



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**LIMITES DE PRECAUÇÃO E CONTROLE EM  
ANÁLISES DE TECIDOS VEGETAIS DE ESPÉCIES  
FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**RAFAEL AUGUSTO ROSSATO DE ROSSATO**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2006**

**LIMITES DE PRECAUÇÃO E CONTROLE EM ANÁLISES DE  
TECIDOS VEGETAIS DE ESPÉCIES FLORESTAIS**

**por**

**Rafael Augusto Rossato de Rossato**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal,  
área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

**Mestre em Engenharia Florestal**

**Orientador: Prof. Dr. Alessandro Dal'Col Lúcio**

**Santa Maria, RS - Brasil  
2006**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Dissertação de Mestrado

**LIMITES DE PRECAUÇÃO E CONTROLE EM ANÁLISES DE  
TECIDOS VEGETAIS DE ESPÉCIES FLORESTAIS**

elaborada por  
**Rafael Augusto Rossato de Rossato**

como requisito para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

-----  
**Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr.  
(Presidente/ Orientador)**

-----  
**Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techN.**

-----  
**Lindolfo Storck, Dr.**

Santa Maria, 23 de junho de 2006.

## **Agradecimentos**

Ao Alessandro Dal'Col Lúcio e Mauro Valdir Schumacher, pelos conselhos, amizade, conhecimento e experiência adquiridos.

Ao Leonardo de Oliveira, Edison Bisognin Cantareli, Eduardo Righi dos Reis e Fabiano de Oliveira Fortes, pela ajuda nos trabalhos, amizade e convivência diária.

Aos Prof. Paulo Renato Schneider, Solon Jonas Longhi e César Augusto Guimarães Finger, pelas orientações e supervisão na elaboração e confecção de trabalhos e congressos.

A Silvana Rosso, Dalva Terezinha Pauleski, Magda Lea Bolzan Zanon e Juliana Fernandes Gomes, pelas orientações e amizade.

Ao Augusto Bolzan Murari, pelo companheirismo e superação.

A todos da área do Laboratório de Ecologia Florestal, de Manejo Florestal e de Fitotecnia, por permitir o acesso a recursos essenciais.

A UFSM, pela oportunidade do curso.

A minha família, pelo apoio constante.

A mim, por não desistir.

A Deus, por existir.

## RESUMO

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Universidade Federal de Santa Maria

### LIMITES DE PRECAUÇÃO E CONTROLE EM ANÁLISES DE TECIDOS VEGETAIS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Autor: Rafael Augusto Rossato de Rossato

Orientador: Alessandro Dal'Col Lúcio

O presente trabalho teve como objetivo definir qual é a distribuição de probabilidade que os resultados de análises nutricionais se ajustam, selecionando uma função que melhor explica o comportamento dos teores e estimar os valores limites dos macro e micronutrientes para sua classificação nos diversos tecidos vegetais. Foram utilizados 176 conjuntos de dados coletados em 15.534 análises nutricionais de três espécies florestais, *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., realizadas durante o período de 1999 a 2004 e determinadas no Laboratório de Ecologia florestal, da UFSM. As análises foram separadas em subgrupos por macro e micronutrientes, componente vegetal (folhas, galhos, casca, madeira, raiz, etc.), espécie e ano de determinação. O banco de dados passou pela determinação das estatísticas descritivas média, desvio padrão, número de observações, valores máximo e mínimo. Para verificar se os dados seguiam a distribuição Normal, foi aplicado o teste de Lilliefors. Nos casos onde o teste não foi normal, foram testadas as funções Log-normal, Beta, Gamma e Weibull, via teste de Kolmogorov-Smirnov, com alfa 5%. Foi possível determinar que 70% do total avaliado seguiam alguma das funções, sendo que a Normal apresentou 33,5% de ajustes, a Log-normal 27,3%, a Gamma 3,4%, a Weibull 5,7% e a função Beta não apresentou nenhum ajuste. Do total de conjunto de dados avaliados, 30,1% não se aderiu a nenhuma das funções. As funções estudadas, com exceção da Beta, podem explicar a distribuição dos resultados das análises químicas de tecidos vegetais e estabelecer limites de controle dos teores de elementos químicos em cada espécie.

Palavras-chave: *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., distribuição de probabilidade, Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov.

## ABSTRACT

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### PRECAUTION LIMITS AND CONTROL LIMITS IN VEGETABLES TISSUES ANALYSIS OF FOREST SPECIES

Autor: Rafael Augusto Rossato de Rossato

Orientador: Alessandro Dal'Col Lúcio

The present work has objective to define which is the distribution of probability that analysis of nutritional contents are adjusted, selecting a function that better explain its behavior and to estimate the limits values of nutrients contents for its classification on several vegetables tissues. It were used 176 dataset collected from 15,534 nutritional analysis of three forest species, *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp., determined for 1999 to 2004 period, in Forest Ecological Laboratory, in UFSM. The analysis were separated by subgroups in macro and micronutrients, vegetables components (leaves, bark, wood, root), species and year of determination. The database determination through its statistical describe with mean, standard-deviation, number of observations, maximum and minimum values. To check if the dataset adjusts a Normal distribution, it was applied the Lilliefors Test. Where the dataset didn't adjust the Normal, it was tested the functions Log-normal, Beta, Gamma and Weibull through Kolmogorov-Smirnov Test, with 5%. It was possible determined that 70% of all dataset valued adjusts one of functions, being the Normal presented of 33.5% of settlements, the Log-normal 27.3%, the Gamma 3.4%, the Weibull 5.7% and the Beta function didn't presented no one settlement. Of all amount dataset valued, 30.1% didn't adjust any one functions. The studied functions, exception Beta, can explain the results from chemical analysis of vegetables tissues and established the control limits of nutrient contents in each species.

Key-words: *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., distribution of probability, Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Erros em determinações e análises de laboratório.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Controle de qualidade e de resultados.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Os gêneros <i>Acacia</i>, <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Variação nos teores de nutrientes.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Distribuição de probabilidade e testes de aderência.....</b>	<b>17</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Estatísticas descritivas.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Identificação das distribuições de probabilidade.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Limites de controle e de precaução.....</b>	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>6 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As análises de nutrientes em tecidos vegetais de espécies florestais, como qualquer tipo de análise, estão sujeitas aos diversos tipos de erros. Como os erros são inevitáveis, o importante é mantê-los sob controle (CANTARELLA et al., 2001), pois ocorrem durante o processo de preparação das amostras ou na determinação quantitativa ou qualitativa dessas amostras.

Ao obter resultados analíticos de amostras químicas, os valores podem apresentar erros aleatórios, que só serão detectados por meio de procedimentos estatísticos, ou erros sistemáticos, decorrentes de erros cometidos ou causados por equipamentos, calibrações ou procedimentos. Os valores ou medidas resultantes das análises devem ser exatos e precisos, indicando que o valor é o mais próximo possível do verdadeiro e pode ser reproduzido em análises independentes. Erros de exatidão e tendenciosidade não são incomuns em laboratórios (CANTARELLA et al., 2001).

Geralmente obtêm-se resultados diferentes ao medir várias vezes uma mesma grandeza, de tal modo que, se um laboratório estiver funcionando adequadamente, os resultados obedecem a uma distribuição normal, em que os dados são distribuídos simetricamente em torno de um valor central, a média (COSTA NETO, 1977). Esta distribuição fornece a base estatística para a delimitação do intervalo, dentro do qual um resultado analítico deve ficar para ser considerado correto, com um determinado nível de probabilidade de erro.

Diversos fatores aleatórios contribuem para a incerteza de qualquer medida ou determinação. Diante disto, os critérios de avaliação da qualidade dos resultados de uma análise devem ser embasados em valores numéricos. Assim, a determinação de valores de controle dos resultados é a melhor alternativa para a indicação imediata de desvios da qualidade dentro de limites pré-determinados, evitando a baixa precisão ou exatidão de um resultado. O controle de resultados de laboratório, via definição dos limites de controle de resultados, visa a decidir se resultados produzidos são aceitáveis ou devem ser descartados. Os valores encontrados devem girar em torno da média dos resultados, não ultrapassando um limite inferior e um limite superior estabelecido num intervalo de confiança com erro pré-definido.

O problema da pesquisa consiste em determinar a distribuição estatística dos resultados encontrados nas análises de nutrientes em tecidos vegetais, nos quais a amplitude



desses resultados não resulte na extrapolação dos mesmos dentro de uma distribuição ajustada. Independentemente de o resultado ser considerado como um teor alto, médio ou baixo para as necessidades nutricionais das plantas, a determinação dos limites deve abranger essa amplitude de resultados.

Atualmente, os resultados em análises de nutrientes dos componentes vegetais são determinados quantitativamente em concentrações ou teores dados em % ou  $\text{g kg}^{-1}$ , para macro-nutrientes, e  $\text{mg kg}^{-1}$  ou ppm, para micronutrientes. A distribuição dos nutrientes em diversos componentes de uma árvore é muito variada, pois um tecido pode conter diversos teores de um nutriente em função da distribuição na planta. O conhecimento dessa distribuição pode contribuir para os estudos das espécies, a fim de suprir suas necessidades nutricionais, favorecendo um ciclo nutricional fechado e reduzindo a exportação de nutrientes. Dessa forma, contribui para a sustentabilidade do ecossistema florestal.

As quantidades de nutrientes acumulados em componentes exportados da área de produção florestal, como a madeira e a casca, são muito distintas em acácia, pinus e eucalipto, mas a sua quantificação pode influenciar em um manejo adequado que resulte em grande economia de nutrientes para o estoque da área, com elevada repercussão sobre o seu potencial produtivo (GONÇALVES, 1995).

Os conteúdos dos nutrientes na planta identificados pela análise química de tecidos refletem o estado nutricional dessa planta e a fertilidade do solo, sendo uma ferramenta importante para avaliar e determinar as condições de crescimento de um povoamento florestal. As plantas apresentam sintomas visuais de deficiências nutricionais comprovados nas análises, cujos resultados são comparados com teores obtidos em plantas com boas taxas de crescimento e sem sintomas visuais. Atualmente, são estabelecidos intervalos de teores de cada nutriente no tecido que indicam deficiência, suficiência ou excesso. Porém, as maiores dificuldades encontradas nesse método relacionam-se com a interpretação dos resultados, falta de conhecimento das exigências nutricionais da planta e curvas de calibração dos nutrientes (GONÇALVES, 1995).

Diante disto, o trabalho tem como objetivos identificar a distribuição de probabilidade a qual os resultados dos teores de elementos químicos avaliados se aderem e estimar os valores limites dos teores de macro e micronutrientes presentes nos diversos tecidos vegetais, em três espécies florestais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Erros em determinações e análises de laboratório

Os erros podem ser agrupados em duas categorias: os indeterminados (ou aleatórios) e os sistemáticos (ou determinados). Os indeterminados ocorrem aleatoriamente, não possuem valores definidos e só podem ser considerados por meio de procedimentos estatísticos, enquanto os sistemáticos possuem valores definidos e o resultado, em princípio, pode ser corrigido (CANTARELLA et al., 2001). Exemplos de erros sistemáticos, como os causados por calibrações inadequadas de buretas, pipetas e balanças são citados pelos autores, bem como limitações dos equipamentos do laboratório, dilatação de balões volumétricos devido a temperatura e procedimentos analíticos viciados ou impróprios. Existem outros fatores que inflacionam o erro que se destacam como sendo as principais fontes de erro, tais como a heterogeneidade das amostras e do material amostral (FEDERER, 1977; STORCK et al., 2000).

Os erros pessoais são uma importante fonte de erro sistemático e podem advir da incapacidade de algumas pessoas em fazer certas observações, segundo Baccan et al. (1985). O erro de prejulgamento ou preconceito é um erro pessoal grave e surge quando se forçam resultados de determinações de uma mesma amostra para obter valores concordantes entre si. Isso pode ocorrer quando se conhece as amostras-controle utilizadas para verificação da qualidade dos resultados.

A tendência, também denominada viés ou *bias*, representa a diferença constante do valor determinado com o valor verdadeiro, sendo uma medida do erro sistemático. A precisão está relacionada à capacidade de reprodução de um valor em medidas independentes realizadas em um mesmo dia ou em dias diferentes (CANTARELLA et al., 2001). Os mesmos autores afirmam que os resultados das análises podem apresentar boa exatidão (valores próximos do verdadeiro), mas com baixa precisão (os valores não se reproduzem satisfatoriamente) ou vice-versa, reproduz sempre o mesmo valor, porém, longe do valor verdadeiro, dando origem a resultados tendenciosos. Conceitualmente, quando a influência dos erros indeterminados tende a zero, caracterizando boa precisão, a exatidão das medidas dependerá essencialmente dos erros sistemáticos cometidos.

O uso de amostras de referência com composição conhecida e a participação em programas interlaboratoriais são medidas eficazes para melhorar a exatidão dos resultados

(CANTARELLA et al., 2001), enquanto o controle da precisão depende mais do uso de amostras-controle, repetições e outros procedimentos.

## **2.2 Controle de qualidade e de resultados**

O controle de qualidade é um sistema amplo e complexo que visa estabelecer, melhorar e assegurar a qualidade dos valores em níveis econômicos, de precisão e exatidão, reduzindo os erros para atender às necessidades de quem utiliza esses resultados (LOURENÇO FILHO, 1982).

Já o controle de resultados realizados em laboratórios tem como objetivo decidir se os resultados analíticos produzidos são aceitáveis ou devem ser descartados. Diante disso, Cantarella et al. (2001) descrevem que os critérios de avaliação do desempenho instrumental e da qualidade dos resultados de uma análise devem ser embasados em valores numéricos, denominados variáveis. Em uma determinação, sempre é observada uma medida quantitativa, em que a concentração ou a quantidade da espécie contida na amostra é derivada desta observação.

As variáveis são um tipo de resultado numérico, dentro de uma escala, que pode ser dividida ilimitadamente, podendo tomar qualquer valor dentro da escala, porém, fica limitada pela precisão do processo de medir (LOURENÇO FILHO, 1982). Se uma mesma medida for repetida  $n$  vezes, os valores das respostas analíticas provavelmente não serão os mesmos em cada observação (CANTARELLA et al., 2001). O termo usado para descrever essa variação é a estimativa do desvio padrão ( $s$ ). O desvio padrão relativo ( $s_r$ ) é o valor de  $s$  dividido pela média, geralmente conhecido como Coeficiente de Variação (CV), quando expresso em porcentagem.

Diversos fatores aleatórios, tais como variações no ajuste de instrumentos, erros nas medidas de massa, volume e tempo, contaminação dos reagentes, variações nos números de fótons emitidos ou absorvidos, etc., contribuem para a incerteza de qualquer medida ou determinação. Por isso, atualmente, grandes empresas de diversos ramos e setores adotam o controle estatístico da qualidade e de resultados para estabelecer e manter seus níveis de qualidade, tanto operacionais como experimentais. Na Aracruz Celulose, indústria de celulose e reflorestamento, a aplicação direta de procedimentos de controle estatístico de resultados em atividades e operações industriais, laboratoriais e florestais, na silvicultura, colheita e transporte, permite estabelecer critérios para melhoria da qualidade dos serviços prestados e da elaboração do produto final (ARACRUZ CELULOSE, 2004).

Quando se torna difícil o controle de certos processos contínuos, Eleoterio et al. (1996) recomendam que a melhor alternativa é utilizar gráficos de controle, que têm como função principal a indicação imediata de tendências de desvios da qualidade nos limites predeterminados. Além de indicar a ultrapassagem desses limites, os gráficos servem, principalmente, para controle de influências responsáveis pela qualidade insatisfatória dos resultados.

Os principais dispositivos para o controle da produção de resultados são os gráficos de controle, que são procedimentos adotados com o objetivo de indicar, de forma simples e eficiente, um eventual descontrole na obtenção dos valores (BRAVO, 1995). O mesmo autor descreve o gráfico de controle de Walter Shewhart, criado em 1924, que consiste em três linhas paralelas: uma linha central, que reflete o nível de operação do processo, e duas linhas externas, denominadas limite de controle superior (LCS) e limite de controle inferior (LCI). Esse gráfico considera que, mesmo sob controle, em um processo, ocorrem variações inevitáveis passíveis de controle estatístico (LOURENÇO FILHO, 1982).

Um dos gráficos mais utilizados para controle de variáveis é o gráfico  $\bar{x} - R$ , em que  $\bar{x}$  é média e R amplitude (CUNHA, 1997). Mas quando o tamanho da amostra é composto por um número elevado de observações ( $n > 10$ ), os gráficos  $\bar{x} - s$  (média menos desvio padrão) são os mais usados ao invés do  $\bar{x} - R$ . Diante disto, Siqueira (1997) concluiu que as cartas de controle dependem, em parte, do tamanho da amostra e do tipo de dado que se quer analisar.

Um processo sob controle pressupõe que o conjunto de resultados tenha uma distribuição normal estável, em que a média e o desvio padrão permanecem constantes. Quando a variabilidade se torna anormal, as alterações nos parâmetros indicam que os resultados estão fora de controle (LOURENÇO FILHO, 1982).

Ao medir várias vezes uma grandeza, geralmente obtém-se resultados diferentes em cada medição, de tal modo que, se o laboratório estiver funcionando adequadamente e o tamanho da amostra for grande ( $n$  observações), os resultados devem obedecer a uma distribuição normal (Gaussiana) com média  $\bar{x}$  e desvio padrão  $s$ , de acordo com o Teorema do Limite Central, descrito por Costa Neto (1977). Nessa distribuição, os dados são distribuídos simetricamente em torno de um valor central à média, sendo representada por uma curva em forma de sino. Essa curva fornece a base estatística para a delimitação do intervalo, dentro do qual um resultado analítico deve ficar, para ser considerado correto, com um determinado nível de probabilidade. A área sob essa curva é delimitada pelos intervalos

compreendidos entre  $\bar{x} \pm s$ ,  $\bar{x} \pm 2s$  e  $\bar{x} \pm 3s$ , em que  $\bar{x}$  é a média e  $s$  o desvio padrão, que contém 68,2, 95,4 e 99,7% dos dados, respectivamente, incluídos nessa área.

A interpretação dos gráficos de controle é obtida dividindo-se a amplitude de resultados entre os limites de controle superior e inferior em faixas de porcentagens, em que 68% dos resultados giram em torno do valor central e os outros 32% aproximam-se dos limites superior e inferior, indicando se um processo encontra-se sob controle ou não (SIQUEIRA, 1997). Klesta & Bartz (1996) sugerem que os gráficos de controle para análises de nutrientes podem ter um limite de precaução igual a  $\bar{x} \pm 2s$  enquanto os limites de rejeição devem ser de  $\bar{x} \pm 3s$ .

### 2.3 Os gêneros *Acacia*, *Eucalyptus* e *Pinus*

O gênero *Acacia*, da família Leguminosae, é originário da Austrália e abrange espécies de porte arbustivo e arbóreo com ocorrência em povoamentos puros ou mistos, distribuídas nas zonas leste, sul, sudeste e nordeste do território australiano, também ocupando uma pequena área nas zonas áridas. Esse gênero compreende aproximadamente 700 espécies (TURNBULL, 1987; LAMPRECHT, 1993). No Rio Grande do Sul, sua introdução deve-se a Alexandre Bleckmann, em 1918, mas somente 10 anos após, Júlio C. Lohmann realizava os primeiros plantios com objetivos comerciais, no município de Estrela, com finalidade de produção de madeira para lenha, carvão, celulose e aproveitamento da casca com alto teor de tanino, usado em indústrias de couro (OLIVEIRA, 1960).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e também é originário da Austrália, onde dominam a vegetação em 90% do território, com mais de 600 espécies distribuídas em florestas tropicais, zonas tropicais, zonas de clima mediterrâneo e algumas em zonas áridas. Com árvores de porte arbóreo gigantesco, fuste reto e alta adaptação, assume importância silvicultural em todo o mundo. No Brasil, após a introdução, em 1903, para construção de estradas de ferro e alta adaptação que proporcionou uma revolução silvicultural, são as árvores mais cultivadas em povoamentos puros por serem pouco exigentes, de crescimento rápido e grande produtividade de madeira, usada para celulose, lenha, carvão, chapas, moirões, postes e construção civil (MARCHIORI, 1997).

Já o gênero *Pinus*, que corresponde, em latim, ao nome pinheiro, reúne cerca de 90 espécies distribuídas nas regiões temperadas do Hemisfério Norte. São árvores valorizadas por causa da qualidade da madeira produzida, utilizada para fins construtivos, mobiliário, celulose e resina. No Brasil, são largamente cultivados em povoamentos homogêneos, com

amplas condições ecológicas que atendem às diversas exigências das espécies plantadas (MARCHIORI, 1996).

#### **2.4 Variação nos teores de nutrientes**

O teor ou concentração de nutriente encontrado nas espécies e nos diversos componentes das plantas, com diferentes idades ou desenvolvidas em sítios distintos, pode ser muito variável. Diante disso, vários autores, como Simões et al. (1973), Reissmann et al. (1976), De Hoogh (1981), Binkley (1986), Gonçalves et al. (2000) e Schumacher et al. (2002), salientam algumas considerações sobre o *status* nutricional das espécies em diversas condições, o que possibilita a melhor compreensão das faixas de nutrientes classificadas nos limites de controle, bem como indicar uma orientação para estudos futuros envolvendo a classificação de sítios e determinação de nutrientes em espécies florestais.

Ao comparar os teores de nutrientes em árvores com diferentes idades, Reissmann et al. (1976) encontraram diferença significativa para o nutriente nitrogênio (N), potássio (K), ferro (Fe) e manganês (Mn), enquanto para o fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) não ocorreram variações significativa entre as idades. Já De Hoogh (1981) não encontrou diferenças entre árvores mais novas e mais velhas, enquanto Simões et al. (1973) encontraram valores baixos para N e K nas árvores mais novas comparadas com as mais velhas.

A distribuição vertical de nutrientes na copa das árvores está relacionada com os diversos tipos de solos e condições fisiológicas locais, em que elementos como o P, K, Ca e Mg mostram variações regulares de acordo com a posição das amostras de folhas na copa (DE HOOGH, 1981). O autor também destaca condições anormais de umidade que influenciam na redução dos teores de N, P, zinco (Zn) e cobre (Cu) após uma seca extrema.

Variações sazonais significativas nos teores de nutrientes em uma mesma árvore foram observadas por Reissmann et al. (1976), nas quais os níveis de N, P e K mostraram um padrão de oscilação nas amostras coletadas entre o verão e o inverno. Binkley (1986) também demonstrou pequenas flutuações nos teores de N em acículas novas e velhas em relação à época do ano. Essas variações diferem consideravelmente entre as espécies de pinheiro e podem ser explicadas pela translocação interna de nutrientes e mudanças no padrão de crescimento fisiológico.

Os teores de nutrientes são maiores nas partes mais ativas metabolicamente das plantas, como folhas e brotações, devido ao seu envolvimento em relações enzimáticas e compostos bioquímicos de transferência de energia e transporte eletrônico, enquanto as

menores concentrações de micronutrientes são encontradas na madeira. Contudo a maioria dos nutrientes encontra-se na madeira devido à sua maior massa seca (GONÇALVES et al., 2000). Esses autores destacam os efeitos das variações sazonais em plantios de eucaliptos com diferentes idades, quando as plantas apresentaram sintomas de deficiência de enxofre, cálcio, boro e zinco no inverno, após um verão e outono quente e chuvoso, com altas taxas de crescimento e demandas nutricionais. No inverno frio e seco, ocorreu redução da disponibilidade e absorção dos nutrientes, que foi retomado no fim da estação, quando ocorreram algumas semanas de temperaturas mais elevadas e chuvas, desaparecendo, assim, os sintomas de deficiência.

Os teores dos nutrientes nas árvores de uma mesma espécie variam com a qualidade do sítio, estação do ano, idade do povoamento, componente analisado, localização na copa e condições climáticas (BINKLEY, 1986), bem como das atividades silviculturais realizadas, como adubações e tratamentos culturais. Um efeito descrito pelo autor na variação dos teores de P ocorre por causa da translocação do elemento e aumento do conteúdo de carboidratos durante uma estação de crescimento.

Em *Acacia mearnsii*, com plantio misto de eucalipto, Vezzani (1997) encontrou os teores de N, P, K, Ca e Mg nas folhas com valores médios de 23,4 g kg<sup>-1</sup>; 0,9; 8,6; 6,3 e 2,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Nos galhos, os valores foram de 5,6 g kg<sup>-1</sup>; 0,3; 5,3; 5,5 e 1,6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Na casca, foram 11,1 g kg<sup>-1</sup>; 0,3; 5,9; 6,3 e 0,6 g kg<sup>-1</sup> e na madeira foram 1,8 g kg<sup>-1</sup>; 0,1; 1,8; 0,6 e 0,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

A concentração de nutrientes em *Eucalyptus* sp., principalmente nas folhas, é função de vários fatores, como: material genético, solo, clima, práticas culturais, doenças e pragas, posição da folha na copa e nos ramos (SILVEIRA et al., 2000). Diferenças na composição mineral das folhas em espécies de eucaliptos distintas foram encontradas por Haag et al. (1976), principalmente para os micronutrientes. O teor de N nas espécies *Eucalyptus grandis*, *E. microcorys*, *E. resinifera*, *E. robusta* e *E. saligna* variou de 14,1 a 21,1 g kg<sup>-1</sup>; o P variou de 0,8 a 1,2; o K de 2,7 a 4,8; o Ca de 2,7 a 5,0; o Mg de 1,1 a 1,7 g kg<sup>-1</sup> e o teor de S variou de 1,6 a 2,5 g kg<sup>-1</sup>. Com relação aos micronutrientes, este autor encontrou variação de 19 a 28 ppm para o B, de 5 a 7 para o Cu, de 72 a 94 para o Fe, 344 a 459 para o Mn e de 29 a 37 ppm para o Zn. No entanto, Dell et al. (1995) encontrou faixas que variam entre 11 e 34 g kg<sup>-1</sup> para N; 1,0 e 3,1 para P; 8 e 18 para K; 2,1 e 13 para Ca; 0,8 e 6,4 para Mg e 1,2 e 2,9 g kg<sup>-1</sup> para o macronutriente S. Nos micronutrientes, o autor encontrou teores entre 12 e 52 mg kg<sup>-1</sup> para B; 1,7 e 24 para Cu; 33 e 709 para Fe; 100 e 2.316 para Mn e 9 e 50 para o elemento Zn.

Em folhas de *Eucalyptus grandis*, com oito anos de idade, Gonçalves et al. (2000) encontraram concentração média de 18,3 g kg<sup>-1</sup> de N; 0,6 de P; 9,7 de K; 4,3 de Ca; 2,8 de Mg; 22 mg kg<sup>-1</sup> de B; 7 de Cu; 160 de Fé; 530 de Mn e 23 de Zn. Já no estrato galhos, a concentração de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn foi 4,7 g kg<sup>-1</sup>; 0,3; 7,5; 2,3; 0,9; 17 mg kg<sup>-1</sup>, 7, 110, 637 e 13, respectivamente.

A concentração de nutrientes em folhas, galhos, casca e madeira de *Eucalyptus saligna* foi determinada por Vezzani (1997), sendo encontrado, nas folhas, o teor médio de N = 14,6 g kg<sup>-1</sup>, de P = 1,0 g kg<sup>-1</sup>, de K = 7,7 g kg<sup>-1</sup>, de Ca = 6,5 g kg<sup>-1</sup> e de Mg = 2,9 g kg<sup>-1</sup>. Nos galhos, os teores de N, P, K, Ca e Mg foram 2,8 g kg<sup>-1</sup>; 0,4; 5,9; 4,6 e 0,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Na casca, foram 3,0 g kg<sup>-1</sup>; 0,9; 6,9; 19,5 e 2,9 g kg<sup>-1</sup> e na madeira foram 1,2 g kg<sup>-1</sup>; 0,2; 1,8; 0,7 e 0,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os teores considerados adequados para folhas de *Eucalyptus* sp. foram descritos por Gonçalves (1995) como de 13 a 18 g kg<sup>-1</sup> para N, 0,9 a 1,3 g kg<sup>-1</sup> para P, 9 a 13 g kg<sup>-1</sup> para K, 6 a 10 g kg<sup>-1</sup> para Ca, 3,5 a 5 g kg<sup>-1</sup> para Mg e 1,5 a 2 g kg<sup>-1</sup> para S. Os micronutrientes variam de 30 a 50 mg kg<sup>-1</sup> para B, 35 a 50 para Zn, 150 a 200 para Fe, 400 a 600 para Mn e 7 a 10 mg kg<sup>-1</sup> para Cu.

Em *Pinus taeda*, os maiores teores de N, P, K, Ca e Mg encontraram-se no componente acícula e os menores teores na madeira do tronco, de acordo com os resultados apresentados por Schumacher et al., 2002. O teor de nitrogênio encontrado nas acículas está próximo da faixa adequada para as folhas de *Pinus* sp., que vai de 12 a 13 g kg<sup>-1</sup> (DE HOOG, 1981; MALAVOLTA et al. 1997).

Os teores de nutrientes analisados em acículas de *Pinus* sp. foram determinados, segundo Zöttl (1973), entre faixas que variam de 15 a 22 g kg<sup>-1</sup> para N, 1,3 a 2,0 para P, 6 a 12 para K, 1 a 5 para Ca, 1 a 2 para Mg, 45 a 200 mg kg<sup>-1</sup> para Fe, 20 a 800 para Mn, 4 a 6 para Cu, 10 a 80 para Zn e 15 a 33 para B. De Hoogh (1981) demonstrou valores para acículas de *Pinus* sp. variando entre 10,6 g kg<sup>-1</sup> a 17,9 para N; 0,7 a 1,7 para P; 5 a 11,5 para K; 1,7 a 5 para Ca; 0,5 a 1,7 para Mg; 42 a 486 mg kg<sup>-1</sup> para F; 71 a 1.030 para Mn; 3 a 15 para Cu; 15 a 79 para Zn e 4 a 33 para B. A variação dos teores de nutrientes em acículas de *Pinus* sp. ocorreram devido a vários fatores, como a espécie, a idade das árvores, o sítio, a posição na copa, a época de coleta das amostras e as atividades silviculturais.

Portanto, com relação à variação dos nutrientes em componentes arbóreos de *Pinus* sp., bem como nos estratos vegetais das outras espécies, fica claro que as tendências apresentadas não seguem um padrão e são, aparentemente, dependentes das condições climáticas e edáficas de cada sítio e fisiológicas em cada espécie (DE HOOGH, 1981).



## 2.5 Distribuição de probabilidade e testes de aderência

As distribuições de frequência de dados permitem conhecer o comportamento desses dados e inferir sobre a sua ocorrência durante determinado período de tempo. Diversas áreas em pesquisa utilizam as distribuições para mostrar a probabilidade de ocorrência de um evento, como é o caso da climatologia, principalmente para precipitações pluviais, em que o comportamento das distribuições das chuvas pode fornecer subsídios para determinar períodos críticos característicos de uma região, tendo-se condições de planejar o manejo de culturas sem prejuízo conseqüentes de secas ou excesso de chuvas (BOTELHO & MORAIS, 1999). Já Cargnelutti Filho et al. (2004) estudaram a adequação das distribuições Normal, Log-Normal, Gama, Gumbel e Weibull à incidência da radiação solar global em 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, encontrando adequação de todas as funções em 98% dos casos e apresentando melhor ajuste à função de distribuição de probabilidade Normal.

Uma das distribuições mais usadas para dados pluviométricos é a Distribuição Gama, sendo necessários dados de, no mínimo, 30 anos para que o tamanho da amostra seja representativo (FRIEDMAN & JANES, 1957). Ao estudar as precipitações mensais em Lavras, MG, Castro Neto & Silveira (1981) determinaram os meses de junho, julho e agosto como os de menores precipitações prováveis e os meses de outubro a março os de maiores ocorrência de chuvas, baseados na distribuição de probabilidade Gama. Já Assis (1991) elaborou modelos para descrever a quantidade de chuva ocorrida semanalmente em Pelotas, RS, e concluiu que pode ser representada pela função de probabilidade de distribuição gama.

Para verificar a adequação de uma função de distribuição a um conjunto de dados, existem diversos testes que servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, comprovando-se que os valores da amostra podem ser considerados provenientes de uma população com aquela distribuição (CAMPOS, 1983). Os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS), Lilliefors e Qui-quadrado são exemplos desses testes.

O teste KS é baseado no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada, que é comparado com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste, em um determinado nível de significância (CATALUNHA et al. 2002). Esse valor determina a não-rejeição da hipótese de nulidade ( $H_0$ ), indicando maior aderência dos dados à distribuição em teste.

O teste de Lilliofors é mais eficiente que o KS, porém é específico para verificar a aderência dos dados amostrais à distribuição normal. Já o teste Qui-quadrado apresenta limitações quanto à frequência e perda de informações devido ao agrupamento dos dados em classes, o que não ocorre no KS, que pode ser realizado com dados agrupados ou isoladamente em pequenas amostras, ou seja, menos de 30 observações (CAMPOS, 1983).

Na área florestal, a adequação das funções de densidade probabilísticas Normal, Log-normal, Beta, Gamma, Weibull e Sb de Johnson foi estudada por Bartoszeck et al. (2004), em distribuição de classes diamétricas combinadas com a idade, sítio e densidade de árvores por hectare em povoamentos de bracatinga. Os autores detectaram a função Sb de Johnson como a de melhor desempenho por apresentar os menores valores encontrados no teste KS, apesar de todas as combinações de dados apresentarem aderência às funções testadas. Resultados similares foram encontrados por Finger (1982), em *Acacia mearnsii*, e por Thiersch (1997) em *Eucalyptus camaldulensis*, quando ambos os autores comprovaram, através do KS, que a função Sb de Johnson é a que melhor representa a distribuição diamétrica para essas espécies nas condições estudadas. Já Scolforo & Machado (1996), realizaram simulações de crescimento e desbastes a partir da distribuição de classes diamétricas de *Pinus caribea* var. *hondurensis*, estudadas pela função de probabilidade de Weibull. O mesmo resultado foi obtido por Abreu et al. (2002) ao determinarem a função Weibull, via teste KS, como a mais precisa para estimar a frequência em classes diamétricas de um povoamento de *Eucalyptus grandis*.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

No trabalho foi usado o banco de dados dos resultados das análises realizadas entre os anos de 1999 e 2004, compostos por planilhas (Microsoft Excel), com 1.498 amostras, contendo 15.534 determinações, apresentando os teores de cada nutriente em cada amostra do Laboratório de Ecologia Florestal, do Departamento de Ciências Florestais, do Centro de Ciências Rurais, na Universidade Federal de Santa Maria.

As espécies florestais analisadas no laboratório foram *Acacia mearnsii* De Wild., *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., sendo divididas em amostras por componentes das árvores, como folhas e acículas, casca, galhos, madeira, raízes, flores e frutos.

Para o levantamento dos dados referentes às análises nutricionais das amostras, foram coletados todos os resultados de nutrientes (macro ou micronutrientes), identificando-se a qual componente ele pertence (folha, casca, galho, madeira, raiz, flor ou fruto) para cada uma das espécies mais freqüentes estudadas (*Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp.). Os valores são determinados quantitativamente em concentrações ou teores dados em % ou g kg<sup>-1</sup>, para macro-nutrientes, e mg kg<sup>-1</sup> ou ppm, para micronutrientes.

Os dados referentes às amostras foram cadastrados identificando-se o ano, o nutriente, os componentes e a espécie analisada. Quando esses dados não constavam no cadastro, eles eram obtidos por meio da localização dos projetos cujas amostras serviram de referência ou no livro registro de amostras do laboratório.

Após a formação dos subgrupos, foram estimados a média e o desvio padrão para cada nutriente, dentro de cada componente e espécie estudada, bem como o número de observações (n) e os valores máximos e mínimos encontrados nos resultados das análises.

Para verificar se os dados obtidos seguiram à distribuição normal, foi aplicado o Teste de Lilliefors (CAMPOS, 1983), que estuda a adequação dos resultados à distribuição normal e sua respectiva transformação. Os resultados devem obedecer a uma distribuição normal (Gaussiana),

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2},$$

onde  $\mu$  é a média e  $\sigma$  é o desvio padrão da população.

Como a média e a variância foram estimadas a partir das amostras, obtém-se a variável reduzida  $Z_i$  por:

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s},$$

em que:

- $x_i$  = observação  $i$ ;
- $\bar{x}$  = média das observações  $x_i$ ;
- $s$  = desvio padrão.

Com o valor de  $Z_i$ , encontraram-se os valores de  $F(Z_i)$  tabelado para um nível  $\alpha$  de confiabilidade, e calculou-se  $S(Z_i)$  pela expressão:

$$S(Z_i) = \frac{k}{n},$$

em que:

- $k$  = somatório das classes, até a ordem  $i$ ;
- $n$  = número de observações.

Assim, pode-se construir o Quadro 1, como segue:

$X_i$	$Z_i$	$F(Z_i)$	$S(Z_i)$	$ F(Z_i) - S(Z_{i-1}) $
$X_1$	$Z_1$	$F_1$	$S_1$	$D_1$
$X_2$	$Z_2$	$F_2$	$S_2$	$D_2$
...	...	...	...	...
$X_n$	$Z_n$	$F_n$	$S_n$	$D_n$

Quadro 1 – Valores dos resultados ( $X_i$ ), valores tabelados  $F(Z_i)$ , valores calculados  $Z_i$ ,  $S(Z_i)$  e  $D_i$  para o conjunto de dados dos nutrientes, estratos e espécies

Em seguida, obteve-se:

$$D = \sup |F(Z_i) - S(Z_{i-1})|,$$

em que  $D$  é o maior valor de  $|F(Z_i) - S(Z_{i-1})|$  em módulo.

O teste de hipóteses estabelecido para distribuição normal foi:

$$H_0 : F = F_0 \quad \text{vs.} \quad H_1 : F \neq F_0$$

Se o D calculado for menor que o D tabelado em função de n e  $\alpha$ , não se rejeita  $H_0$ , ou seja, os dados podem ser estudados através da distribuição normal.

Para os casos em que os dados não seguem a distribuição normal, foi utilizado o Teste de Kolmogorov-Smirnov (1933), que testa a adaptação de uma específica e conhecida distribuição a dados provenientes de uma distribuição desconhecida, sendo um teste de aderência.

Nesse caso, considerou-se  $F(x)$  a proporção de valores esperados  $\leq x$ ;

$S(x)$  a proporção de valores observados  $\leq x$ ;

$F_0(x)$  a distribuição desconhecida de  $x$ .

Sendo assim, a  $S(x) = K/n$ , onde  $K$  é o número de observações de  $X_i < x$  e contínua, quando se construiu o Quadro 2 para organizar os dados.

$K_i$	$X_i$	$F(x_i) = x$	$S(x_i) = K/n$	$F(x_i) - S(x_{i-1})$	$F(x_i) - S(x_i)$	$ F(x) - S(x) $	$S(x) - F(x)$
K1	X1	x1	S1	$D^+1$	D1	D1	$D^-1$
K2	X2	x2	S2	$D^+2$	D2	D2	$D^-2$
...	...	...	...	...	...	...	...
$K_n$	$X_n$	$x_n$	1,00	$D^+_n$	$D_n$	$D_n$	$D^-_n$

Quadro 2 – Valores dos resultados  $X_i$  e  $K_i$ , valores tabelados  $F(Z_i)$ , valores calculados  $D_{i+1}$ ,  $D_i$ ,  $D_{i-1}$  e  $S(i)$  para o conjunto de dados dos nutrientes, estratos e espécies

A partir do quadro 2, obteve-se o valor:

$$D = \text{Sup}_x |F(x) - S(x)|,$$

em que  $D$  é o maior valor de  $|F(x) - S(x)|$  em módulo. O valor da estatística  $D$  informa a distância entre as probabilidades empíricas e as teóricas obtidas sob a função de distribuição de probabilidade em teste. O teste de hipóteses estabelecido para distribuição normal foi:

$$H_0 : F = F_0 \quad \text{vs.} \quad H_1 : F \neq F_0$$

Se o D calculado for menor que o D tabelado em função de  $n$  e  $\alpha$ , não se rejeita  $H_0$ , ou seja, os dados podem ser estudados pela distribuição testada. O nível de significância adotado foi de 5%.

As distribuições usadas para verificar a adequação dos dados através do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov foram a distribuição Log-normal, Beta, Gamma e Weibull com dois parâmetros. Essas distribuições permitem conhecer o comportamento de variáveis aleatórias contínuas (VAC), por apresentarem um conjunto de dados dentro de um intervalo de valores conhecidos.

Função densidade probabilidade (fdp) da distribuição Log-normal:

$$f(x) = \frac{1}{x(\sqrt{2\pi\sigma^2})} e^{-\frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\ln x - \mu\right)^2}{\sigma^2}}$$

Função densidade probabilidade (fdp) da distribuição Beta:

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(b-a)^{\alpha+\beta-1}} (x-a)^{\alpha-1} (b-x)^{\beta-1}$$

Função densidade probabilidade (fdp) da distribuição Gamma:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

Função densidade probabilidade (fdp) da distribuição Weibull com dois parâmetros:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$$

$f(x)$ : função densidade probabilidade da variável  $X$ ;  $\mu$ : média aritmética;  $\sigma$ : desvio padrão;  $\sigma^2$ : variância;  $\pi$ : constante “pi” (3,1416...);  $a$ : menor valor da variável observada;  $b$ : maior valor da variável observada;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ : parâmetros;  $\Gamma$ : função gama caracterizada por

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} u^{\alpha-1} e^{-u} \delta u \quad (\alpha > 0).$$

Nos casos em que os valores de probabilidade indicaram mais de uma distribuição (Log-Normal, Gamma, Beta ou Weibull) ajustada pelo teste KS foi usada aquela com menor valor do  $\chi^2$  calculado para o teste KS.

Nos casos em que os valores aderiram à distribuição Normal, utilizaram-se os critérios para determinação de limites estabelecidos por Lúcio (1997), conforme apresentado na tabela 1.

Caso os resultados tenham apresentado uma distribuição que não seja a normal, independente da distribuição selecionada, utilizaram-se as classes determinadas com base na sua função densidade de probabilidade ajustada para o conjunto de dados. Para os valores que não apresentaram nenhuma distribuição ajustada, os valores dos limites foram calculados com base na sua média e desvio padrão, de acordo com o critério apresentado na tabela 2.

Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa estatístico SAEG 9.0, usando  $\alpha = 5\%$  de probabilidade de erro.

TABELA 1 – Especificação dos limites de classe para classificação de limites de controle para resultados de análise nutricional baseados na média ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão (S) dos valores (V), em estratos vegetais das espécies florestais estudadas, com aderência à distribuição Normal

Limites de classe	Probabilidade	Classificação dos valores dos elementos químicos
Menor que $X_1 = -1,67S_V + \bar{x}_V$	$P(V \leq X_1) = 5\%$	Muito baixo
Entre $X_1$ e $X_2 = -0,64S_V + \bar{x}_V$	$P(X_1 < V \leq X_2) = 20\%$	Baixo
Entre $X_2$ e $X_3 = 0,64S_V + \bar{x}_V$	$P(X_2 < V \leq X_3) = 50\%$	Médio
Entre $X_3$ e $X_4 = 1,67S_V + \bar{x}_V$	$P(X_3 < V \leq X_4) = 20\%$	Alto
Maior que $X_4 = 1,67S_V + \bar{x}_V$	$P(V > X_4) = 5\%$	Muito alto

Fonte: Lúcio (1997) adaptado  $S_V$ : desvio padrão dos valores,  $\bar{x}_V$ : média dos valores.

TABELA 2 – Especificação dos limites de classe para classificação de limites de controle para resultados de análise nutricional baseados na média ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão (S) dos valores (V), em estratos vegetais das espécies florestais estudadas, sem aderência a nenhuma das distribuições estudadas

Limites de classe	Valores dos elementos químicos
$LCS_X = \bar{x} - A_33S$	Muito baixo
$LPS_X = \bar{x} - A_32S$	Baixo
$VC_X = \bar{x}$	Médio
$LPI_X = \bar{x} + A_32S$	Alto
$LCI_X = \bar{x} + A_33S$	Muito alto

LCS = limite de controle superior; LPS= limite de precaução superior; VC= valor central; LCI= limite de controle inferior; LPI= limite de precaução inferior; A3 é tabelado em função do número de observações (n), em Lourenço Filho (1982); S é a média dos desvios padrão dos subgrupos, que é calculado por:

$$s = \sum si \frac{1}{m},$$

em que: si = desvio padrão do subgrupo i; m = número de subgrupos.

Em seguida, com posse dos valores centrais e dos limites inferiores e superiores estabelecidos, confeccionou-se as tabelas com os limites de controle e de precaução para cada nutriente, estrato e espécie.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estatísticas descritivas

Os resultados estimados para a média, desvio padrão, valor mínimo e máximo dos teores dos nutrientes encontrados nas amostras e número de observações são demonstrados nas tabelas 3, 4 e 5, para cada espécie, em seus diferentes estratos ou componentes.

O conjunto total de dados analisados foi composto por 176 combinações de resultados, compostos por 16 estratos vegetais e onze elementos químicos dentro das três espécies estudadas. O menor número de observações ocorreu em *Eucalyptus* sp., no estrato raiz, com 24 verificações; e o maior foi em *Acacia mearnsii*, no estrato folha e nutriente P, com 302 observações. Os resultados mostraram que a espécie *Pinus* sp. foi a que apresentou maiores amplitudes de valores, seguido de *Eucalyptus* sp. e *Acacia mearnsii*.

Em *Acacia mearnsii*, os valores médios mostrados na tabela 3 para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg para folhas, madeira, casca e galhos estão de acordo com os resultados encontrados por Vezzani (1997). Barrichelo (2003) encontrou valores médios superiores nas suas análises, mas todos dentro das faixas de amplitude quando comparados com os resultados, com exceção dos macronutrientes P e S e dos micronutrientes Cu e Zn, que apresentaram resultados inferiores. No elemento B, os resultados em todos os estratos foram inferiores aos encontrados pelo autor, o que demonstra um aumento do acúmulo deste nutriente e redução de outros, como o P, em função da idade.

Já para a espécie *Eucalyptus* sp., os valores médios obtidos para todos os nutrientes no estrato folha, com exceção do B e Cu, são maiores de acordo com os resultados encontrados por Haag et al. (1976). Vezanii (1997) e Gonçalves (2000) encontraram em todos os nutrientes valores médios inferiores aos apresentados na tabela 6 para o estrato folha, com exceção do Mg e Cu. Porém nos estratos casca, galhos e madeira apresentaram valores médios semelhantes para os elementos N, P, Mg e Fe. Os elementos Mn, K e Ca apresentaram valores médios maiores que os demonstrados pelos autores em todos os estratos estudados. Porém os valores apresentados no estrato folha, em todos os nutrientes, estão dentro das faixas encontradas e demonstradas por Dell et al. (1995).

É importante destacar que as condições dos estudos, como sítio, fertilidade e ecofisiologia das arvores foram diferentes.

TABELA 3 – Estimativas da média ( $\bar{X}$ ), dos valores máximo e mínimo (máx. e mín.), do número de observações (N) e do desvio padrão (DP) dos valores obtidos nos elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análises de tecidos vegetais de *Acacia mearnsii*. Santa Maria – RS, 2006

Tecido	Estim.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
Folha	Méd.	26,16	1,04	7,41	5,64	1,76	1,35	28,42	10,16	172,19	100,20	16,22	
	Mín.	6,24	0,15	1,09	1,31	0,80	0,30	2,20	4,50	11,00	11,00	4,26	
	Máx.	40,82	2,49	19,97	16,00	5,65	2,37	79,97	32,00	1107,00	197,00	37,76	
	N	299	302	299	299	299	283	286	283	283	283	283	283
	DP	7,99	0,48	3,42	2,05	0,68	0,35	11,67	4,23	106,07	30,30	5,22	
Madeira	Méd.	1,59	0,13	8,24	1,13	0,36	0,28	5,37	0,90	26,19	8,91	6,49	
	Mín.	0,57	0,04	3,03	0,50	0,14	0,20	1,50	0,10	1,30	2,30	2,00	
	Máx.	3,02	0,78	13,74	2,47	0,60	0,40	12,10	1,60	190,00	27,00	22,70	
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	DP	0,67	0,14	4,12	0,58	0,15	0,04	2,24	0,44	45,56	6,46	4,78	
Casca	Méd.	9,98	0,34	9,09	11,26	1,45	0,32	13,72	1,67	52,30	26,20	12,34	
	Mín.	2,45	0,06	4,22	1,60	0,50	0,13	1,50	0,22	7,00	4,00	2,00	
	Máx.	14,18	0,66	15,98	17,60	3,16	1,25	26,63	4,40	121,00	48,00	20,70	
	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	DP	2,26	0,13	3,97	3,12	0,60	0,19	6,43	0,82	24,45	7,39	4,84	
Galho	Méd.	5,42	0,38	7,84	4,21	1,07	0,48	12,63	3,05	125,35	23,16	17,08	
	Mín.	0,60	0,01	1,21	0,47	0,13	0,18	1,50	0,10	2,80	4,50	2,90	
	Máx.	12,04	1,75	17,04	8,74	2,85	1,35	30,98	8,31	673,40	109,60	49,43	
	N	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96
	DP	3,41	0,33	3,63	2,02	0,51	0,25	7,02	2,08	162,52	17,73	10,60	
Flor	Méd.	20,98	0,75	7,58	5,18	1,81	1,09	48,51	7,22	144,59	64,31	20,18	
	Mín.	16,69	0,52	3,27	3,63	1,60	0,30	24,84	5,38	80,50	41,10	16,25	
	Máx.	25,79	1,08	10,80	7,57	2,12	1,74	86,11	15,30	928,90	94,90	25,91	
	N	16	16	16	16	16	30	31	30	30	30	30	30
	DP	2,51	0,18	2,44	1,13	0,19	0,45	19,10	1,89	152,26	14,98	2,61	
Raiz	Méd.	4,67	0,19	9,59	2,93	0,41	0,35	7,50	1,61	174,02	18,34	15,26	
	Mín.	0,76	0,04	6,55	0,85	0,09	0,09	1,50	0,18	1,00	2,30	2,50	
	Máx.	16,63	0,77	13,93	6,60	1,00	1,30	14,85	7,40	976,00	79,00	25,50	
	N	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	DP	4,66	0,19	3,12	1,83	0,25	0,36	3,18	1,64	273,86	21,90	6,48	
Fruto	Méd.	18,97	0,80	6,59	4,97	2,22	1,32	53,65	7,12	130,70	69,24	18,97	
	Mín.	10,98	0,42	2,18	1,86	0,82	0,33	28,45	2,92	11,40	11,96	10,64	
	Máx.	24,70	1,57	11,34	8,23	3,64	2,15	90,70	9,87	1099,00	196,50	54,16	
	N	68	68	68	68	68	146	144	146	146	146	146	146
	DP	2,20	0,23	2,67	1,42	0,53	0,38	12,82	1,20	144,03	27,12	5,66	

TABELA 4 – Estimativas da média ( $\bar{X}$ ), dos valores máximo e mínimo (máx. e mín.), do número de observações (N) e do desvio padrão (DP) dos valores obtidos nos elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análises de tecidos vegetais de *Eucalyptus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Tecido	Estim.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		g kg <sup>-1</sup>							mg kg <sup>-1</sup>				
Folhas	Méd.	24,14	2,61	14,26	9,21	2,86	4,49	25,81	8,10	111,60	891,27	24,41	
	Mín.	2,58	0,63	10,91	4,00	1,28	0,96	17,16	2,71	37,10	341,00	7,45	
	Máx.	36,10	4,21	19,20	17,30	3,95	7,55	56,38	12,72	980,00	2265,00	47,70	
	N	102	102	98	102	102	101	101	101	101	101	101	101
	DP	6,43	0,98	2,21	2,14	0,45	2,06	8,13	2,01	192,71	307,39	8,77	
Madeira	Méd.	1,19	0,13	8,17	1,39	0,24	0,22	4,94	1,36	8,84	48,41	4,98	
	Mín.	0,17	0,01	1,09	0,24	0,02	0,10	1,69	0,42	2,70	12,30	0,03	
	Máx.	2,92	0,72	11,00	13,63	2,18	0,47	14,39	11,75	25,40	95,30	16,96	
	N	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	64
	DP	0,81	0,15	2,96	2,11	0,35	0,09	2,86	1,39	4,20	20,80	4,08	
Raiz	Méd.	2,14	0,18	4,85	3,22	0,44	0,35	11,55	1,92	116,07	57,10	7,68	
	Mín.	0,86	0,05	2,18	0,59	0,11	0,21	7,78	0,96	61,90	26,90	3,89	
	Máx.	6,19	0,47	7,59	7,81	1,14	0,49	19,18	2,91	377,60	156,80	12,25	
	N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	DP	1,25	0,11	0,97	1,76	0,29	0,07	2,82	0,46	67,27	39,19	2,68	
Casca	Méd.	2,97	1,21	10,82	26,65	2,53	0,33	24,47	3,22	48,22	863,80	7,95	
	Mín.	0,69	0,15	5,24	1,26	0,22	0,05	10,92	1,96	8,90	318,00	1,10	
	Máx.	6,19	3,71	14,90	48,66	4,97	0,70	46,74	6,77	166,50	1429,00	40,50	
	N	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
	DP	0,85	0,88	1,73	11,08	1,07	0,11	6,62	1,03	33,38	317,95	5,32	
Galho	Méd.	3,67	0,31	9,63	7,59	0,97	0,33	14,07	6,02	128,96	517,40	11,42	
	Mín.	0,52	0,03	1,09	0,12	0,07	0,06	5,57	1,68	10,30	67,00	2,29	
	Máx.	12,28	1,00	13,00	26,13	2,41	0,91	30,04	12,63	936,00	934,40	31,25	
	N	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
	DP	2,70	0,23	1,83	4,57	0,44	0,15	5,07	2,32	243,62	207,25	6,57	

TABELA 5 – Estimativas da média ( $\bar{X}$ ), dos valores máximo e mínimo (máx. e mín.), do número de observações (N) e do desvio padrão (DP) dos valores obtidos nos elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análises de tecidos vegetais de *Pinus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Tecido	Estim.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg <sup>-1</sup>							mg kg <sup>-1</sup>			
Acícula	Méd.	12,18	0,86	8,78	3,46	1,02	0,99	17,73	4,55	283,98	692,51	36,15
	Mín.	1,23	0,07	0,42	0,10	0,21	0,01	3,04	0,10	19,00	13,60	12,04
	Máx.	21,60	3,83	28,95	20,93	33,00	7,11	52,61	21,60	8472,00	2246,00	213,80
	N	268	268	249	230	230	241	243	243	243	243	243
	DP	3,81	0,53	7,08	2,68	2,17	0,70	11,26	3,20	564,80	381,18	20,35
Madeira	Méd.	1,27	0,09	2,87	0,52	0,30	0,33	3,11	4,30	27,78	85,12	10,94
	Mín.	0,00	0,02	0,27	0,22	0,16	0,20	0,75	0,97	5,00	51,84	6,68
	Máx.	2,98	0,26	7,80	1,00	0,50	0,62	6,93	13,00	233,50	154,86	19,63
	N	48	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	DP	0,79	0,07	3,11	0,18	0,11	0,10	1,72	3,31	37,80	21,84	3,32
Casca	Méd.	3,21	0,30	4,03	1,44	0,54	1,13	11,23	6,98	986,46	75,33	17,83
	Mín.	1,23	0,03	0,23	0,26	0,07	0,05	0,75	2,99	5,00	14,80	7,49
	Máx.	14,17	2,15	14,40	9,49	3,58	2,50	44,58	36,12	17994,0	543,00	47,00
	N	59	59	59	59	59	56	58	58	58	58	56
	DP	2,51	0,39	4,41	1,60	0,74	0,52	8,47	6,47	2977,68	81,53	10,60
Galho	Méd.	4,59	0,33	6,67	4,41	0,86	0,76	16,52	9,78	168,11	235,90	23,79
	Mín.	1,23	0,02	0,22	1,20	0,30	0,27	1,50	1,00	5,00	19,80	6,50
	Máx.	12,56	1,05	27,14	37,38	3,33	4,34	35,25	483,00	1384,00	869,50	137,62
	N	112	110	112	112	112	107	82	107	107	107	107
	DP	2,46	0,20	6,41	5,94	0,55	0,61	10,31	46,25	197,77	127,55	14,20

Em *Pinus* sp., os valores médios apresentados na tabela 5, para todos os nutrientes no estrato acícula, são semelhantes aos resultados encontrados por Zöttl (1973), De Hoog, (1981), Malavolta et al. (1997) e Schumacher et al. (2002).

Os resultados médios mostrados nas tabelas 3, 4 e 5 estão dentro da faixa de valores encontrados na literatura para todas as espécies florestais, tecidos e nutrientes apresentados, com alguma exceção para folhas de *Eucalyptus* sp., o que pode ser explicado pela ampla exigência nutricional característica dessa espécie e sua conseqüente distribuição nos estratos das árvores. Dessa forma, pode-se confirmar que o tipo de resposta obtida a partir de uma análise de tecido de uma determinada espécie florestal será dependente da espécie analisada,

bem como da parte da planta, confirmação óbvia, mas que sustenta a classificação dos limites dos elementos químicos com base nos resultados das análises.

A variação dos resultados de espécie para espécie também é explicada por sua necessidade nutricional individual, mas dentro das análises de um mesmo nutriente e estrato. Os valores diferenciados, quando comparados com as médias dos resultados de literatura, são explicados pelos fatores expostos pelos autores, o que comprova a necessidade de realizar as análises das distribuições específicas para cada caso e a separação dos resultados agrupados nos estratos de cada espécie.

#### 4.2 Identificação das distribuições de probabilidade

Na tabela 6, observam-se as 77 combinações de estratos e nutrientes para a espécie *Acacia mearnsii*, nas quais 67,5% (52) se aderiram à alguma das distribuições testadas e 32,5% (25) não se aderiram à nenhuma distribuição. Dentro das combinações de valores que seguiam alguma distribuição, 50% (26) se aderiram à distribuição Normal, 38,5% (20) se aderiram à Log-normal, 7,7% (quatro) à Gamma e 3,8% (duas) à Weibull. Nenhum ajuste foi verificado com a distribuição Beta.

No estrato casca, verificou-se o maior número de aderência a pelo menos uma das distribuições, com os quatro tipos de distribuições ajustadas, enquanto no estrato flor observou-se o maior número de aderências somente à distribuição Normal. Os estratos madeira, raiz e galho apresentaram aderência somente à distribuição Normal e Log-normal, quando se aderiram. Já no estrato folha, observou-se o menor número de aderências, quanto comparado com os demais estratos daquela espécie, e nenhum ajuste à distribuição Normal.

O elemento K não apresentou ajuste a nenhuma das funções em todos os estratos estudados, enquanto o Mn ajustou uma das distribuições (Normal, Log-normal ou Gamma) em cada estrato.

Pelos resultados apresentados na tabela 7, verificou-se que das 55 combinações de estratos e nutrientes para a espécie *Eucalyptus* sp., 76,4% (42) se aderiram a alguma das distribuições testadas e 23,6% (treze) não se aderiram a nenhuma delas. Dentro das combinações de valores que seguiam alguma distribuição, 64,3% (27) se aderiram à Normal, 26,2% (onze) se aderiram à Log-normal, 7,1% (três) à Weibull e 2,4% (uma) à Gamma. Nenhum ajuste foi verificado com a distribuição Beta.

Os maiores números de ajustes à distribuição normal deram-se nos estratos raiz e casca, sendo que, na raiz, ocorreu somente ajuste à normal. Os estratos folha e madeira

apresentaram ajustes às distribuições Normal, Log-normal e Weibull, e o estrato galho se aderiu a pelo menos uma das quatro funções testadas.

TABELA 6 – Distribuições de probabilidade obtidas para os elementos químicos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Acacia mearnsii*. Santa Maria – RS, 2006

Elemento	Tecido vegetal						
	Casca	Flor	Folha	Fruto	Madeira	Raiz	Galho
N	N*	-	-	N	N	LN	N
P	LN	N	-	N	LN	LN	LN
K	-	-	-	-	-	-	-
Ca	N	N	-	N	N	LN	-
Mg	N	-	-	G	N	N	-
S	LN	N	-	N	-	-	-
B	W	N	-	LN	N	N	N
Cu	G	-	-	N	N	LN	LN
Fe	N	-	-	LN	LN	LN	LN
Mn	G	N	G	N	LN	LN	LN
Zn	W	N	LN	LN	-	N	LN

\*N = Normal; LN = Log-normal; G = Gamma; W = Weibull; - = nenhuma distribuição se ajustou ao conjunto de dados.

Os elementos N, Ca e Mg ajustaram função em todos os estratos, sendo que o Ca e Mg, além de B, Cu, Mn e Zn, ajustaram à distribuição Normal em pelo menos três estratos.

Na tabela 8, observou-se que das 44 combinações de estratos e nutrientes para a espécie *Pinus* sp., 65,9% (29) se aderiram a alguma das distribuições avaliadas e 34,1% (15) não se aderiram a nenhuma delas. Dentro das combinações de valores que seguiam alguma distribuição, 58,6% (17) se aderiram à Log-normal, 20,7% (seis) à Normal, 17,2% (cinco) à distribuição Weibull e 3,4% (uma) à Gamma. Nenhum ajuste foi verificado com a distribuição Beta.

No estrato madeira, ocorreu o maior número de aderência a alguma das distribuições, com quatro ajustes à distribuição Normal e o único ajuste à distribuição Gamma. No estrato casca, observou-se nenhuma aderência à distribuição Normal, enquanto os estratos acícula e galho apresentaram pelo menos uma aderência. Os estratos acícula, madeira e galho

apresentaram ajustes a três funções testadas, e o estrato casca apresentou dois tipos de função ajustada, sendo a maioria à distribuição Log-normal.

TABELA 7 – Distribuições de probabilidade obtidas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Eucalyptus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Elemento	Tecido vegetal				
	Folha	Galho	Madeira	Raiz	Casca
N	N*	LN	W	N	N
P	-	LN	LN	-	LN
K	-	W	-	N	N
Ca	LN	N	LN	N	N
Mg	W	N	LN	N	N
S	-	G	LN	N	N
B	-	N	LN	N	N
Cu	N	N	-	N	-
Fe	-	-	N	-	LN
Mn	N	N	N	-	N
Zn	N	N	-	N	LN

\*N = Normal; LN = Log-normal; G = Gamma; W = Weibull; - = nenhuma distribuição se ajustou ao conjunto de dados.

Os elementos N, P, B e Fe apresentaram ajuste de, pelo menos, uma função em cada estrato, sendo que N e P só ajustaram à distribuição Normal e Log-normal, enquanto B aderiu-se às Weibull e Gamma e o Fe ajustou-se somente à Log-normal. O elemento Zn não teve nenhuma distribuição ajustada em todos seus estratos.

De maneira geral, dos 176 conjuntos de dados analisados por nutriente e componente em cada espécie, 69,9% (123) ajustaram-se a uma das funções e 30,1% (53) não se aderiram a nenhuma das distribuições. Das funções que tiveram aderência, 33,5% (59) ajustaram-se à distribuição Normal, 27,3% (48) à distribuição Log-normal, 5,7% (dez) à Weibull e 3,4% (seis) à Gamma, enquanto a distribuição Beta não apresentou nenhum ajuste. Esse resultado comprova a Lei dos Grandes Números (COSTA NETO, 1977), na qual consta que quanto maior o número de observações de uma variável, maior será a probabilidade de apresentar aderência à distribuição Normal, caso dos componentes folhas de acácia e eucalipto, e acícula de pinus.

Ao se tratar do comportamento de cada elemento químico individualmente, o N apresentou o maior número de aderências à distribuição Normal (nove), enquanto o K apresentou somente um ajuste, sendo o elemento que menos se ajustou a alguma das funções. O P apresentou o maior número de ajustes à distribuição Log-normal (dez) e o B o menor (duas), mas foi o elemento que obteve o maior número de ajustes em pelo menos uma das distribuições avaliadas, assim como o N. Os resultados dos elementos Mg, B e Cu ajustaram-se às distribuições: Normal, Log-normal, Gamma e Weibull em seus conjuntos de dados, enquanto o P, Ca e Fe ajustaram-se somente às distribuição Normal e Log-normal. Assim, nenhum elemento apresentou os resultados das análises de laboratório, ajustadas a somente um tipo de distribuição de probabilidade.

TABELA 8 – Distribuições de probabilidade obtidas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Pinus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Elemento	Tecido vegetal			
	Acícula	Madeira	Casca	Galho
N	N*	N	LN	LN
P	LN	LN	LN	N
K	-	-	-	W
Ca	LN	N	LN	-
Mg	LN	LN	LN	-
S	-	N	-	LN
B	W	G	W	W
Cu	W	-	-	LN
Fe	LN	LN	LN	LN
Mn	-	N	LN	-
Zn	-	-	-	-

\*N = Normal; LN = Log-normal; G = Gamma; W = Weibull; - = nenhuma distribuição se ajustou ao conjunto de dados.

O desvio da normalidade confirma a afirmação de Conagin et al. (1995), de que quanto maior a variabilidade de um conjunto de dados, maior será a dificuldade na sua análise e a aderência à distribuição Normal. Esse comportamento de desvio da normalidade devido à variância alta, pode ser confirmado, na maioria dos casos, ao se fixar um determinado elemento químico, dentro de cada espécie florestal e verificar que naqueles estratos em que a



variância (desvio padrão) apresentou valores altos houve o desvio da normalidade. A identificação da função densidade de probabilidade é, também, importante para validar os testes de hipóteses, já que testes como t, F e  $\chi^2$  requer distribuição Normal.

Nas tabelas 9, 10 e 11, estão apresentadas as estimativas dos parâmetros de cada função de distribuição de probabilidade ajustada a cada situação estudada, que foram utilizadas para calcular os limites de classificação dos teores dos diferentes elementos químicos, nos diferentes estratos das três espécies florestais avaliadas.

TABELA 9 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Acacia mearnsii*. Santa Maria – RS, 2006

Função	Parâmetros	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		FOLHA										
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7353
	S <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1040
GAMMA	$\alpha$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,1464	-
	$\beta$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,8756	-
MADEIRA												
NORMAL	$\bar{X}$	1,5943	-	-	1,1296	0,3533	-	5,3739	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	0,4439	-	-	0,3369	0,233	-	5,0139	-	-	-	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	2,3333	-	-	-	-	-	-	-2,3547	1,9712	-
	S <sup>2</sup>	-	0,4031	-	-	-	-	-	-	1,6254	0,4215	-
CASCA												
NORMAL	$\bar{X}$	9,9792	-	-	11,2564	1,4494	-	-	-	52,2963	-	-
	S <sup>2</sup>	5,1150	-	-	9,7091	0,3542	-	-	-	597,646	-	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-1,1587	-	-	-	-1,2557	-	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	-	0,2188	-	-	-	0,2197	-	-	-	-	-
GAMMA	$\alpha$	-	-	-	-	-	-	-	4,1958	-	10,6165	-
	$\beta$	-	-	-	-	-	-	-	0,3979	-	2,4681	-
WEIBULL	$\beta$	-	-	-	-	-	-	15,3540	-	-	-	13,8612
	c	-	-	-	-	-	-	2,2135	-	-	-	2,8636

Continua...

TABELA 9 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Acacia mearnsii*. Santa Maria – RS, 2006

Função	Parâmetros	GALHO										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
NORMAL	$\bar{X}$	5,4179	-	-	-	-	-	12,6327	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	11,6576	-	-	-	-	-	49,3150	-	-	-	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-1,2792	-	-	-	-	-	0,8468	3,9599	2,8803	2,6302
	S <sup>2</sup>	-	0,6398	-	-	-	-	-	0,6525	2,0437	0,5431	0,4547
FLOR												
NORMAL	$\bar{X}$	-	0,7480	-	5,1781	-	1,0869	48,5087	-	-	64,3066	20,1790
	S <sup>2</sup>	-	0,0334	-	1,2876	-	0,1994	364,595	-	-	224,296	6,7990
RAIZ												
NORMAL	$\bar{X}$	-	-	-	-	0,4102	-	7,4971	-	-	-	15,2632
	S <sup>2</sup>	-	-	-	-	0,0620	-	10,1290	-	-	-	41,9938
LOGNORMAL	$\bar{X}$	1,1597	-2,0550	-	0,8820	-	-	-	0,0758	3,9210	2,3548	-
	S <sup>2</sup>	0,7235	0,7468	-	0,3974	-	-	-	0,8104	3,0281	1,0458	-
FRUTO												
NORMAL	$\bar{X}$	18,9688	0,8038	-	4,9725	-	1,3244	-	7,1187	-	69,2426	-
	S <sup>2</sup>	4,8463	0,0509	-	2,0141	-	0,1444	-	1,4472	-	735,742	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-	-	-	-	-	3,9538	-	4,6639	-	2,9082
	S <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	0,0587	-	0,2833	-	0,0637
GAMMA	$\alpha$	-	-	-	-	16,7247	-	-	-	-	-	-
	$\beta$	-	-	-	-	0,1325	-	-	-	-	-	-

TABELA 10 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Eucalyptus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Função	Parâmetros	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		FOLHA										
NORMAL	$\bar{X}$	24,1404	-	-	-	-	-	-	8,0974	-	891,267	24,4081
	S <sup>2</sup>	41,3762	-	-	-	-	-	-	4,0505	-	94491,2	76,9648
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-	-	2,1942	-	-	-	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	-	-	-	0,0515	-	-	-	-	-	-	-
WEIBULL	$\beta$	-	-	-	-	3,0327	-	-	-	-	-	-
	c	-	-	-	-	7,4680	-	-	-	-	-	-
MADEIRA												
NORMAL	$\bar{X}$	-	-	-	-	-	-	-	-	8,8442	48,4114	-
	S <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	17,6001	432,579	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-2,4148	-	-0,0472	-1,7935	-1,5852	1,4577	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	-	0,7674	-	0,5265	0,5677	0,1367	0,2689	-	-	-	-
RAIZ												
NORMAL	$\bar{X}$	2,1362	-	4,8472	3,2204	0,4362	0,3460	11,5477	1,9225	-	-	7,6791
	S <sup>2</sup>	1,5544	-	0,9411	3,0815	0,0830	0,0042	7,9540	0,2136	-	-	0,5469
CASCA												
NORMAL	$\bar{X}$	2,9671	-	10,8205	26,6543	2,5326	0,3279	24,4690	-	-	863,798	-
	S <sup>2</sup>	0,7229	-	3,0064	122,791	1,1375	0,0130	43,7589	-	-	10109,8	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-0,0942	-	-	-	-	-	-	3,6484	-	0,3101
	S <sup>2</sup>	-	0,6397	-	-	-	-	-	-	0,4864	-	-

Continua...



TABELA 11 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Pinus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Função	Parâmetros	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
ACÍCULA												
NORMAL	$\bar{X}$	12,1824	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	14,5253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-0,3189	-	0,9902	-0,2483	-	-	-	5,2964	-	-
	S <sup>2</sup>	-	0,3401	-	0,5439	0,3223	-	-	-	0,5038	-	-
WEIBULL	$\beta$	-	-	-	-	-	-	19,8184	5,0192	-	-	-
	c	-	-	-	-	-	-	1,6101	1,4489	-	-	-
MADEIRA												
NORMAL	$\bar{X}$	1,2681	-	-	0,5222	-	0,3342	-	-	-	85,1188	-
	S <sup>2</sup>	0,6301	-	-	0,0319	-	0,0095	-	-	-	477,023	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	-	-2,6083	-	-	-1,2765	-	-	-	2,8770	-	-
	S <sup>2</sup>	-	0,4749	-	-	0,1352	-	-	-	0,7993	-	-
GAMMA	$\alpha$	-	-	-	-	-	-	2,6425	-	-	-	-
	$\beta$	-	-	-	-	-	-	1,1757	-	-	-	-
CASCA												
LOGNORMAL	$\bar{X}$	0,9836	-1,6767	-	0,0423	-1,1601	-	-	-	5,4215	4,0006	-
	S <sup>2</sup>	0,3124	0,8059	-	0,5335	0,9342	-	-	-	2,4619	0,5765	-
WEIBULL	$\beta$	-	-	-	-	-	-	12,2428	-	-	-	-
	c	-	-	-	-	-	-	1,3554	-	-	-	-

Continua...

TABELA 11 – Estimativas dos parâmetros das funções ajustadas para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Pinus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Função	Parâmetros	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		GALHO										
NORMAL	$\bar{X}$	-	0,3339	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S <sup>2</sup>	-	0,0414	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LOGNORMAL	$\bar{X}$	1,4029	-	-	-	-	-0,4616	-	1,6148	4,6634	-	-
	S <sup>2</sup>	0,2313	-	-	-	-	0,3240	-	0,3846	1,0945	-	-
WEIBULL	$\beta$	-	-	6,5623	-	-	-	18,2752	-	-	-	-
	c	-	-	0,9628	-	-	-	1,5531	-	-	-	-

### 5.3 Limites de controle e de precaução

Os limites das classes apresentaram os valores inferiores e superiores de controle e precaução, e o valor central (média) em cada espécie, por estrato e nutriente, foram estimados em função da distribuição de probabilidade ajustada para cada caso e os critérios adotados para sua obtenção. Deve-se salientar que quando os valores seguem a distribuição Normal, os limites de classe calculados são exatos.

Por meio da comparação entre os limites de classe classificados como médios, obtidos no estudo para o estrato folha, com aqueles propostos por Vezzani (1997) e Barrichelo (2003) para *Acacia mearnsii*, Haag et al. (1976) e Dell et al. (1995) para algumas espécies de Eucalipto, e por Schumacher et al. (2002) para *Pinus* sp., pôde-se verificar, de forma geral, que os limites obtidos no presente estudo foram maiores, enquanto para acícula de *Pinus* sp. a maioria dos valores médios obtidos estão dentro dos limites apresentados por Zöttl (1973) para acículas. Com essa constatação, fica claro um rigor ligeiramente superior apresentado pelos limites de classe médios propostos pelos autores, que apresentam valores considerados ótimos, médios e ruins para as plantas, quando comparados com aqueles obtidos. Mas, apesar disto, há uma compensação apresentada nas tabelas 12, 13 e 14 pela melhor classificação dos teores de cada elemento químico, com a definição dos limites de precaução e controle, inferiores e superiores, dando assim condições mais adequadas ao usuário do resultado da análise laboratorial em avaliar o teor apresentado e tomar uma decisão mais confiável e consistente em relação ao valor.

Há, ainda, a importância em verificar se realmente o valor apresentado do teor do elemento químico, após análise laboratorial, é proveniente de uma condição especial, na qual a amostra foi retirada ou se é proveniente de um erro de medição ou análise, devido a possíveis descalibrações de equipamentos ou descuidos do responsável pela análise. Deve-se dar o mesmo grau de importância e avaliação aos resultados obtidos em análise com valores dos teores dos elementos químicos classificados tanto acima quanto abaixo da faixa de limite de precaução.

O estudo de correlação através das componentes principais, entre estratos vegetais ou nutrientes, pode auxiliar na identificação de resultados “out-liaier” (erros) com o objetivo de eliminar variáveis. Neste caso, a alta correlação entre variáveis pode ser usada para o monitoramento dos resultados.



TABELA 12 – Valores de classe obtidos para o valor central (VC), limites de controle (LC) e de precaução (LP) superiores (S) e inferiores (I) para resultados dos elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análise de tecidos vegetais de *Acacia mearnsii*. Santa Maria – RS, 2006

Tecido	Limite	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
Folha	LCS	30,31	1,29	9,19	6,71	2,11	1,48	34,63	12,42	229,26	159,80	31,06
	LPS	28,93	1,21	8,60	6,35	1,99	1,47	32,56	11,66	210,24	141,20	27,71
	VC	26,16	1,04	7,41	5,64	1,76	1,35	28,42	10,16	172,19	104,00	21,01
	LPI	23,39	0,87	6,23	4,92	1,52	1,22	24,27	8,65	134,14	66,80	14,31
	LCI	22,01	0,79	5,62	4,57	1,40	1,21	22,20	7,89	115,12	48,20	10,96
Madeira	LCS	2,33	0,63	15,04	1,68	0,40	0,34	11,16	1,22	152,26	22,06	14,78
	LPS	1,88	0,55	12,75	1,34	0,37	0,32	8,58	1,02	133,39	19,59	11,75
	VC	1,59	0,41	8,24	1,13	0,36	0,28	5,37	0,90	95,65	14,65	6,49
	LPI	1,31	0,25	3,71	0,91	0,34	0,24	2,16	0,77	57,91	9,71	1,23
	LCI	0,84	0,19	1,44	0,58	0,32	0,21	1,50	0,50	1,30	7,24	0,11
Casca	LCS	13,75	0,54	13,98	16,47	2,05	1,03	21,60	3,56	93,01	39,20	16,96
	LPS	11,42	0,48	12,34	13,25	1,68	0,91	19,09	3,15	67,92	34,80	15,09
	VC	9,98	0,36	9,09	11,26	1,45	0,68	14,06	2,31	52,30	26,00	11,35
	LPI	8,53	0,23	5,84	9,26	1,21	0,46	9,03	1,47	36,68	17,02	7,61
	LCI	6,20	0,17	4,22	6,04	0,85	0,35	6,52	1,06	11,55	12,80	5,74
Galho	LCS	11,11	1,40	11,22	6,09	1,54	0,71	24,35	6,67	539,28	88,58	40,12
	LPS	7,60	1,22	10,09	5,46	1,39	0,63	17,12	5,86	472,22	78,07	35,47
	VC	5,42	0,87	7,84	4,21	1,07	0,48	12,63	4,20	338,10	57,05	26,16
	LPI	3,23	0,52	5,59	2,96	0,75	0,33	8,13	2,56	203,98	36,03	16,85
	LCI	1,04	0,35	4,46	2,33	0,60	0,25	3,63	1,74	136,92	2,52	12,21
Flor	LCS	26,72	0,80	13,16	7,31	2,24	1,43	80,41	10,33	394,90	89,19	24,32
	LPS	24,81	0,72	11,30	5,99	2,10	1,21	60,73	9,29	311,47	73,85	21,85
	VC	20,98	0,75	7,58	5,18	1,81	1,09	48,51	7,22	144,59	64,31	20,18
	LPI	17,15	0,77	3,86	4,36	1,52	0,96	36,28	5,15	112,54	54,77	18,50
	LCI	15,25	0,80	2,00	3,04	1,38	0,75	16,61	4,11	80,50	39,42	15,82
Raiz	LCS	13,45	0,62	14,40	5,45	0,51	0,91	12,81	5,95	781,00	63,66	26,08
	LPS	11,86	0,54	12,77	4,87	0,45	0,72	9,53	5,23	683,50	55,99	19,41
	VC	8,69	0,39	9,59	3,72	0,41	0,35	7,50	3,79	488,50	40,65	15,26
	LPI	5,51	0,25	6,41	2,57	0,37	0,22	5,46	2,34	293,50	25,31	11,11
	LCI	3,93	0,18	4,78	2,00	0,51	0,09	2,18	1,62	196,00	17,64	4,43
Fruto	LCS	22,64	0,88	9,51	7,29	3,07	1,56	78,25	9,52	881,48	114,53	45,45
	LPS	20,37	0,83	8,53	5,87	2,79	1,41	72,02	8,04	772,72	86,59	41,10
	VC	18,97	0,80	6,59	4,97	2,23	1,32	59,57	7,12	555,20	69,24	32,40
	LPI	17,56	0,76	4,65	4,06	1,66	1,22	47,12	6,19	337,68	51,88	23,69
	LCI	15,29	0,71	3,68	2,64	1,38	1,08	40,90	4,71	228,92	23,94	19,34

TABELA 13 – Valores de classe obtidos para o valor central (VC), limites de controle (LC) e de precaução (LP) superiores (S) e inferiores (I) para resultados dos elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análise de tecidos vegetais de *Eucalyptus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Tecido	Limite	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg <sup>-1</sup>							mg kg <sup>-1</sup>			
Folha	LCS	34,87	3,48	16,27	14,64	3,41	6,33	33,08	11,45	283,88	1404,61	39,05
	LPS	28,25	3,19	15,60	13,01	3,14	5,72	30,65	9,38	226,45	1087,99	30,02
	VC	24,14	2,61	14,26	10,65	2,61	4,49	25,81	8,10	111,60	891,27	24,41
	LPI	20,02	2,03	12,92	7,99	2,08	3,26	20,97	6,81	74,35	694,54	18,79
	LCI	13,40	1,74	12,25	6,66	1,81	2,65	18,54	4,71	37,10	377,92	9,76
Madeira	LCS	2,06	0,57	11,35	10,95	1,74	0,39	11,85	2,85	15,85	83,15	9,57
	LPS	1,77	0,51	10,29	9,61	1,53	0,36	10,58	2,35	11,52	61,12	8,04
	VC	1,19	0,36	8,17	6,93	1,10	0,28	8,04	1,36	8,84	48,41	4,98
	LPI	0,60	0,22	6,05	4,25	0,66	0,21	5,49	0,89	6,15	35,10	1,92
	LCI	0,31	0,15	4,99	2,92	0,45	0,17	4,22	0,42	1,83	13,67	0,39
Raiz	LCS	4,22	0,38	6,42	6,15	0,58	0,46	16,26	2,27	240,99	129,87	12,15
	LPS	2,94	0,32	5,45	4,34	0,49	0,39	13,35	2,05	199,35	105,62	9,39
	VC	2,14	0,18	4,85	3,22	0,44	0,35	11,55	1,92	116,07	57,10	7,68
	LPI	1,34	0,11	4,24	2,09	0,38	0,30	9,74	1,78	88,98	42,00	5,96
	LCI	0,05	0,05	3,27	0,28	0,29	0,23	6,84	1,56	61,90	26,90	3,20
Casca	LCS	4,17	3,00	15,81	45,15	4,45	0,51	35,52	4,33	134,98	1393,19	32,62
	LPS	3,43	2,64	12,73	33,74	3,26	0,40	28,71	3,96	119,22	1060,68	28,68
	VC	2,97	1,93	10,82	26,65	2,53	0,33	24,47	3,22	87,70	863,80	20,80
	LPI	2,51	1,22	8,90	19,55	1,80	0,26	20,23	2,48	56,18	660,80	12,92
	LCI	1,76	0,86	5,82	8,14	0,62	0,15	13,41	2,11	40,48	334,41	8,98
Galho	LCS	9,93	0,80	10,62	15,22	1,29	0,74	23,16	9,89	435,42	863,51	22,39
	LPS	8,75	0,71	9,43	10,51	1,09	0,65	17,94	7,50	333,68	650,04	15,62
	VC	6,40	0,51	7,05	7,59	0,97	0,48	14,07	6,02	128,96	517,40	11,42
	LPI	4,04	0,32	4,66	4,66	0,84	0,65	11,45	4,53	69,63	384,76	7,21
	LCI	2,87	0,23	3,47	0,04	0,64	0,74	6,23	2,14	10,30	171,29	2,29

TABELA 14 – Valores de classe obtidos para o valor central (VC), limites de controle (LC) e de precaução (LP) superiores (S) e inferiores (I) para resultados dos elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em análise de tecidos vegetais de *Pinus* sp. Santa Maria – RS, 2006

Tecido	Limite	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg <sup>-1</sup>							mg kg <sup>-1</sup>			
Acícula	LCS	18,54	3,08	12,82	16,76	26,24	1,39	42,71	17,30	6782,40	912,07	47,87
	LPS	14,61	2,70	11,47	14,68	23,61	1,26	37,74	15,15	5936,1	838,88	43,96
	VC	12,18	1,95	8,78	10,51	16,60	0,99	27,82	10,85	4245,50	692,51	36,15
	LPI	9,74	1,20	6,09	6,34	10,45	0,72	17,91	6,55	2554,9	546,14	28,34
	LCI	5,81	0,83	4,74	4,27	6,77	0,58	12,95	4,40	1709,6	472,95	24,43
Madeira	LCS	2,31	0,22	6,79	0,57	0,43	0,35	5,69	8,47	187,80	121,59	15,12
	LPS	1,66	0,19	5,48	0,54	0,40	0,34	5,14	7,08	164,95	99,09	13,73
	VC	1,27	0,14	2,87	0,52	0,33	0,33	3,90	4,30	119,25	85,12	10,94
	LPI	0,87	0,10	1,57	0,49	0,26	0,32	2,67	1,52	73,56	71,14	8,15
	LCI	0,22	0,07	0,27	0,46	0,23	0,31	1,99	0,13	50,70	48,64	6,76
Casca	LCS	14,17	1,72	9,19	7,64	2,87	1,78	35,81	14,55	14396,2	437,36	30,55
	LPS	12,87	1,51	7,47	6,72	2,52	1,55	31,43	12,03	12597,3	384,54	26,31
	VC	7,70	1,09	4,03	4,87	1,82	1,13	22,66	6,98	8999,5	278,90	17,83
	LPI	5,11	0,67	0,59	3,03	1,12	0,71	13,90	4,98	5401,7	174,86	9,35
	LCI	3,81	0,46	0,23	2,11	0,77	0,48	9,52	2,99	3602,8	120,44	5,11
Galho	LCS	10,29	1,05	21,76	9,39	1,32	3,52	28,50	386,60	1108,2	346,87	36,14
	LPS	9,16	0,61	19,06	7,74	1,17	3,12	25,13	338,40	970,3	309,88	32,03
	VC	6,89	0,33	13,68	4,41	0,86	2,31	18,37	242,00	694,5	235,90	23,79
	LPI	4,62	0,05	8,29	2,80	0,55	1,49	11,62	145,65	418,7	161,92	15,55
	LCI	3,49	0,02	5,60	1,20	0,40	1,09	8,25	97,40	280,8	124,93	11,44

## 5 CONCLUSÃO

Em torno de 70,0% dos conjuntos de dados avaliados aderiram-se à alguma das cinco distribuições de probabilidade estudadas.

A distribuição de probabilidade que apresentou a maior percentagem de aderência aos valores dos teores dos elementos químicos avaliados em diferentes estratos de três espécies florestais foi a Normal, com 33,5% do total avaliado, enquanto a distribuição Beta não apresentou aderência à nenhum dos conjuntos de dados.

A distribuição de probabilidade Log-normal apresentou aderência em 27,3% do total avaliado, a Gamma em 3,4% e a Weibull em 5,7%, enquanto 30,1% dos conjuntos de dados não apresentou nenhuma função ajustada.

Os limites calculados para os teores dos elementos químicos de diferentes tecidos das espécies *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. permitem um maior grau de classificação em relação a confiabilidade do valor obtido, dependendo do método de extração e da condição de onde a amostra foi retirada.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- ABREU, E.C.R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 61, p.86-102. 2002.
- ARACRUZ CELULOSE S.A. **Sistema de gestão da qualidade**: macroprocesso: sistema de gestão, microprocesso: gestão da qualidade. sistema de documentos. UG, GUAÍBA, RS. ARCEL, 2004.
- ASSIS, F.N. **Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba – SP e Pelotas – RS**. 1991. 134 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ/USP, Piracicaba, 1991.
- BACCAN, N et al. **Química analítica quantitativa elementar**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1985. 259 p.
- BARRICHELO, L.R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* de Wild. na região sul**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – UFSM, Santa Maria, 2003.
- BARTOSZECK, A.C.P.S. et al. A distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba. **Floresta**, Curitiba, v.34, n.3, p.305-323. 2004.
- BINKLEY, D. **Forest nutrition management**. New York: A Wiley-Interscience/John Wiley, 1986. 290p.
- BOTELHO, V.A.; MORAIS, A.R. Estimativa dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.23, n.3, p.697-706. 1999.
- BRAVO, P.C. Controle Estatístico da Qualidade. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE DE BIOMETRIA & SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 40., 6. 1995. Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: USP, 1995. 71p.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4. ed. Piracicaba, SP: ESALQ. 1983. 349 p.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; ANDRADE, J.C. Controle de Qualidade dos Resultados Analíticos. In: **Análise Química de Solos Tropicais**. Eds. Gonçalves, J.L.M. e Benedetti, V. 2. ed. Instituto Agronômico, São Paulo, 2001. p.123-132.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J.K. Ajuste de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1157-1166. 2004.
- CASTRO NETO, P; SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama. I. Períodos mensais. **Ciência e Prática**, Lavras, v.5, n.2, p.144-151. 1981.

CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10. p. 153-162, 2002.

CONAGIN, A.; IGUE, T.; NAGAI, V. **Tabelas para determinação do número de repetições no planejamento de experimentos**. Campinas: Instituto Agronômico, Campinas. 1995. 17p. (Boletim Científico, 34).

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo: Edgar Blucher, 1977. 264 p.

CUNHA, P.R.R. Controle Estatístico do Processo. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA & SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA, 42., 7. Recife. **Anais...** Recife, UFPE, 1997. 234 p.

DE HOOG, R.J. et al. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in southern Brazil**. Freiburg, 1981. 161 p. (Inaugural-dissertation)

DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104p.

ELEOTERIO, J.R.; STORCK, L.; LOPES, S.J. Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.89-99. 1996.

FEDERER, W.T. **Experimental design: theory and application**. New York: Oxford & IBH, 1977. 598p.

FINGER, C.A.G. **Distribuição de diâmetros em acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild., em diferentes povoamentos e idade**. Curitiba, 1982. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agrárias, UFPR, 1982.

FRIEDMAN, D.G.; JANES, B.E. Estimation of rainfall probabilities. **University of Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin**, Connecticut, v.332, p. 1-22, 1957.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendação de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, n.15, p.1-23, 1995.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: **Nutrição e Fertilização Florestal**. Eds. Gonçalves, L.M. e Benedetti, V. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-57.

HAAG, H.P. et al. Análise foliar de cinco espécies de eucaliptos. Piracicaba: **IPEF**, 13, 1976. p. 99-116

KLESTA, E.J.; BARTZ, J.K. Quality assurance and quality control. In: BARTELS, J.M.; BIGHAM, J.M. (Eds.). **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.41.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Rossdorf: GTZ, 1993. 343p.

- LOURENÇO FILHO, R.C.B. **Controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 223p.
- LUCIO, A. D. **Parâmetros da precisão experimental das principais culturas anuais do Estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 1997. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Rurais, UFSM, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARCHIORI, J.N.C. **Dendrologia das angiospermas: myrtales**. Santa Maria: UFSM, 1997. 304p.
- MARCHIORI, J.N.C. **Dendrologia das gminospermas**. Santa Maria: UFSM, 1996. 304p. il.
- OLIVEIRA, H. A. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Acacicultores, 1960. 116 p. il.
- REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus* sp. In: GONÇALVES, L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166.
- REISSMANN, C.B. et al. Metodologia da amostragem e análise das acículas de *Araucaria angustifolia*: influência da idade das acículas. **Floresta**, v.1, n.7, p. 5-12. 1976.
- SCHUMACHER, M.V. et al. Biomassa e distribuição de nutrientes em um povoamento de *Pinus taeda* em Cambará do Sul, RS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2. **Anais...** Viçosa, 2002. 652p.
- SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 51-64. 1996.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 79-104.
- SIMÕES, J.W.; COUTO, H.T.Z.; KAJIYA, S. Tolerância da *Araucaria angustifolia* a teores crescentes de alumínio. São Paulo, :IPEF, n.6, 1973. p. 93-102.
- SIQUEIRA, L.G.P. **Controle estatístico do processo**. São Paulo: Pioneira, 1997. 129p.
- STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2000. 198p.
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras, 1997. 15 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFLA, 1997.
- TURNBULL, J.W. Australian *Acacia mearnsii* in developing countries. In: INTERNATIONAL WORKSHOP AT THE FORESTY TRAINING CENTRE, 1986, Gympie. **Anais...** Victoria. 1987.

VEZZANI, F.M. **Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* (Smith) e *Acacia mearnsii mearnsii* (De Wild.)**. Porto Alegre, 1997. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, 1997.

ZÖTTL, H.W. **International symposium on forest fertilization**. Paris: FAO – IUFRO, 1973.



## **Apêndice**

APÊNDICE 1 – Valores calculados para o Teste de Lilliefors para verificação de normalidade dos valores obtidos para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Acacia mearnsii*

Elemento	Tecido vegetal						
	Casca	Flor	Folha	Fruto	Madeira	Raiz	Galho
N	0,1182	0,2318	0,1680	0,0666	0,1219	0,2414	0,0882
P	0,1446	0,1297	0,0903	0,0730	0,2408	0,2666	0,2231
K	0,2648	0,2563	0,1532	0,1283	0,3334	0,3288	0,1629
Ca	0,0743	0,1288	0,1122	0,0774	0,1331	0,2347	0,1060
Mg	0,1377	0,2216	0,1483	0,1205	0,1785	0,1680	0,1072
S	0,2103	0,1257	0,0922	0,0772	0,2099	0,3014	0,1691
B	0,1460	0,1766	0,0947	0,0948	0,1135	0,1292	0,0837
Cu	0,1487	0,2206	0,1844	0,0596	0,1831	0,2264	0,1829
Fe	0,0930	0,3317	0,2088	0,3742	0,3508	0,3390	0,2736
Mn	0,1447	0,1062	0,0867	0,0586	0,2407	0,2817	0,1881
Zn	0,1428	0,1134	0,0781	0,1686	0,3078	0,1335	0,1082

APÊNDICE 2 – Valores calculados para o Teste de Lilliefors para verificação de normalidade dos valores obtidos para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Eucalyptus* sp.

Elemento	Tecido vegetal				
	Folha	Galho	Madeira	Raiz	Casca
N	0,0778	0,1816	0,1547	0,1893	0,0962
P	0,1300	0,1450	0,2673	0,2399	0,1453
K	0,1513	0,1508	0,2845	0,1751	0,1036
Ca	0,1134	0,1240	0,3809	0,1237	0,0701
Mg	0,1290	0,1049	0,3433	0,1818	0,0553
S	0,2197	0,2591	0,1850	0,1337	0,1155
B	0,2332	0,0939	0,1706	0,1199	0,1037
Cu	0,0768	0,0656	0,2349	0,1252	0,1568
Fe	0,4021	0,3416	0,1215	0,2297	0,1543
Mn	0,0602	0,0859	0,0638	0,2545	0,1196
Zn	0,0714	0,1268	0,1329	0,1054	0,1445

APÊNDICE 3 – Valores calculados para o Teste de Lilliefors para verificação de normalidade dos valores obtidos para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em *Pinus* sp.

Elemento	Tecido vegetal			
	Acícula	Madeira	Casca	Galho
N	0,0540	0,1125	0,2493	0,1949
P	0,1257	0,2041	0,2989	0,0603
K	0,1558	0,2783	0,2715	0,2040
Ca	0,1760	0,1169	0,3011	0,2852
Mg	0,3535	0,2171	0,2620	0,2194
S	0,2239	0,1300	0,1624	0,2037
B	0,1170	0,1647	0,1693	0,1022
Cu	0,1051	0,2477	0,2871	0,4457
Fe	0,3438	0,2534	0,4153	0,2693
Mn	0,1759	0,1126	0,2362	0,1508
Zn	0,1729	0,1718	0,1943	0,1559

APÊNDICE 4 – Valores da probabilidade de aderência às distribuições Log-normal, Gamma, Beta e Weibull, obtidas via Teste de Kolmogorov-Smirnov, para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em tecidos vegetais de *Acacia mearnsii*.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Funções	CASCA										
LN*	-	0,0558	0,1914	-	-	0,0541	0,2113	0,0642	-	0,0973	0,1030
G	-	0,0736	0,2342	-	-	0,1136	0,1681	0,0598	-	0,0714	0,0817
B	-	1,0000	0,9995	-	-	0,7339	1,0000	1,0000	-	0,9988	1,0000
W	-	0,1193	0,3024	-	-	0,2107	0,1109	0,0971	-	0,0946	0,0466
	FLOR										
LN	0,2385	-	0,1980	-	0,3300	-	-	0,2225	0,2176	-	-
G	0,2478	-	0,1812	-	0,3338	-	-	0,2539	0,3102	-	-
B	0,8388	-	1,0000	-	0,9092	-	-	0,3592	0,9959	-	-
W	0,3250	-	0,1710	-	0,3767	-	-	0,3922	0,4559	-	-
	FOLHA										
LN	0,24	0,14	0,0976	0,0722	0,0843	0,29	0,17	0,1136	0,29	0,0465	0,0214
G	0,29	0,19	0,0992	0,0749	0,1226	0,31	0,19	0,1564	0,35	0,0233	0,0217
B	0,95	0,53	0,5758	0,6630	1,0000	0,86	0,96	1,0000	0,95	0,9969	0,1448
W	0,24	0,29	0,1322	0,1236	0,2084	0,43	0,26	0,2417	0,39	0,0270	0,0650
	FRUTO										
LN	-	-	0,0819	-	0,0528	-	0,0545	-	0,0307	-	0,0608
G	-	-	0,0742	-	0,0496	-	0,0572	-	0,0340	-	0,0921
B	-	-	0,2276	-	0,9879	-	0,1351	-	0,9943	-	0,1882
W	-	-	0,1005	-	0,0544	-	0,1290	-	0,1108	-	0,2061
	MADEIRA										
LN	-	0,0818	0,1752	-	-	0,1656	-	-	0,0691	0,1346	0,2269
G	-	0,1750	0,1868	-	-	0,1731	-	-	0,2054	0,2050	0,3002
B	-	0,7849	0,9998	-	-	0,2913	-	-	0,9993	0,9892	0,6741
W	-	0,2698	0,2399	-	-	0,2825	-	-	0,1913	0,2434	0,3575
	RAIZ										
LN	0,0716	0,0923	0,4218	0,1076	-	0,2401	-	0,0540	0,0740	0,0930	-
G	0,1391	0,1913	0,4394	0,1600	-	0,3372	-	0,1432	0,1413	0,2019	-
B	0,6184	0,5944	0,9994	0,4378	-	0,6760	-	1,0000	0,1719	0,9999	-
W	0,1614	0,2179	0,4763	0,4378	-	0,3658	-	0,1672	0,0961	0,2105	-
	GALHO										
LN	-	0,0713	0,1101	0,2158	0,1381	0,1089	-	0,0686	0,0576	0,0455	0,0401
G	-	0,1118	0,0945	0,1794	0,1221	0,1600	-	0,0825	0,1169	0,0600	0,0673
B	-	1,0000	0,9978	0,1196	0,9999	1,0000	-	0,9999	0,2342	0,7124	0,5009
W	-	0,1355	0,0946	0,1280	0,0991	0,2127	-	0,0957	0,0949	0,0918	0,0974

\* LN- Lognormal; G- Gamma; B- Beta; W- Weibull

APÊNDICE 5 – Valores da probabilidade de aderência às distribuições Log-normal, Gamma, Beta e Weibull, obtidas via Teste de Kolmogorov-Smirnov, para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em tecidos vegetais de *Eucalyptus* sp.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Funções	FOLHA										
LN*	-	0,1778	0,1222	0,0319	0,0923	0,2471	0,2530	-	0,1852	-	-
G	-	0,1592	0,1377	0,0471	0,0780	0,2248	0,2902	-	0,3025	-	-
B	-	0,3585	0,9771	0,9654	0,5939	1,0000	0,9984	-	0,9953	-	-
W	-	0,1157	0,2342	0,1015	0,0673	0,2024	0,3879	-	0,3798	-	-
	GALHO										
LN	0,0380	0,0908	0,2754	-	-	0,1186	-	-	0,1562	-	-
G	0,0629	0,1040	0,2264	-	-	0,1019	-	-	0,2377	-	-
B	0,5406	0,6207	1,0000	-	-	1,0000	-	-	0,3601	-	-
W	0,0895	0,1239	0,1013	-	-	0,1195	-	-	0,2249	-	-
	MADEIRA										
LN	0,1256	0,0932	0,3253	0,0331	0,0377	0,0861	0,0908	0,9846	-	-	0,9631
G	0,1049	0,1767	0,2877	0,1285	0,1388	0,1200	0,1469	0,9652	-	-	0,8562
B	0,3497	0,7444	1,0000	1,0000	1,0000	0,1416	1,0000	1,0000	-	-	1,0000
W	0,0940	0,2001	0,1935	0,2069	0,1605	0,2142	0,1974	0,8694	-	-	0,7458
	RAIZ										
LN	-	0,5746	-	-	-	-	-	-	0,6245	0,5231	-
G	-	0,6248	-	-	-	-	-	-	0,7432	0,6149	-
B	-	1,0000	-	-	-	-	-	-	1,0000	1,0000	-
W	-	0,8476	-	-	-	-	-	-	0,8531	0,8324	-
	CASCA										
LN	-	0,0520	-	-	-	-	-	0,1091	0,0396	-	0,0233
G	-	0,0891	-	-	-	-	-	0,1394	0,1038	-	0,0417
B	-	0,5060	-	-	-	-	-	0,3276	0,9998	-	0,7701
W	-	0,1082	-	-	-	-	-	0,2757	0,1383	-	0,0910

\* LN- Lognormal; G- Gamma; B- Beta; W- Weibull

APÊNDICE 6 – Valores da probabilidade de aderência às distribuições Log-normal, Gamma, Beta e Weibull, obtidas via Teste de Kolmogorov-Smirnov, para os elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), em tecidos vegetais de *Pinus* sp.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Funções	ACICULA										
LN*	-	0,0362	0,1334	0,0295	0,0104	0,0976	0,0896	0,1128	0,0037	0,5421	0,3289
G	-	0,0283	0,1092	0,1066	0,0624	0,0955	0,0592	0,1472	0,0198	0,2658	0,2683
B	-	1,0000	1,0000	0,9995	1,0000	0,1443	0,9999	0,9995	0,2943	0,1547	0,3549
W	-	0,0491	0,0967	0,1409	0,1561	0,1408	0,0558	0,0527	0,0561	0,2354	0,4137
	MADEIRA										
LN	-	0,1239	0,1821	-	0,1217	-	0,1337	0,1529	0,1184	-	0,1847
G	-	0,1925	0,2345	-	0,1375	-	0,1081	0,2283	0,2330	-	0,2069
B	-	0,5695	1,0000	-	0,2530	-	1,0000	0,9997	0,9995	-	0,3774
W	-	0,2268	0,2232	-	0,2105	-	0,1431	0,2614	0,2377	-	0,2542
	CASCA										
LN	0,0895	0,0641	0,1261	0,0610	0,0665	0,2144	0,0826	0,1404	0,0226	0,0708	0,1763
G	0,1530	0,0795	0,1703	0,1567	0,1472	0,1826	0,0465	0,2310	0,0769	0,1417	0,2332
B	0,7390	1,0000	1,0000	1,0000	0,7244	0,1247	0,9998	0,7383	0,8778	0,9983	0,5449
W	0,2424	0,1109	0,1437	0,2188	0,1720	0,1376	0,0460	0,3284	0,0661	0,2031	0,2839
	GALHO										
LN	0,0682	-	0,0753	0,1101	0,0998	0,0728	0,1301	0,0048	0,0375	0,5487	0,6892
G	0,1035	-	0,0620	0,2100	0,1716	0,1134	0,1013	0,1204	0,0557	0,6859	0,5347
B	0,5752	-	1,0000	1,0000	1,0000	0,7452	1,0000	0,9989	0,9905	0,8236	0,9529
W	0,1322	-	0,0614	0,2902	0,2579	0,2110	0,0828	0,1831	0,0708	0,1453	0,1862

\* LN- Lognormal; G- Gamma; B- Beta; W- Weibull