isolados. Essas técnicas buscam a similaridade entre os indivíduos ou comunidades analisadas (Sneath & Sokal, Orlóci, Gauch & Whittaker, Matteucci & Colma, *apud* LONGHI, 1997).

Para o estudo das diferenças entre os grupos formados, evidenciando as variáveis

responsáveis pela diferenciação destes, empregam-se, segundo MALLO (1985), as técnicas de Análise Discriminante. A Função Discriminante tem numerosas aplicações, como por exemplo, permite descobrir as ligações existentes entre um carácter qualitativo a ser explicado e um conjunto de caracteres quantitativos explicativos. Essa análise permite ainda, com a ajuda de uma visualização num plano fatorial apropriado, descrever as ligações entre o carácter a ser explicado e os caracteres explicativos.

Para JOHNSON & WICHERN (1982), a técnica multivariada, conhecida como Análise Discriminante e Classificação, trata dos problemas relacionados em *separar* conjuntos distintos de objetos (observações) e em *alocar* novos objetos (observações) em grupos previamente definidos.

Segundo Rao & Mitra, Lachenbruch e Mardia *et al. apud* LONGHI (1997), pode-se, por meio da análise discriminante, testar a suficiência de uma série de variáveis discriminantes. A suficiência é testada pela análise discriminante *stepwise*, de grande utilidade, principalmente, quando há mais variáveis do que seriam necessárias para se obter uma classificação satisfatória.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Os dados foram coletados em um povoamento de *Araucaria angustifolia*, na Floresta Nacional de Canela, localizada em Tiririca, no município de Canela, Rio Grande do Sul, situada entre as coordenadas geográficas de 29°18' latitude sul e 50°53' longitude oeste. A Floresta Nacional de Canela possui uma área total estocada de 517,7 hectares, dos quais 128,8 ha são de florestas nativas (29,4%), 280,5 ha de povoamentos implantados (53,3%) e 108,3 ha de áreas não-estocadas (17,2%), conforme INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (1989).

O clima dominante na região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo "Cfb1", temperado úmido (MORENO, 1961).

Processo de amostragem

A população foi estratificada segundo a classificação de sítios naturais elaborada para a Floresta Nacional de Canela (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE, 1989). Cada sítio natural foi considerado como um estrato. Sobre o mapa da classificação de sítios naturais, foi traçada uma linha de comprimento "N" de forma que passasse por três classes de sítio. Sobre a linha, foram locadas sistematicamente doze unidades amostrais, sendo quatro para cada classe de sítio.

As unidades amostrais foram do tipo temporárias, utilizadas somente para uma única coleta de dados. O método de Bitterlich foi utilizado para a locação das unidades amostrais, sendo as árvores selecionadas com probabilidade proporcional ao seu diâmetro (Amostra por Contagem Angular, ACA). Para a locação da ACA, realizou-se um giro de 360 graus com o relascópio, comparando o ângulo selecionado com os indivíduos observados. As árvores são incluídas na

unidade amostral, quando seus diâmetros forem maiores que o ângulo selecionado. O ângulo selecionado para esse levantamento foi de $2^{\circ}17'32''$ que corresponde ao Fator de Área Basal (FAB) quatro (4) e a banda quatro do relascópio de Bitterlich. Dessa forma, cada árvore selecionada em uma unidade amostral (ACA) representou uma área basal de $4 \text{ m}^2/\text{ha}$ (BITTERLICH, 1984).

Cada árvore pertencente à ACA teve mensuradas as suas características dendrométricas (diâmetro e altura). Os diâmetros de todas as árvores de cada ACA foram obtidos na altura de 1,30m tomando-se por base o solo; a área basal por hectare (G) foi obtida utilizando o fator de área basal 4 do relascópio de Bitterlich, multiplicado pelo número de árvores selecionadas em cada ACA. A idade dos talhões em estudo foi obtida com base no plano de manejo da Floresta Nacional de Canela (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE, 1989). A obtenção relascópica do número de árvores por hectare segue o princípio da ACA, segundo o qual cada árvore contada representa uma quantidade de área basal em m^2/ha (G), correspondente ao fator de área basal utilizado. O valor 'G' representa a área basal das árvores em um hectare e, portanto, equivale à soma de todas as áreas de seção transversal das árvores nessa unidade de área, existindo uma relação entre a área basal (g) de cada árvore contada e o respectivo fator de área basal empregado.

Outro elemento dendrométrico determinado em cada ACA foi a árvore de altura dominante média, segundo o conceito de Pollanschütz (h_{poll}), em que, para um fator de área basal igual a quatro, a média das alturas das três árvores de maior diâmetro corresponde à árvore de altura dominante média (FINGER, 1992).

Análise de tronco

A árvore de altura dominante média em cada ACA foi abatida e teve retiradas fatias do tronco com, aproximadamente, 5 cm de espessura nas alturas de 0,1 m, 0,5 m, 1,30 m, e posteriormente a cada 2,0 m até o diâmetro limite de 5 cm. Dessa forma, foram abatidas quatro árvores para cada classe de sítio, totalizando doze árvores para as três classes de sítio natural em estudo. Dessas árvores, foram considerados os incrementos em altura dos cinco últimos anos antes do abate das mesmas, perfazendo um conjunto de 60 situações (12 árvores e 5 anos).

Os resultados da análise de tronco de cada classe de sítio foram analisados separadamente e comparados com as outras classes de sítio, buscando estabelecer as diferenças no crescimento em altura das árvores em um sítio e entre sítios diferentes.

Amostragem do solo e da serapilheira

Em cada ACA, foram também coletados dois perfis geométricos de solo de 20 cm de profundidade, retirados com um cilindro extrator de 7 cm de diâmetro. Essas amostras foram distribuídas de forma equidistante sob a projeção da copa da árvore de altura dominante média. Cada amostra foi dividida em dois horizontes geométricos, o horizonte A1, de 0-10 cm de profundidade e o horizonte A2, de 10-20 cm de profundidade.

Com a coleta de duas amostras de solo para cada local, foram tomadas ao todo oito amostras de solo para cada sítio natural amostrado. Dessa forma, nos três sítios em estudo, foram levantadas um total de 24 amostras de solo, sendo cada uma dessas amostras dividida nos dois horizontes,

totalizando 48 amostras. Com base nessas foram determinadas as características físicas do solo para cada ACA.

Aproximadamente 200 g de solo de cada horizonte geométrico foram peneirados, utilizando uma peneira com malha de 2 mm, obtendo, dessa forma, a fração fina do solo (menor que 2 mm) e a fração grosseira (maior que 2 mm). A fração fina do solo, a fração grosseira e as raízes foram secas em estufa a uma temperatura de 50 °C por, aproximadamente, 48 horas.

Após a determinação da massa seca das amostras da fração fina do solo, estas foram enviadas para o Laboratório de Solos do Centro de Ciências Rurais da UFSM para a determinação da textura em cada horizonte. As características físicas do solo, percentagem de areia, silte e argila foram avaliadas pelo do método da pipeta e, a classe textural de acordo com as normas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cada horizonte geométrico (0-10 e 10-20 cm) teve determinada a densidade em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), obtida do volume do solo e de sua respectiva massa seca, pela secagem do material a uma temperatura de 105 °C até peso constante.

A determinação da profundidade do solo foi realizada para cada ACA, utilizando-se um trado de rosca com um metro de altura, graduado de 20 em 20 cm. Para isso, foi realizada a amostragem de pontos equidistantes em 5 metros, locados sobre uma linha que corresponde ao maior diâmetro da ACA. A profundidade do solo de cada ACA foi determinada pela média dos 'n' pontos de sondagem no local.

Para cada ACA, foram também coletadas 5 amostras de serapilheira com uma moldura de ferro de 25 x 25 cm, distribuídas de forma equidistantes sobre a projeção da copa da árvore de altura dominante. O material coletado, após acondicionado, foi levado ao Laboratório de Ecologia onde foram secas em estufa de renovação e circulação de ar, a uma temperatura de 75 °C, até peso constante, e a seguir, fracionadas em duas subamostras para análise química.

Análise de grupamentos

Todas as informações das unidades amostrais levantadas (u.a.) foram consideradas em um conjunto único e submetidas às técnicas de Análise de Cluster (grupamento) e à Análise Discriminante. O método de classificação utilizado na análise de agrupamento foi o Método Aglomerativo Hierárquico.

Pela Análise Discriminante, foram selecionadas entre as variáveis físicas e morfológicas do solo, nutrientes da serapilheira, e variáveis dendrométricas com maior poder de separação de grupos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da matriz de dados brutos, composta pelas variáveis relacionadas na Tabela 1, realizou-se uma análise de Cluster e de Discriminante, objetivando classificar as árvores em grupos homogêneos e determinar funções discriminantes que possam classificar e reclassificar estas em seus respectivos grupos.

Análise de grupamento (Cluster)

Na Figura 1, encontra-se o dendrograma obtido pela análise de Cluster, utilizando a distância Euclidiana como medida de similaridade entre as árvores e o método *Ward* de ligação. Os números no eixo vertical representam a distância Euclidiana reescalada de 0 a 25 e no eixo horizontal, as árvores que vão gerando os grupos.

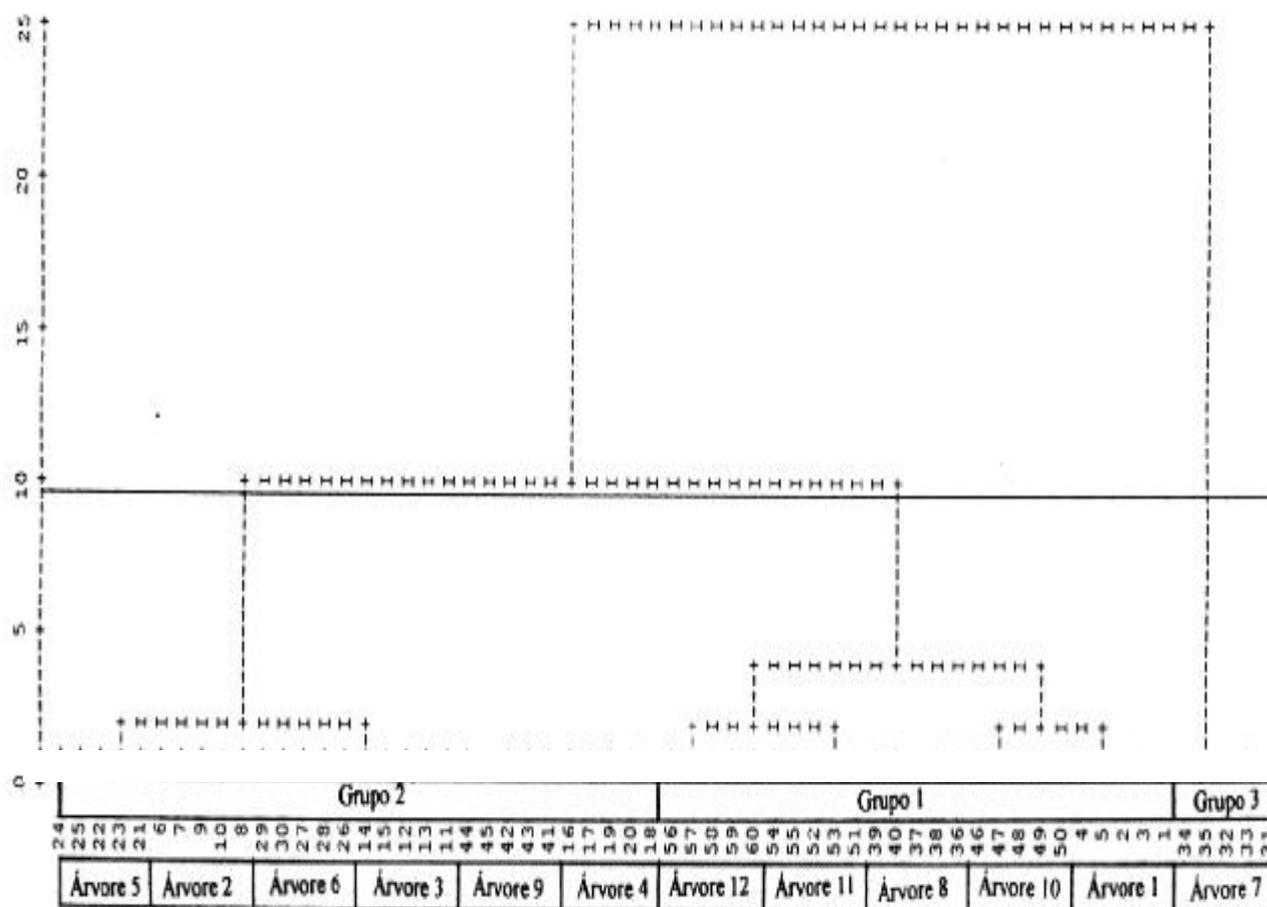


FIGURA 1: Dendrograma obtido para o grupamento de sítios na FLONA de Canela ,RS.

Para a definição dos grupos, traçou-se uma linha paralela ao eixo horizontal, partindo próxima da distância Euclidiana média, conforme recomendação de BOUROCHE & SAPORTA (1972). Observa-se que a linha traçada, chamada *linha fenon* (linha média), interceptou 3 ramos das ligações, no agrupamento formado, classificando o conjunto das 60 situações (12 árvores) em 3 grupos distintos, em razão de suas localizações nos diferentes sítios naturais.

Análise discriminante

Após obtidos os grupos, realizou-se uma Análise Discriminante, visando a determinar funções que permitam classificar as árvores dentro dos grupos (sítios) para as quais apresentam maior probabilidade de pertencerem, bem como verificar a precisão da classificação.

Da matriz de correlação entre as variáveis, obtida da matriz de dados brutos pela Análise Discriminante, pelo Método *Stepwise*, determinaram-se os valores de *Lambda* de Wilks (λ^*), *F* e a Significância obtida para cada variável, permitindo interpretar a real capacidade de discriminação destas na formação dos grupos (Tabela 1).

TABELA 1: Estatística do teste de seleção de variáveis discriminantes para a matriz de dados brutos, obtidos com 5 e 57 GL, para a FLONA de Canela, RS.

Variáveis	Lambda de Wilks (λ^*)	F	Significância
Areia fina 0-10 cm ¹	0,64	15,85	0,000
Areia fina 10-20 cm ¹	0,40	42,53	0,000
Areia grossa 0-10 cm ¹	0,86	4,78	0,012
Areia grossa 10-20 cm ¹	0,58	20,59	0,000
Argila 0-10 cm ¹	0,38	45,69	0,000
Argila 10-20 cm ¹	0,05	594,70	0,000
Boro ¹	0,60	19,14	0,000
Ca ¹	0,86	4,47	0,016
Cu ¹	0,85	4,91	0,011
Densidade 0-10 cm ²	0,92	2,35	0,105
Densidade 10-20 cm ²	0,75	9,62	0,000
Fe ¹	0,75	9,63	0,000
Hdom ³	0,44	35,61	0,000
ICAh ³	0,99	0,17	0,840
IMAh ³	0,89	3,43	0,039
K ¹	0,52	25,98	0,000
Mg ¹	0,78	8,24	0,001
Mn ¹	0,88	4,06	0,023
N ¹	0,95	1,63	0,204
Na ¹	0,98	0,71	0,495
P ¹	0,94	1,86	0,166
Prof. a 10 m da árvore em aclave ³	0,66	14,70	0,000
Prof. a 15 m da árvore em aclave ³	0,49	29,80	0,000
Prof. a 5 m da árvore em aclave ³	0,61	17,90	0,000
Prof. a 10 m da árvore em declive ³	0,97	0,79	0,459
Prof. a 15 m da árvore em declive ³	0,95	1,38	0,260
Prof. a 5 m da árvore em declive ³	0,91	2,96	0,060
S ¹	0,98	0,58	0,565
Silte 0-10 cm ¹	0,62	17,31	0,000
Silte 10-20 cm ¹	0,26	79,38	0,000
Textura	0,82	6,24	0,004
Zn ¹	0,91	2,90	0,063

Em que: ¹ em %; ² em g/cm³; ³ em m; F = valores obtidos através do teste F.

Nota-se, pela referida Tabela, que Argila a 10-20 cm de profundidade apresentou maior valor de F (594,70) e, conseqüentemente, menor valor de λ^* (0,05), sendo essa primeira variável selecionada para entrar na análise. Essa variável foi então pareada com as demais, uma de cada vez,

para selecionar a segunda melhor variável discriminante e, assim, sucessivamente. Após 10 passos, foram selecionadas 10 variáveis com real poder de discriminação (Tabela 2).

A estatística λ^* mostrou, ao nível de 0,01 % de significância, que as variáveis relacionadas na Tabela 2 têm alto poder discriminante.

TABELA 2: Estatística do teste de seleção de variáveis discriminantes, em ordem de entrada após 10 passos, para a FLONA de Canela, RS.

Passos	Variável	Lambda de Wilks (λ^*)	Significância
1	Argila % 10-20 cm	0,046	0,0001
2	Prof. a 5 m da árvore em aclave	0,008	0,0000
3	Areia fina 10-20 cm	0,001	0,0001
4	Prof. a 5 m da árvore em declive	0,000	0,0000
5	Prof. a 10 m da árvore em declive	0,000	0,0000
6	Densidade 0-10 cm	0,000	0,0001
7	Silte 10-20 cm	0,000	0,0001
8	Prof. a 15 m da árvore em declive	0,000	0,0000
9	IMAh	0,000	0,0000
10	Prof. a 15 m da árvore em aclave	0,000	0,0001

Analisando o valor do teste F, da Tabela 1, nota-se que Argila a 0-10 cm de profundidade, altura dominante (hdom), K, areia grossa a 10-20 cm de profundidade e boro, estão entre as 10 variáveis com maiores valores e deveriam ser selecionadas na análise. No entanto, após os 10 passos elas foram substituídas por profundidade a 5 m em declive, profundidade a 10 m em declive, densidade a 0-10 cm de profundidade, profundidade a 15 m em declive e incremento médio anual (IMAh), que apresentaram baixo valor F na análise. Isso ocorre, em razão de que, à medida que uma variável é selecionada e retirada da matriz, nova combinação é realizada, alterando os valores de F e, conseqüentemente, a ordem de seleção.

Após a definição das variáveis discriminantes, procedeu-se a determinação das funções discriminantes, importantes na análise das contribuições dessas variáveis.

Os testes estatísticos, concernentes ao procedimento de seleção do número de discriminantes, selecionaram duas funções discriminantes para representar 100% da variância total (Tabela 3). Pela observação dos autovalores, nota-se que houve uma grande predominância da primeira função discriminante, que representa 99,8% da variância total explicada. Os valores altos dos coeficientes de correlação canônica mostram um alto grau de relacionamento entre as funções discriminantes e o grupo de variáveis.

O teste de significância da estatística *Qui-quadrado* (χ^2) e o valor *Lambda* de Wilks (λ^*) mostram como as informações nas sucessivas funções discriminantes são retiradas. Antes de nenhuma função ser retirada, o valor λ^* , de 0,000, muito baixo, indica que a série de variáveis, que estão sendo usadas, possuem um considerável poder de discriminação. Depois de uma parte dessa capacidade de discriminação ser alocada na Primeira Função Discriminante, o λ^* aumenta pouco e o

valor alto do teste χ^2 assegura que, estatisticamente, uma quantia significativa de informações discriminantes ainda exista. Na Segunda Função Discriminante o valor de λ^* , de 0,015, ainda baixo, indica que as variáveis continuam contendo poder de discriminação. Isso pode ser comprovado pelo alto valor do teste χ^2 (221,995) e alta probabilidade (> 99,9 %).

TABELA 3: Estatística do teste de seleção das funções discriminantes, para a FLONA de Canela, RS.

Função	Autovalor	% da variância	% da var. acumulada	Correl. Canônica	Após a função	λ^*	χ^2	GL	Sig.
					0	0,000	757,825	29	0,000
1	27071,414	99,8	99,8	1,000	1	0,015	221,995	9	0,000
2	67,613	0,2	100,0	0,993					

Em que: λ^* = Lambda de Wilks; χ^2 = Qui-quadrado; GL = Grau de Liberdade; Sig. = significância

Conforme cada função discriminante foi gerada, segundo a magnitude de seu autovalor associado, as estatísticas λ^* e o teste χ^2 avaliam a quantidade de informação discriminante não-incorporada pelas funções procedentes. Assim, ao nível de significância de 0,01, o teste χ^2 indicou que nenhuma função deveria ser eliminada da análise sendo as duas funções discriminantes necessárias para descrever a série de pontos definidos pelos agrupamentos.

Analisando os coeficientes padronizados das funções discriminantes (Tabela 4), observa-se que, na Primeira Função Discriminante, destacaram-se as variáveis areia grossa a 10-20 cm de profundidade, profundidade de 5 m em aclave, areia fina a 10-20 cm e profundidade de 5 m em declive; e na Segunda Função Discriminante, as variáveis profundidade a 10m em declive, profundidade a 15 m em declive, densidade a 0-10 cm, silte 0-10 cm, profundidade 15 m em aclave e incremento médio anual em altura (IMAh).

TABELA 4: Coeficientes padronizados das funções discriminantes, para a FLONA de Canela, RS.

Variáveis	Função 1	Função 2
Areia fina 10-20 cm	17,814	2,072
Areia grossa 10-20 cm	30,194	- 0,637
Densidade 0-10 cm	- 0,258	5,712
IMAh	- 0,904	2,018
Prof. a 15 m da árvore em aclave	- 0,803	2,733
Prof. a 5 m da árvore em aclave	20,320	- 0,738
Prof. a 10 m da árvore em declive	- 4,400	- 7,580
Prof. a 15 m da árvore em declive	- 4,233	6,528
Prof. a 5 m da árvore em declive	13,862	1,959
Silte 0-10 cm	- 1,016	3,169

Na Tabela 5, encontram-se os centróides ou pontos médios de cada grupo, nas duas funções discriminantes, os quais permitem alocar novas amostras (árvores) dentro dos grupos (sítios) a que pertencem.

TABELA 5: Centróides das funções discriminantes avaliadas para os três grupos encontrados, para a FLONA de Canela, RS.

Grupos	Função 1	Função 2
1	-11,339	9,466
2	93,667	-6,505
3	-505,303	-8,297

Para a alocação de uma nova árvore amostrada em um dos sítios determinados, calculou-se o valor de cada discriminante (Y_1 , Y_2) para estas, pelas funções da Tabela 4 e, as distâncias Euclidianas (d_1 , d_2) do ponto calculado aos centróides de cada grupo, (Tabela 5), conforme a equação abaixo. A menor distância Euclidiana obtida indica o grupo (sítio) em que a nova árvore deve ser alocada.

$$d(X, Y) = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2}$$

A Tabela 6 mostra o resultado da classificação das árvores levantadas nos três grupos obtidos. Observa-se que houve 100 % de classificação correta, indicando a precisão do agrupamento. Desta forma, pode-se considerar que a utilização das duas funções discriminantes obtidas, apresentaram alta precisão na classificação e alocação das árvores nos sítios naturais encontrados na floresta.

TABELA 6: Número de casos e percentagens de classificação das árvores nos três grupos determinados, para a FLONA de Canela, RS.

Grupos	Reclassificação das árvores por grupo			
	1	2	3	Total
1	25	0	0	25
2	0	30	0	30
3	0	0	5	5
1	100	0	0	100
2	0	100	0	100
3	0	0	100	100

Caracterização dos grupos

Na Tabela 7, encontram-se os valores médios das variáveis analisadas, para os três grupos (sítios) obtidos pela Análise de Cluster.

O Grupo 1 corresponde ao sítio cujo solo apresenta valores mais elevados de Silte, Areia, e teor de Ca na serapilheira. Corresponde, em sua maioria, ao Sítio I, classificado por INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (1989) por meio de levantamento do solo. Localiza-se nas planícies e partes inferiores das encostas e planos superiores do relevo. O solo apresenta uma profundidade mínima de 60 cm, com raríssimos afloramentos de rocha, textura franco argilosa,

estrutura granular a blocos subangulares, friável, plástico, moderadamente drenado e de coloração escura. Neste sítio, a floresta de araucária apresentou os melhores incrementos anuais em altura.

TABELA 7: Valores médios das variáveis analisadas, para os três grupos obtidos, para a FLONA de Canela, RS.

Variáveis	Grupos		
	1	2	3
hdom ³	20,58	17,20	21,40
ICAh ³	0,108	0,093	0,100
IMAh ³	0,510	0,450	0,500
Textura	3	2	3
Argila 0-10 cm ¹	40,92	52,67	47,30
Argila 10-20 cm ¹	40,18	55,95	0
Silte 0-10 cm ¹	41,90	34,88	39,30
Silte 10-20 cm ¹	37,86	33,25	0
Areia fina 0-10 cm ¹	9,3	5,8	5,9
Areia fina 10-20 cm ¹	9,8	5,7	0
Areia grossa 0-10 cm ¹	7,9	5,6	7,5
Areia grossa 10-20 cm ¹	8,1	5,5	0
Boro ¹	36,0	22,9	62,0
N ¹	8,75	9,81	9,85
P ¹	0,62	0,68	0,65
K ¹	0,51	1,25	0,30
Ca ¹	7,72	6,09	5,75
Mg ¹	1,41	1,48	0,80
S ¹	0,88	0,95	1,00
Cu ¹	0,0131	0,0148	0,0150
Zn ¹	0,0421	0,0377	0,0455
Fe ¹	0,0005	0,0007	0,0011
Mn ¹	0,9285	0,8536	1,0050
Na ¹	0,0532	0,0573	0,0575
Densidade 0-10 cm ²	2,21	2,18	1,92
Densidade 10-20 cm ²	2,33	2,29	1,92
Prof. a 5 m da árvore em aclive ³	0,78	0,75	0,60
Prof. a 10 m da árvore em aclive ³	0,72	0,78	0,50
Prof. a 15 m da árvore em aclive ³	0,80	0,72	0,40
Prof. a 5 m da árvore em declive ³	0,62	0,68	0,50
Prof. a 10 m da árvore em declive ³	0,70	0,72	0,80
Prof. a 15 m da árvore em declive ³	0,68	0,65	0,80

Sendo que: ¹ em g/kg; ² em g/cm³; ³ em m.

O Grupo 2 corresponde ao sítio cujo solo apresenta valores mais elevados de argila, P, K e Mg na serapilheira. Corresponde ao Sítio III em sua maioria, com alguns casos de II e I da

classificação de INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (1989). Ocorre em relevo pouco movimentado em forma de depressão irregular com alguns afloramentos de rochas individualizadas. O solo é profundo, com resíduos de rochas ao longo do perfil, de cor marrom-avermelhada, franco argiloso, granular, com estrutura em blocos, friável, plástico e pegajoso e com boa porosidade. Neste sítio, a floresta de araucária apresenta as menores alturas dominantes e os menores incrementos anuais em altura. Isso deve-se, talvez, aos solos mais argilosos e compactos.

O Grupo 3 corresponde ao sítio com impedimentos superficiais com valores nulos de argila, silte e areia após 10 cm. Abrange as áreas mais íngremes, com afloramentos rochosos. Corresponde ao Sítio II da classificação de INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (1989). O solo é raso, apresentando uma camada de impedimento ao desenvolvimento de raízes partindo dos 20 cm, com coloração escura, argiloso, granular, friável e pegajoso. Além disso, esse sítio apresentou valores mais baixos de densidade do solo. Embora apresentem afloramentos rochosos, a floresta de araucária desse sítio apresentou maior altura dominante e excelentes incrementos anuais em altura, conforme demonstra a Tabela 7.

CONCLUSÕES

A análise de grupamento (cluster) revelou a existência de três grupos distintos cujas variáveis permitem identificar as árvores que o compõem. O Grupo 1 corresponde ao sítio localizado nas planícies e partes inferiores das encostas cujos solos são profundos, siltosos, arenosos, com maiores teores de cálcio na serapilheira, apresentando os maiores incrementos médios anuais em altura. O Grupo 2 refere-se ao sítio localizado em relevo pouco movimentado em forma de depressão irregular cujos solos são profundos, argilosos, com resíduos de rochas ao longo do perfil, com os maiores teores de fósforo, potássio e magnésio na serapilheira, compactos e apresentando os menores incrementos em altura. O Grupo 3 abrange as áreas mais íngremes da área estudada, com afloramentos rochosos, e com alto teor de boro na serapilheira, mas com razoáveis incrementos médios anuais em altura.

As análises discriminantes provaram que os agrupamentos feitos pela análise de Cluster foram bem sucedidos; demonstrando grande aproximação da classificação de sítios feita com essa técnica com o mapeamento de sítios elaborado por INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (1989), o qual baseou-se nas características físicas e morfológicas do solo, comprovando a viabilidade da análise multivariada na classificação de sítios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRAE, F. H.; KRAPFENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos, em Passo Fundo – RS: inventário de nutrientes. In: PESQUISAS AUSTROBRASILEIRAS 1973-1982 SOBRE *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*, 1983, Santa Maria. **Proceedings** ... Santa Maria: Imprensa Universitária, 1983. 112 p.

- BATISTA, J. L. M. Análise multivariada no planejamento de extensão florestal: subsídios para uma política de reocupação de áreas. Curitiba: UFPR, 1990. 137p. Dissertação - (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1990.
- BATISTA, E. A.; COUTO, H. T. Z. Influência de fatores físicos do solo sobre o desenvolvimento das espécies florestais mais importantes do cerrado da Reserva Biológica de Moji-Guaçu. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Instituto Florestal, 1992.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4. ed. New York: John Willey & Sons, 1972. 498p.
- BITTERLICH, W. **The relascope idea** - relative measurements in forestry. Norwich: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984. 242p.
- BLUM, W. E. H. Ecologia da *Araucaria angustifolia* e futuras condições de reflorestamento no Sul do Brasil. **Brasil Madeira**, Curitiba, v.7, p.10-12, 1977.
- BOCKOR, I. Aplicación de un metodo de clasificación numerica para diferenciar tipos de bosques, **Rev. For. Venez.**, Mérida, v. 18, n. 28, p. 23-37, 1975.
- BOROUCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.116 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de manejo para a Floresta Nacional de Canela - RS**. Santa Maria, 1989. 398p.
- BRUM, E. T. **Relações entre a altura dominante e fatores do sítio, em povoamentos de *Pinus elliottii*. Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC**. Curitiba: UFPR, 1979. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1979.
- CASSOL, C. A. **Relações entre características do solo, crescimento e produtividade em povoamentos implantados de *Araucaria angustifolia*.(Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo - RS**. Santa Maria: UFSM, 1982. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centre de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 1982.
- DE HOOGH, R. J.; DIETRICH, A. B. Classificação de sítio, tabela de volume e de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal**, Brasília, n.36, p. 58-82, 1978.
- DE HOOGH, R. J., DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucária angustifolia*(Bert.) O. Ktze. em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal** , v.10, n.37, p.19-71, 1979.
- DE HOOGH, R. J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia*. (Bert.) O. Ktze. In Southern Brasil**. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universitat, 1981. 161p. Tese (Ph. D.) – Albert-Ludwigs-Universitat, 1981.
- FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria:FATEC/UFSM,1992. 269p.
- GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 6, p. 7-62, 1967.
- HOPPE, J. M. **Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de incremento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., na FLONA de Passo Fundo, RS**. Curitiba: UFSM, 1980. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1980.

- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: Prentice Hall International, 1982. 607 p.
- LASSERE, S. R., VAIRETTI, M., LASSERE, E. N. E. Crescimento de *Araucaria angustifolia*.(Bert.) O. Ktze., em distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA**, n.7, p.36-45, 1972. (Suplemento florestal).
- LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Passo Fundo-RS**. Curitiba: UFPR, 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1997.
- LOWRY, G. L. Black. Spruce quality as related to soil and other site conditions. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.39, n.1, p.125-131, 1975.
- MADER, D. L. Soil-site productivity for natural stands of white Pine in Massachusetts. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, Madison, v.40, n.1, p.112-15, 1976.
- MALLO, F. **Analisis de componentes principales y tecnicas factoriales relacionadas**: teoria, computacion y aplicaciones. Leon: Universidad de Leon, 1985. 523p.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41p.
- NEMETH, J. C.; DAVEY, C. B. Site factors and net primary productivity of Young Loblolly Pine and slash plantations. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.38, n.6, p.968-970, 1974.
- OLIVEIRA, B. As regiões de ocorrência normal de *Araucaria angustifolia*. **An. Bras. Econ. Flor.**, Rio de Janeiro, v.1, p.185-199, 1948.
- REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; SOUZA, M. L. de P. **Classificação de sítio para *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Pinus elliotii* no 2º Planalto do Paraná**: relatório final. Curitiba: FINEP/UFPR, 1990. p.2-286: Sub-projeto I: nutrição.
- SILVA JUNIOR, M. C. da. **Composição florística, estrutura e parâmetro fitossociológico do cerrado e sua relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG**. Viçosa: UFV, 1984. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- VAN GOOR, C. P. Classificação da capacidade da terra em relação ao reflorestamento com *Pinus elliotii* Eng. Var. *elliottii* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v.4, p.349-366, 1965.
- VAN LAAR, A. Biomass parameters in studies of the effect of site and silviculture on production. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Kyoto. **Anais...Kyto: IUFRO**, 1981. p. 120-124.