

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

**DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E ALTURA DE  
AMOSTRAGEM PARA A QUANTIFICAÇÃO DE  
NUTRIENTES EM *Acacia mearnsii* De Wild.**

**TESE DE DOUTORADO**

**Fabio Luiz Fleig Saidelles**

**Santa Maria, RS, Brasil.  
2005**

**DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E ALTURA DE  
AMOSTRAGEM PARA A QUANTIFICAÇÃO DE  
NUTRIENTES EM *Acacia mearnsii* De Wild.**

**por**

**Fabio Luiz Fleig Saidelles**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Mauro Valdir Schumacher**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2005**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E ALTURA DE  
AMOSTRAGEM PARA A QUANTIFICAÇÃO DE  
NUTRIENTES EM *Acacia mearnsii* De Wild.**

elaborada por  
**Fabio Luiz Fleig Saidelles**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Mauro Valdir Schumacher, Dr. (UFSM)  
(Presidente/orientador)

---

Paulo Renato Schneider, Dr. (UFSM)

---

Solon Jonas Longhi, Dr. (UFSM)

---

Marcos Vinicios Winckler Caldeira, Dr. (FURB)

---

Flavio Luiz Foletto Eitz, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 24 de junho de 2005.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Geromildo (in memorian) e Ida, aos meus irmãos Julio, Maria e Ana. Especialmente a minha esposa Rosane e ao meu filho Guilherme.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço da forma mais sincera:

Ao meu orientador, Professor Dr. Mauro Valdir Schumacher, pelo apoio, incentivo e orientação;

Especialmente à colega e amiga doutoranda Francine Neves Calil, pelo apoio, incentivo e ajuda durante a execução deste trabalho;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, pela execução deste trabalho.

Aos professores Dr. Paulo Renato Schneider, Dr. Cezar Augusto Guimarães Finger e Dr. Solon Jonas Longui, pela força para o término deste trabalho.

Aos Engenheiros Florestais Gelson Pase Dal Ross e João Vianezi Menezes da Silva, pela ajuda na coleta dos dados. Em especial, a Rudi Witschoreck, que foi essencial na análise dos dados;

A minha esposa Rosane do Amaral Peixoto e meu filho Guilherme Peixoto Saidelles, por proporcionarem constante crescimento;

Aos meus pais Geromildo Sauzem Saidelles (in memoriam) e Ida Fleig Saidelles, pela minha formação e criação em um ambiente muito prazeroso;

Aos meus irmãos Julio Cezar Fleig Saidelles e esposa Sonia Rosetti, Maria Isabel Fleig Saidelles e Ana Paula Fleig Saidelles e esposo Rogenio de Mello Campodonio, por não deixar esmaecer durante a execução desta;

Ao meu sogro Mario Pires Peixoto, a minha sogra Maria Elsa do Amaral Peixoto e ao meu cunhado Mauro do Amaral Peixoto, pelo constante incentivo;

Às amigas Elaine Costa, Liliane Albrecht da Fontoura e Viviane Martins, pelo apoio nas horas difíceis;

Aos colegas de FEPAGRO Nelson Henrique Abiatti da Silva, Roberto Trevisan, Gilson Schlindwein, Angélica Polenz Wielewicki e Rita de Cássia Sobrosa Trento, pela força;

A todos que, de uma maneira ou outra, me ajudam.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E ALTURA DE AMOSTRAGEM PARA A QUANTIFICAÇÃO DE NUTRIENTES EM *Acacia mearnsii* De Wild.**

AUTOR: FABIO LUIZ FLEIG SAIDELLES  
ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de junho de 2005.

O objetivo deste estudo foi quantificar a biomassa e determinar o ponto ótimo de amostragem para a quantificação de nutrientes em árvores de *Acacia mearnsii* com quatro anos de idade. O trabalho foi realizado em um povoamento de acácia-negra localizado na cidade de Arroio dos Ratos, em uma fazenda pertencente à empresa SETA S/A, nas coordenadas 30° 07' 12" de latitude sul e 51° 57' 45" de longitude, com altitude média de 90m. O primeiro passo foi a realização do inventário florestal no povoamento, onde foram abatidas 30 árvores, distribuídas em 7 classes diamétricas, para cobrir a heterogeneidade do povoamento. Após foram determinados a biomassa e o teor de nutrientes dos componentes: folha, galho vivo, galho morto, raiz, madeira e casca. Para os componentes madeira e casca foram retiradas amostras ao longo de fuste nas posições de 1, 3, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% da altura total das árvores. A biomassa total das árvores de *Acacia mearnsii* com quatro anos foi de 72,91 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuída 64% na madeira, 11% nas raízes, 10% na casca, 7% nos galhos vivos, 5% nos galhos mortos e 3% nas folhas. A quantidade total de macronutrientes, em kg ha<sup>-1</sup>, foi 384,94 de N; 15,69 de P; 200,06 de K; 267,74 de Ca; 58,54 de Mg; e 18,57 de S; e de micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>), foi 1.249,01 de B; 195,33 de Cu; 6.485,64 de Fe; 1.073,52 de Mn; e 809,33 de Zn. Deste total, o componente folha acumulou 20% do N, 18% do P e Cu, 12% do K, 5% do Ca e Fe, 10% do Mg e S, 17% do B, 19% do Mn e 6% do Zn; as raízes acumularam 14% do N, Cu, Mn e Zn, 11% do P e K, 8% do Ca, 7% do Mg, 15% do S, 17% do B e 66% do Fe; a madeira acumulou 21% do N, 27% do P, 30% do K, 50% do Ca, 36% do Mg, 45% do S, 26% do B e Mn, 37% do Cu, 9% do Fe e 41% do Zn; a casca acumulou 22% do N e Mg, 17% do P, 21% do P e Ca, 22% do Mg, 10% do S, Fe e Cu, 20% do B e Mn e 12% do Zn; os galhos mortos acumularam 8% do

N, S e B, 6% do P, 4% do K, 7% do Ca, 11% do Mg, Cu e Zn, 5% do Fe e 9% do Mn; os galhos vivos acumularam 15% do N, 21% do P, 22% do K, 9% do Ca, 13% do Mg e B, 12% do S e Mn, 10% do Cu, 5% do Fe e 16% do Zn. O carbono total estocado na biomassa foi 29,79 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuído 64% na madeira, 11% na raiz, 9% na casca, 7% nos galhos vivos e 4% nos galhos mortos e folhas. Para os nutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), não foi verificada variação significativa ao longo do fuste, para os componentes madeira e casca, indicando qualquer altura para amostragem no fuste para quantificação dos nutrientes. O ponto ótimo de amostragem, para quantificação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) no fuste, deve situar-se a 50% da altura total das árvores de *Acacia mearnsii*.

Palavras-chave: estimativa de biomassa, ponto de amostragem no fuste para quantificação de nutrientes, acácia-negra.

## ABSTRACT

Doctor`s Thesis  
Post-Graduation Program in Forest Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **BIOMASS DETERMINATION AND SAMPLING POINT FOR NUTRIENTS QUANTIFICATION IN *Acacia mearnsii* De Wild.**

AUTHOR: FABIO LUIZ FLEIG SAIDELLES  
ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER  
Date and Place: Santa Maria, 24 de junho de 2005.

The objective of this study was to quantify the biomass and to determine the optimal sampling point for nutrients quantification in four year old *Acacia mearnsii* trees. It was conducted in black wattle stand, located in Arroio dos Ratos city in a farm belonging to SETA S/A, having as coordinates 30° 07' 12" of south latitude and 51° 57" 45" of longitude, with 90 m of average altitude. The first step was the forest inventory, where 30 trees were felled, distributed in 7 diametric classes, to cover the stand heterogeneity, then the biomass and the nutrients amount in the leaves, live branches, dead branches, roots, wood and bark were determined. Samples of wood and bark were taken along the stem in the positions of: 1, 3, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90% of the total height. The total biomass from *Acacia mearnsii* trees was of 72, 91 Mg ha<sup>-1</sup> and was divided in: 64% in the wood, 11% in the roots, 10% in the bark, 7% in the live branches, 5% in the dead branches and 3% in the leaves. The total amount of macronutrients (kg ha<sup>-1</sup>) were: 384,94 of N, 15,69 of P, 200,06 of K, 267,74 of Ca, 58,54 of Mg and 18,57 of S, and the micronutrients (g ha<sup>-1</sup>) were: 1.249,01 of B, 195,33 of Cu, 6.485,64 of Fe, 1.073,52 of Mn and 809,33 of Zn. From this total, the leaf component accumulated 20% of the N, 18% of P and Cu, 12% of the K, 5% of Ca and Fe, 10% of Mg and S, 17% of B, 19% of Mn and 6% of Zn; the roots accumulated 14% of N, Cu, Mn and Zn, 11% of P and K, 8% of Ca, 7% of Mg, 15% of S, 17% of B and 66% of Fe; the wood accumulated 21% of N, 27% of P, 30% of K, 50% of Ca, 36% of Mg, 45% of S, 26% of B and Mn, 37% of Cu, 9% of Fe and 41% of Zn; the bark accumulated 22% of N and Mg, 17% of P, 21% of P and Ca, 22% of Mg, 10% of S, Fe and Cu, 20% of B and Mn and 12% do Zn; the dead branches accumulated 8% of N, S and B, 6% of P, 4% of K, 7% of Ca, 11% of Mg, Cu and Zn, 5% of Fe and 9% of Mn; the live



branches accumulated 15% of N, 21% of P, 22% of K, 9% of Ca, 13% of Mg and B, 12% of S and Mn, 10% of Cu, 5% of Fe and 16% of Zn. The total amount of carbon stored in the biomass was 29,79 Mg ha<sup>-1</sup>, allocated 64% in the wood, 11% in the roots, 9% in the bark, 7% in the live branches and 4% in the dead branches and leaves. The nutrients Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn didn't show significant difference along the stem to wood and bark, indicating that there isn't an exact point for sampling along the stem to nutrients quantification. The optimal sampling point to nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) quantification along the stem should be 50% from the total height in *Acacia mearnsii* trees.

Key-Words: biomass estimation, sampling point along the stem for nutrients quantification, black wattle.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Número de árvores, por hectare, de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., distribuídas nos intervalos de classes de DAP.....	50
FIGURA 2 - Percentagem média de contribuição da biomassa do componente casca em árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., por classe de diâmetro. ....	53
FIGURA 3 - Percentagem média de contribuição dos componentes da biomassa, por hectare, em árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. ....	56
FIGURA 4 - Distribuição percentual do estoque dos macronutrientes, por hectare, nos componentes da biomassa da <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	68
FIGURA 5 – Percentagem de exportação de macronutrientes com a colheita da madeira e da casca de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	70
FIGURA 6 - Distribuição percentual do estoque dos micronutrientes, por hectare, nos componentes da biomassa da <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	71
FIGURA 7 - Percentagem de exportação de micronutrientes com a colheita da madeira e da casca de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	72
FIGURA 8 - Percentagem de carbono nos diferentes componentes da biomassa, por hectare, em árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ..	75

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Relação hipsométrica utilizada para cálculo da altura das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.com quatro anos de idade. ....	48
TABELA 2 - Valores dendrométricos do povoamento de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. com quatro anos de idade. ....	49
TABELA 3 - Biomassa em kg árvore <sup>-1</sup> dos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., por classe de diâmetro. ....	51
TABELA 4 - Contribuição percentual dos componentes da biomassa das árvores amostradas de <i>Acacia mearnsii</i> nas classes de DAP. ....	52
TABELA 5 - Equações ajustadas para estimar a biomassa dos componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> , com quatro anos de idade, e respectivos erro padrão da estimativa em % e coeficiente de determinação ajustado. ....	54
TABELA 6 - Biomassa (Mg ha <sup>-1</sup> ) nos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.,com quatro anos de idade. ....	56
TABELA 7 - Teores médios de macronutrientes (g kg <sup>-1</sup> ) nos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	58
TABELA 8 - Teores médios de micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> ) nos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	60
TABELA 9 - Equações de regressão utilizadas para estimar o estoque de macronutrientes (g/árvore) e micronutrientes (mg/árvore) contidos nos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	61
TABELA 10 - Quantidade de macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> ) encontrada na biomassa, por hectare, dos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	65
TABELA 11 - Quantidade de micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> ) encontrada na biomassa, por hectare, nos diferentes componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	66

TABELA 12 - Teores médios de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ), biomassa e estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade.....	73
TABELA 13 - Teores médios de macronutrientes ao longo do fuste para os componentes madeira e casca de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	76
TABELA 14 - Teores médios de micronutrientes ao longo do fuste para os componentes madeira e casca de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	78
TABELA 15 - Valores do somatório da massa de nutrientes e da biomassa e dos teores representativos para macro e micronutrientes no fuste, para os componentes madeira e casca de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	80
TABELA 16 - Altura representativa, dada em percentagem da altura total, a qual representa o ponto de amostragem dos macronutrientes nos componentes madeira e casca no fuste de <i>Acácia mearnsii</i> De Wild.....	81

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Equações utilizadas para cálculo do volume total com e sem casca para <i>Acacia mearnsii</i> De Wild., com quatro anos de idade. ....	42
--	----

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Resultados das análises químicas do solo plantado com <i>Acacia mearnsi</i> De Wild., com quatro anos de idade.....	97
---	----

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA .....	20
2.1.	Caracterização do gênero <i>Acacia</i> .....	20
2.2.	<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.....	20
2.2.1.	Caracterização da espécie .....	20
2.2.2.	Distribuição geográfica .....	21
2.2.3.	Condições favoráveis ao seu desenvolvimento.....	22
2.2.4.	Utilidades da espécie .....	23
2.2.5.	Importância econômica da espécie .....	23
2.3.	Biomassa .....	24
2.3.1.	Biomassa acima do solo de árvores de <i>Acacia mearnsii</i> .....	24
2.3.2.	Biomassa abaixo do solo.....	26
2.4.	Aspecto nutricional das plantas .....	28
2.5.	Implicações ecológicas e silviculturais.....	33
2.6.	Ponto de amostragem dos nutrientes ao longo do fuste.....	37
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	39
3.1.	Características da área de estudo .....	39
3.1.1.	Localização .....	39
3.1.2.	Clima .....	40
3.1.3.	Solo .....	40
3.1.4.	Implantação do povoamento .....	40
3.2.	Inventário florestal da área amostral.....	41
3.2.1.	Relação hipsométrica .....	41
3.2.2.	Volume total com e sem casca.....	41
3.2.3.	Distribuição diamétrica .....	42
3.3.	Determinação da biomassa .....	42

3.3.1.	Biomassa acima do solo.....	42
3.3.2.	Biomassa abaixo do solo.....	43
3.3.3.	Relação entre o DAP e a biomassa arbórea .....	44
3.3.4.	Determinação da biomassa por área.....	44
3.4.	Determinação dos nutrientes nas árvores .....	44
3.4.1.	Determinação do teor de nutrientes nos componentes das árvores .....	44
3.4.2.	Relação entre o DAP e teor de nutrientes .....	45
3.4.3.	Quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa por hectare...	45
3.5.	Ponto de amostragem para quantificação dos nutrientes no fuste .....	46
3.5.1.	Determinação do teor de nutrientes ao longo do fuste .....	46
3.5.2.	Determinação do "Teor Representativo" .....	46
3.5.3.	Determinação da "Altura Representativa" .....	46
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
4.1.	Características dendrométricas do povoamento .....	48
4.1.1.	Relação h/d .....	48
4.1.2.	Valores dendrométricos do povoamento .....	49
4.2.	Distribuição do número de árvores por classe diamétrica .....	49
4.3.	Biomassa .....	50
4.3.1.	Distribuição da biomassa nos diferentes componentes das árvores, por classe de diâmetro.....	50
4.3.2.	Equações utilizadas para estimar a biomassa dos componentes das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> .....	53
4.3.3.	Distribuição da biomassa por hectare .....	55
4.4.	Nutrientes .....	58
4.4.1.	Determinação do teor de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de acácia-negra .....	58
4.4.2.	Equações ajustadas para determinar a quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa das árvores de <i>Acacia mearnsii</i> .....	61
4.4.3.	Determinação da quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa por hectare. ....	64
4.5.	Implicações ecológicas.....	66
4.6.	Carbono orgânico .....	72
4.6.1.	Teor de carbono nos componentes das plantas.....	72



4.6.2.	Estoque de carbono na biomassa .....	74
4.7.	Determinação do ponto de amostragem para a quantificação dos nutrientes no fuste .....	75
4.7.1.	Determinação do teor dos nutrientes na madeira e casca .....	75
4.7.2.	Determinação do "Teor Representativo". .....	79
4.7.3.	Determinação da "Altura Representativa" .....	80
5.	CONCLUSÕES.....	82
6.	BIBLIOGRAFIA.....	84

## 1. INTRODUÇÃO

A *Acacia mearnsii* De Wild., também conhecida por acácia-negra, apresentava em 2000, segundo o INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO DO RS (2005) a área plantada no Estado estimada em 96,40 Km<sup>2</sup>, ou 0,03%. Apesar da área de cobertura, a espécie é considerada uma das principais espécies reflorestadas em muitos municípios.

A acacicultura apresenta uma série de vantagens sócioeconômicas. Atividade ligada principalmente aos pequenos e médios produtores, cuja mão-de-obra é quase que exclusivamente familiar, o plantio da acácia-negra beneficia hoje mais de 40 mil famílias na região Sul do Brasil. O aproveitamento múltiplo, aliado à boa remuneração, faz dessa cultura uma das melhores opções de investimento no setor primário. Além do rápido crescimento e de sua fácil propagação, a acácia-negra tem grandes vantagens perante as demais espécies florestais dado o seu aproveitamento integral de casca e madeira. Da casca, extrai-se o tanino, que é utilizado no curtimento de couro e peles. A madeira é matéria-prima de primeira qualidade para a fabricação de papel e celulose; além disso, o carvão vegetal de acácia-negra é muito aceito no mercado em virtude da sua produtividade, economia e isenção de odores (Seta, 2005).

As florestas de acácia-negra apresentam estreita relação com os pequenos produtores nas regiões onde são cultivadas, o que faz com que elas sejam cada vez mais consideradas a “salvação da lavoura”. Cada vez mais sua colheita tem se tornado mais precoce, com redução da rotação, em busca de um retorno econômico mais rápido. Em muitos casos, é colhida com quatro anos. Este fato, associado à retirada da madeira e da casca no processo da colheita, pode ser considerado um problema quanto à exportação de nutrientes do sítio. Tanto o conhecimento do estoque de nutrientes no fuste, quanto nos demais componentes das árvores, são de fundamental importância para um monitoramento constante dos nutrientes exportados, para o qual se deve conhecer o ponto para retirada das amostras ao longo do fuste.

Com o conhecimento da biomassa, pode-se ter uma noção da quantidade de nutrientes armazenados nas espécies arbóreas e/ou de ecossistemas florestais, o

que se faz necessário para aumentar a eficiência no manejo dos povoamentos e estabelecer um balanço nutricional adequado.

A utilização de equações de regressão para estimar a biomassa e a quantidade de nutrientes dos componentes em povoamentos futuros permite, entre outras coisas, a utilização de métodos não-destrutivos, principalmente quando se trata do sistema radicular, que é de difícil amostragem.

O presente trabalho, realizado em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. com quatro anos de idade, tem os seguintes objetivos:

- Quantificar a biomassa acima e abaixo do solo dos componentes das árvores;
- Determinar o conteúdo dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S), dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) e de carbono (C) nos componentes da biomassa das árvores;
- Determinar a altura para amostragem dos componentes madeira e casca das árvores para a determinação dos nutrientes;
- Verificar as implicações silviculturais e ecológicas da colheita dos povoamentos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Caracterização do gênero *Acacia*

Constituem o gênero *Acacia* árvores, arbustos e trepadeiras lenhosas da família Leguminosae, subfamília das Mimosoideae, armadas de espinhos ou acúleos, raras vezes inermes na América. Apresenta folhas paripinadas (em espécies Australianas reduzidas a filódios, que parecem folhas de lâminas simples) e flores pequenas actinomorfas, em geral amarelas, em cabecinhas ou espigas, cálice campanulado, corola tubulosa, estames numerosos, sementes exalbuminadas de testa dura, com fissura anular (Burkart, 1979).

Segundo Boland *et al.* (1984), o gênero *Acacia* foi descrito pela primeira vez por Philip Miller em 1754. Tem sua origem no grego "AKazo", que significa espinho, descrição esta baseada em muitas espécies do gênero localizadas na África e Ásia, que contêm espinhos nos ramos e caule.

Para Resende *et al.* (1992), foram identificadas, até o momento, 1200 espécies, neste gênero. Encontrada em região tropical e subtropical, muito abundante nas savanas e matas, assim como em matas xerófitas, na América tropical, África, Ásia e Austrália, onde aparecem metade das espécies do gênero e uma proliferação extraordinária das espécies com filódios. Na América, ocorre naturalmente apenas uma espécie com filódios (Burkart, 1979).

### 2.2. *Acacia mearnsii* De Wild.

#### 2.2.1. Caracterização da espécie

A casca das árvores de *Acacia mearnsii* tem coloração marrom-escura, é dura e fissurada. A folhagem apresenta cor verde-escura, característica que dá origem ao nome vulgar da espécie, acácia-negra (Kannegiesser, 1990).

As folhas desta espécie são compostas bipinadas com 9 a 20 pares de eixos secundários, contendo cada um de 15 a 70 pares de folíolos com bordas arredondadas, com comprimento variando de 1,5 a 3,0 mm e largura de 0,5 a 0,75 mm. As florações são compostas por inflorescências com 20 a 30 flores de cor amarelo-creme pálidas, dispostas em panículas, ocorrendo no mês de outubro a dezembro (Kannegiesser, 1990 e Boland *et al.*, 1984). Para Boland *et al.* (1984), os frutos são legumes com 5 a 15 cm de comprimento por 4 a 8 mm de largura. A madeira apresenta o alburno claro e o cerne marrom-claro-avermelhado. A durabilidade é considerada moderada, com densidade básica de 800 kg m<sup>-3</sup>.

### 2.2.2. Distribuição geográfica

Conforme Boland *et al.* (1984), na região de origem da acácia-negra, a espécie cresce em zonas em que a temperatura média do mês mais quente varia entre 25° e 28° C e a temperatura média do mês mais frio varia de 0° a 5° C. A espécie não cresce com vigor em áreas nas quais ocorrem muitos dias seguidos com temperaturas que excedem 40° C. Na região de sua distribuição natural, ocorrem entre 10 a 40 geadas por ano, mas seu crescimento é reduzido quando cultivada em áreas de geadas fortes e muito numerosas. A precipitação média anual, nestas regiões, varia de 625 a 1000 mm, com 100 a 180 dias de chuva por ano. Não apresenta bom desenvolvimento quando submetida a período prolongado de estiagem no primeiro ano de implantação.

O primeiro plantio de *Acacia mearnsii* De Wild., a acácia-negra, no Rio Grande do Sul, foi realizado, segundo Oliveira (1968), em 1918. Os plantios comerciais tiveram início em 1930, com a importação de 30 quilos de sementes da África do Sul, e, em 1941, iniciou-se a utilização comercial desta espécie com a criação da SETA - Sociedade Extrativa de Tanino de Acácia Ltda. Em 1957, existiam 81 milhões de árvores de acácia-negra plantadas. Já Higa & Dedecek (1999) estimaram que a área plantada desta espécie em 1999, era de aproximadamente 100.000 ha.

### 2.2.3. Condições favoráveis ao seu desenvolvimento

Schumacher *et al.* (2004), com objetivo de avaliar o crescimento de plantas de acácia-negra em diferentes formas de preparos de solo, concluíram que após dois anos o preparo de solo que propiciou maior incremento em volume de madeira foi o tratamento no qual se utilizou gradagem na faixa de plantio.

A espécie apresenta bom crescimento em solos moderadamente profundos, bem drenados e de textura média. Devido ao seu sistema radicular superficial, desenvolve-se bem mesmo em solos rasos, mas torna-se muito susceptível aos ventos fortes, podendo tombar com facilidade. Não tolera solos mal drenados, hidromórficos ou muito úmidos e apresenta desenvolvimento reduzido em solos muito ácidos e de baixa fertilidade. A acácia-negra é uma espécie eficiente na fixação de nitrogênio, recuperadora e enriquecedora do solo pela deposição elevada de folhedo rico em nitrogênio (EMBRAPA, 2005).

Higa *et al.* (1998b), em trabalho estudando o efeito das geadas sobre o desenvolvimento de procedências de *Acacia mearnsii*, observaram que geadas ocorridas com temperaturas mínimas absolutas de - 4°C causaram danos às árvores de todas as procedências testadas. A suscetibilidade da acácia-negra às geadas tem limitado a expansão das áreas plantadas no sul do Rio Grande do Sul. Mas o efeito da geada pode ser amenizado com o uso de procedências, ou espécies melhoradas e mais resistentes.

Segundo Kannegiesser (1990), a *Acacia mearnsii* é encontrada naturalmente em solos derivados de granitos, basaltos e arenitos, porém é comum em solos derivados de rochas metamórficas, aluviais e podzólicas, que são solos profundos de moderada a baixa fertilidade. Os menores crescimentos da acácia-negra foram encontrados em solos úmidos, relativamente profundos, com textura leve, bem drenados e geralmente ácidos, com pH entre 5 e 6,5.

Rachwal *et al.* (1997) relata que, no Brasil, em trabalho efetuado pelo Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, a produção de madeira em solos derivados do basalto foi de até quatro vezes superior à obtida em solos originários do arenito Botucatu.

#### 2.2.4. Utilidades da espécie

Segundo Resende *et al.* (1992), da *Acacia mearnsii*, pode-se utilizar desde a madeira até a casca. Da casca, extrai-se o tanino, com utilização no curtimento do couro e peles, na produção de anticorrosivos e até substâncias usadas no tratamento da água. Já a madeira pode ser usada como lenha ou carvão e é considerada excelente matéria-prima para a fabricação de celulose e papel de superior qualidade.

As plantações de acácia-negra têm características multifuncionais: agem na recuperação de solos de baixa fertilidade; permitem consórcio com cultivos agrícolas e criação de animais e de suas árvores; além da madeira, é possível o uso da casca para fins industriais (EMBRAPA, 2005).

Carpanezzi (1998) destaca a acácia-negra como espécie ideal na recuperação ambiental, pois é uma espécie pioneira de vida curta que cobre rapidamente o solo, não é invasora, não apresenta rebrota de cepa, não inibe a sucessão local e enriquece o solo pela elevada deposição de folheto rico em nitrogênio.

Neste sentido, Sherry (1971) relata uma incorporação de até 225 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio pelas bactérias nitrificantes associadas às raízes da acácia-negra.

Devido ao seu rápido crescimento e facilidade de adaptação a diferentes locais, mesmo em áreas que tenham perdido o solo superficial, a acácia-negra tem sido efetiva no controle da erosão (Kannegiesser, 1990).

#### 2.2.5. Importância econômica da espécie

Segundo informações da EMBRAPA (2005), a acácia-negra é de grande importância econômica e social nas pequenas propriedades existentes na região de plantio, pois cerca de 60% das plantações pertencem aos pequenos proprietários. A maioria deles planta e colhe acácia-negra na entressafra. Na região de produção, para a maioria dos produtores, a *Acacia mearnsii* constitui-se numa das principais atividades na formação da renda rural e, em muitos casos, é a única atividade na propriedade rural e, portanto, a única fonte de renda das propriedades rurais.

Santos *et al.* (2001) relatam que o rápido crescimento da acácia-negra, associado ao aproveitamento integral da madeira, torna essa espécie ideal para reflorestamento e para utilização industrial. Sua contribuição aos mais variados segmentos econômicos e industriais é ampla, tanto pelo aproveitamento da casca para extração do tanino, quanto pelo uso da madeira para diversos fins, tais como a fabricação de papel e celulose, chapas de aglomerados, carvão e lenha.

A concentração média de tanino na casca de árvores de acácia-negra, em povoamentos de 3 a 8 anos, ficou em 15,5% (Camillo, 1997). Num povoamento com oito anos a produção estimada é de 200 m<sup>3</sup> de madeira e 16 toneladas de casca (Higa *et al.*, 1998a).

Segundo Schneider *et al.* (2000), a importância da espécie está relacionada ao fato de a acácia-negra permitir ser cultivada pelos pequenos agricultores em sistemas agrossilvopastoris. No início do desenvolvimento, quando as plantas apresentam um dossel aberto, estas possibilitam que os produtores cultivem milho, melancia e outras culturas em consórcio com a acácia-negra. Mais tarde, quando o dossel está fechado, a floresta proporciona consórcio com a pecuária, aumentando com isso a rentabilidade do investimento.

## **2.3. Biomassa**

### **2.3.1. Biomassa acima do solo de árvores de *Acacia mearnsii***

Estudos com biomassa são importantes porque permitem obter informações sobre características de diferentes ecossistemas e direcionam as decisões para o planejamento do tipo de manejo a ser utilizado (Andrae & Krapfenbauer, 1983a).

Segundo Schumacher (1996), durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte dos carboidratos são canalizados a fim de produzirem a biomassa da copa. Entretanto, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e ramos diminui gradativamente.



A biomassa e o crescimento das árvores dependem, entre outros fatores, da qualidade do sítio, textura e disponibilidade de nutrientes no solo, das características climáticas e da altitude na qual está localizado o povoamento (Kadeba, 1994).

Para Soares *et al.* (1996), como a determinação da biomassa dos diversos componentes de todas as árvores em um povoamento florestal é inviável ou, às vezes, impraticável, torna-se necessária a utilização de métodos estimativos que impliquem a derrubada de algumas árvores para o ajuste de modelos e equações, visando obter estimativas da biomassa do povoamento.

A biomassa dos componentes das árvores distribuiu-se na seguinte ordem decrescente: lenho>casca>galho>folhas, observando que a percentagem dos componentes varia com a espécie (Drumond *et al.*, 1997).

Caldeira (1998), trabalhando com três procedências de *Acacia mearnsii* com idade de dois anos e quatro meses, constatou que, em duas delas, o gradiente de produção de biomassa acima do solo, seguiu a ordem: madeira > folhas > galhos vivos > casca > galhos mortos. Já o gradiente apresentado por outra procedência foi o seguinte: madeira > galhos vivos > folhas > casca > galhos mortos.

Son *et al.* (1998) constataram que a biomassa acima do solo do Ginko biloba com 15 anos distribuiu-se em 57, 20, 13 e 10% na madeira do tronco, nos galhos, na casca e nas folhas, respectivamente.

Carbonera Pereira *et al.* (1997) verificaram, em povoamentos de acácia-negra, com nove anos de idade, sendo a biomassa total acima do solo de 159 t ha<sup>-1</sup>, considerando, em média, 2.074 árvores por hectare, que a biomassa distribuiu-se na seguinte ordem decrescente: madeira, seguida da casca, dos galhos vivos, dos galhos mortos e das folhas. No total, aproximadamente 79% encontravam-se armazenados na madeira, 9 % na casca e 3% nas folhas.

Schumacher (1995), realizando estudo em uma floresta de *Eucalyptus saligna* com quatro anos, obteve uma produção de biomassa total de 94,8 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuída na seguinte ordem: 7% nos galhos, 8% na casca, 9% nas folhas, 16% nas raízes e 60% na madeira. Para a mesma espécie, aos sete anos e com a produção de biomassa de 15,8 Mg ha<sup>-1</sup> distribuídas 3, 5, 7, 11 e 74% nas folhas, ramos, casca, raiz e madeira, respectivamente, mostrando a tendência de o percentual de biomassa de copa e raízes diminuir com o passar do tempo.

### 2.3.2. Biomassa abaixo do solo

Segundo Andrade (1997), além de promover a fixação da árvore, o sistema radicular tem estreita relação com o solo, pois absorve água e nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, participa ativamente do processo de formação do solo, aumenta a capacidade de infiltração de água no solo e fornece exsudados para os microrganismos deste. O solo, por sua vez, condiciona o desenvolvimento das raízes em função de suas características intrínsecas.

Ainda, segundo o autor, uma avaliação adequada da biomassa acumulada nas raízes e do teor de nutrientes de seus tecidos pode auxiliar no manejo de espécies arbóreas para os mais variados fins. Em condições de campo, a metodologia mais usual para a quantificação da biomassa radicular de espécies arbóreas é a escavação com posterior retirada do sistema radicular para sua pesagem e determinação do teor de umidade e nutrientes. Neste processo, deve se ter o maior cuidado, pois, dependendo da resistência do tecido radicular, da espessura das raízes, da textura e estrutura do solo, e da distribuição do sistema radicular, especialmente em profundidade, pode-se ter perdas significativas de raízes, devido aos danos causados durante a retirada das raízes do solo.

Em trabalho realizado com *Eucalyptus saligna*, Andrae (1983) observou que a percentagem de biomassa total abaixo do solo diminui com a idade, mesmo que a percentagem de raízes grossas tenha aumentado.

Andrade (1997) destaca que, assim como a biomassa acima do solo, a biomassa radicular das plantas é definida na forma de manejo utilizada, e o espaçamento entre as plantas definido no plantio representa um dos fatores mais importantes para a produção de biomassa radicular. Devido à competição existente entre as plantas, a produção de biomassa por árvore é menor em espaçamentos menores do que em espaçamentos maiores, porém a produção por hectare pode ser mais elevada, existindo um número de indivíduos mais adequado por área para se atingir a máxima produção de biomassa. Em avaliações da biomassa radicular de uma espécie de leguminosa arbórea (*Albizia lebbek*) sob diferentes idades e densidades de plantio, constatou-se que, independente da idade do povoamento, a

maior quantidade de raízes por hectare foi encontrada no espaçamento menor, no qual havia a maior densidade de plantas.

A matéria seca da biomassa acima do solo representa mais de 70% da biomassa total das plantas de laranja. As folhas constituem cerca de 10 %, e a raiz, cerca de 27,7 % do total (Mattos Jr. *et al.*, 2003).

Segundo Andrade (1997), de acordo com características genéticas de cada espécie arbórea, dentre elas sua exigência nutricional, a fertilidade do solo, o manejo aplicado e de associações entre microrganismos e raízes, quantidades variadas de nutrientes estarão estocadas no sistema radicular. Espécies de leguminosas arbóreas que formam associações eficientes com bactérias fixadoras de nitrogênio podem conter uma maior reserva de N.

Para Drexhage & Colin (2001), o conhecimento da biomassa do sistema radicular e sua arquitetura é de difícil avaliação, devido à dificuldade de amostragem, especialmente para árvores de grande porte. Devido a isto, são utilizadas equações que estimam a biomassa deste componente baseado no DAP. Para o autor, as equações podem se basear no DAP como variável para estimar a biomassa radicular. Para aplicação em inventário florestal e como variável de entrada em modelos de crescimento das árvores, a equação serve para estimar a biomassa do sistema radicular, sendo que, para isto, precisa-se extrair a raiz.

Segundo Schumacher (1995), as diferenças na produção de biomassa de raízes para uma mesma espécie, com mesma idade, porém em diferentes sítios, podem ser atribuídas à quantidade de nutriente e às condições inerentes ao local onde foi instalado o povoamento, tais como teor da argila e matéria orgânica do solo.

Conforme Gonçalves *et al.* (2000), a produção de biomassa abaixo do solo varia com a espécie e o espaçamento. A contribuição do sistema radicular para a biomassa total varia em função da idade, ocorrendo os percentuais maiores na fase inicial do crescimento, sendo que a energia está canalizada para a formação da copa e do sistema radicular.

## 2.4. Aspecto nutricional das plantas

Segundo Marschner (1988), dependendo da espécie, do estágio de desenvolvimento da planta e do componente, a quantidade de nitrogênio que a planta requer para um ótimo crescimento varia entre 2 e 5% do peso seco da planta; a quantidade de enxofre fica entre 0,1 e 0,5%; a de fósforo entre 0,3 e 0,5%; a de magnésio, entre 0,15 e 0,35%; a de cálcio entre 0,1 e 5,0%; e a de potássio, entre 2 e 5%.

Para Salisbury & Ross (1999), são considerados macronutrientes todos aqueles elementos que apresentarem na planta concentração de no mínimo  $1\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca e micronutrientes aqueles que tiverem suas concentrações iguais ou menores que  $100\text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca.

Segundo Montès *et al.* (2002), a concentração dos elementos nos diferentes componentes mostra que Ca, N, K e Mg apresentam maior valor nas folhas se comparada com a concentração na madeira do tronco. Os autores observaram também que a concentração de Ca e N, relacionada com a biomassa, indica que, o estoque de nutrientes é maior na madeira do tronco e galhos, pois estes apresentam maior biomassa.

Conforme Santana *et al.* (1999), a disponibilidade de nutrientes é um dos principais fatores para o crescimento das plantas, embora nem sempre se consiga boa equivalência entre os teores no solo e a quantidade absorvida pela planta.

Insucessos nas tentativas de relacionar nutrientes contidos no solo com nutrientes nas árvores demonstram muitas vezes relações inversas entre eles. Contudo, em solos mais intemperizados, espera-se que essa equivalência seja válida para potássio, cálcio e magnésio em formas trocáveis (Barros *et al.*, 1986).

Santana *et al.* (1999) constataram que, em solos com baixos teores de nutrientes nas formas disponíveis e totais, a exportação de elevadas quantidades de nutrientes pela colheita florestal ao longo das rotações pode levar à redução da capacidade produtiva do sítio. Por isso, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, especialmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal.

Andrade (1997) afirma que de acordo com a quantidade de biomassa radicular acumulada e o teor de nutrientes contidos em seus tecidos, há um maior ou menor estoque de nutrientes armazenados nesta parte do vegetal. Com a decomposição das raízes senescentes, parte desses nutrientes retorna ao solo e é aproveitada pela própria árvore e/ou por outros componentes do sistema. O retorno de todos os elementos contidos no sistema radicular depende da morte da planta e posterior decomposição desse material orgânico. A velocidade com que esse processo irá ocorrer vai depender das características climáticas, da atividade dos macrorganismos e microrganismos decompositores do solo e da composição química do próprio material radicular, que pode variar de acordo com a espécie arbórea, com as condições edafoclimáticas e com a fase de desenvolvimento da planta.

Santana *et al.* (1999) observaram uma grande variação no conteúdo de nutrientes na biomassa do tronco das árvores, não só entre as procedências, mas também entre sítios, refletindo, de certa forma, a diferença na produção e evidenciando a estreita relação entre a produção de biomassa e o conteúdo de nutrientes nas árvores. O cálcio é o nutriente com que se deve ter maior cuidado, pois a forma trocável já seria insuficiente para atender à demanda das plantas na rotação nos sítios estudados. Então, a solução é adotar um sistema de manejo que propicie a devolução dos resíduos ao solo florestal, diminuindo a perda de fertilidade e aumentando a sustentabilidade do ecossistema.

Segundo Harmand *et al.* (2004), para três espécies estudadas (*Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*) até 55 meses de idade a concentração de nutrientes nas plantas deu-se na seguinte ordem: folhas > casca ou galhos vivos > madeira, para o N, P, K e Mg. Já para o Ca a ordem foi: casca > folhas > galhos vivos > madeira. Em Senna e Acacia, exceto para o cálcio, a concentração de nutrientes nos galhos vivos foi maior do que a encontrada nos galhos mortos. A concentração de nutrientes geralmente cresce com a redução do diâmetro de troncos e galhos, exceto para K e Ca em Senna.

Em *Eucalyptus* e *Acacia*, a casca é o componente que mais contribui para o acúmulo de Ca e Mg. As folhas e galhos, que apresentam pouca biomassa, foram mais eficientes do que a madeira, no que se refere à retenção de nutrientes. Por exemplo, as folhas, que representaram apenas 7% do total de biomassa acima do

solo, contêm 22% de total de nutrientes. A quantidade de nutrientes exportados do sítio florestal pelo manejo aplicado está diretamente relacionada com os componentes retirados do sistema, por exemplo, a casca, quando retirada do sítio, causa uma perda de Ca e Mg maior que 50% para muitas espécies (Harmand *et al.*, 2004).

Conforme Reis *et al.* (1987), a alocação de N para a casca foi menor do que 10%. Para os demais nutrientes, esses valores foram superiores a 17%, embora a biomassa da casca responda por apenas 12% do total. A exploração da madeira com casca seria mais crítica para o Ca, pois a casca contém aproximadamente 52% no melhor sítio, além de conter 25% do total de P, Mg e K da planta.

O acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea varia com o elemento químico, em função da fertilidade do solo, das características nutricionais de cada espécie e da idade da floresta (Schumacher, 1992).

Segundo Caldeira *et al.* (2003a), alguns estudos sobre micronutrientes têm-se restringido à determinação dos teores destes elementos nas folhas. Entretanto, é clara a necessidade de se conhecer a distribuição nos outros componentes das árvores, sendo fundamental para estudos de nutrição, ciclagem e exportação de nutrientes.

As necessidades totais de nutrientes, a velocidade de crescimento, a eficiência na utilização dos nutrientes nos processos metabólicos e a capacidade de absorção de nutrientes dos solos são os quatro principais fatores que influenciam na quantidade de nutrientes absorvidos pelas árvores num determinado período da sua vida (Gonçalves, 1988).

Para Salisbury & Ross (1999), existem elementos que se deslocam com facilidade das folhas mais antigas para as mais jovens e depois aos órgãos de armazenamento, sendo considerados mais móveis na planta. São eles o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o magnésio e o cloro. Outros, como o boro, o ferro e o cálcio, são considerados pouco móveis nos tecidos das plantas. E ainda, existem aqueles que ficam em uma classe intermediária de mobilidade, como o enxofre, o zinco, o cobre, o magnésio e o molibdênio.

Segundo Schumacher (1998), a produtividade e o estado nutricional das espécies florestais estão associados às suas características genéticas, às condições

edafo-climáticas do sítio, à idade do povoamento, ao manejo aplicado e principalmente à ciclagem de nutrientes.

Conforme este mesmo autor, em um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labilardière), subespécie *bicostata*, apesar da madeira do tronco ter representado 63% da biomassa total, a quantidade de elementos minerais estocados neste componente foi relativamente baixa, quando comparada com a quantidade acumulada na biomassa das folhas, que representou 15% do total e acumulou, em média, N=60%, P=41%, K=32%, Ca= 25% e Mg=35%, do total.

Segundo Chen (1998), as acículas que representaram 13% do total de biomassa, foram responsáveis por 48% do N, 41% do P, 48% do K, 42% do Ca e 42% do Mg acumulado em chinês-fir. Em contraste, a madeira, que representou 42% da biomassa total, acumulou somente 18% do N, 27% do P, 13% do K, 15% do Ca e 13% do Mg por árvore.

Com os objetivos de estimar a biomassa e o conteúdo de nutrientes de uma série de povoamentos, localizados na mais importante área de produção de madeira da França, e de comparar os nutrientes no solo com os contidos nas plantas de Douglas-fir, Ponette *et al.* (2001) verificaram, para a espécie em todos os sítios que a concentração dos nutrientes cresceu na seguinte ordem: madeira<casca<galhos<acículas.

Ainda segundo o autor, com exceção do Ca na madeira, do Mg nos galhos e do K em acículas, o teste estatístico indicou diferença significativa entre os diferentes povoamentos para todos os elementos e componentes. Devido a isto, mais estudos devem ser realizados com objetivo de verificar quais os fatores que mais afetam a concentração de nutrientes em diversas partes de plantas de Douglas-fir. Testes foram realizados em que o efeito da idade foi significativo para todas as concentrações, em todos os componentes, exceto para a concentração de P e K nas acículas. Em outro teste, usando como efeito a fertilidade, esta foi significativa na comparação entre a concentração de nutrientes em todos os componentes, exceto para a concentração de N em galhos e Ca em madeira e casca. O autor recomenda cuidado na interpretação dos resultados, com o limitado tamanho da amostra, juntamente com muitos fatores que não podem ser controlados (tratamento da floresta, tipo de solo usado, clima, origem genética das árvores), fatores estes que podem causar confusão dos efeitos.

Segundo Chen (1998), com o desenvolvimento do povoamento a alocação de nutrientes varia rapidamente. Nutrientes contidos em acículas e galhos, nos anos iniciais de desenvolvimento do povoamento, compreendem uma grande proporção do total de nutriente quando comparado com povoamentos mais velhos, ainda que a biomassa desses componentes fique em menor proporção do total.

Para Reis *et al.* (1987), a distribuição de nutrientes entre os vários componentes da árvore foi diferente da observada para a biomassa, porque componentes com reduzida biomassa, como folhas, possuem concentração de nutrientes elevada. Apesar da biomassa da madeira constituir 62% do total, no sítio mais produtivo, a alocação de nutrientes para a madeira foi inferior a 34% do total, chegando a valores menores que 20% para o Ca e Mg.

De acordo com Swamy *et al.* (2004), a concentração dos nutrientes (N, P e K) em diferentes tecidos da planta (folha, madeira, galhos e raiz) não apresentou variação entre os sítios estudados e em diferentes idades do povoamento. A concentração de N, P e K nos diferentes componentes decresceu na seguinte ordem: folhas>galhos>madeira>raiz. Ao contrário da concentração de nutrientes, a acumulação de biomassa variou significativamente com o sítio e idade do povoamento devido a pouca variação da concentração de nutrientes nos tecidos durante o desenvolvimento do povoamento. O total de nutrientes no povoamento segue a dinâmica de expansão da biomassa e cresce com a idade.

Swamy *et al.* (2004), avaliaram o estoque de nutrientes (N, P e K) em povoamentos de *Gmelina arborea*, com 4 anos de idade. A distribuição em média por hectare de N, acumulado nos diferentes componentes, foi de 24%, 51%, 11% e 16% para folhas, tronco, galhos e raiz, respectivamente, e representou 51% dos nutrientes encontrados. Já o P contribuiu em média com apenas 4% do total de nutrientes por hectare, distribuídos 18%, 51%, 11% e 30% nas folhas, tronco, galhos e raiz, respectivamente. O K, que representou 45% do total, teve sua distribuição disposta 9%, 51%, 13% e 17% nas folhas, tronco, galhos e raiz, respectivamente.

Conforme Andrae & Krapfenbauer (1983c), as concentrações de nutrientes variam com a espécie, idade, tecido da planta e dependem do ambiente. Os nutrientes retirados do solo são translocados, conforme sua mobilidade, para as partes dos vegetais em fase de crescimento.



Laclau *et al.* (2000), em pesquisa realizada com *Eucalyptus* sp em diferentes idades, observaram que a idade tem efeito significativo sobre todos os elementos presentes nos componentes aéreos das árvores, exceto sobre as concentrações de K nos galhos mortos e de Ca na madeira. Este efeito foi claramente observado na madeira, que mostra uma sistemática redução da concentração de todos os nutrientes durante o ciclo de crescimento, sendo mais visível no potássio. A idade influencia mudanças nas concentrações dos elementos na casca, o nitrogênio e o cálcio permanecem constantes, há um nítido aumento do fósforo e uma diminuição de potássio e o magnésio. Tanto nos galhos mortos como nos vivos e nas raízes grossas, observaram uma tendência de diminuição da concentração de todos os elementos durante o desenvolvimento da árvore. Já para as folhas, observaram uma redução na concentração de todos os elementos com o passar do tempo, exceto para o N.

## **2.5. Implicações ecológicas e silviculturais**

Segundo Drumond *et al.* (1997), em florestas manejadas para a produção de madeira, a retirada desse componente é o principal meio de exportação de nutrientes. Assim, a quantificação dos nutrientes nos componentes da biomassa de um povoamento permite avaliar a magnitude dos reflexos que seriam causados pela intervenção do homem ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema.

Para estes mesmos autores, uma das principais formas de retorno ou transferência de elementos minerais da floresta para o solo se dá através da manta orgânica e dos resíduos resultantes da exploração. Assim, a manutenção da produtividade florestal dependerá da proporção entre os nutrientes exportados e os que permanecem no sistema, nas formas orgânica e mineral. As folhas e galhos finos são os principais componentes da manta orgânica ou dos resíduos florestais que permanecem na área, sendo, portanto, os que mais influenciam na fertilidade do solo.

Yamada *et al.* (2004), estudando as espécies *Acacia mangium*, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis*, constataram que a remoção da madeira do tronco com a casca dos sítios florestais é uma prática comum adotada nas plantações

industriais. O tronco acumulou de 62 a 89% da biomassa total, enquanto a quantidade de nutrientes deste componente é proporcionalmente pequena. Contudo, a casca, que representa apenas 10% da biomassa acima do solo, contém altos níveis de nutrientes, especialmente o Ca, com variação entre as espécies estudadas de 40 a 57% do Ca total acumulado na biomassa acima do solo. Retirando-se a casca do sítio pode-se afetar a sustentabilidade do sistema. Nutrientes aproveitados pela mineralização dos resíduos podem ser transferidos para o solo e ocupados pelas raízes ou podem ser retranslocados, como o N, no caso dos elementos móveis.

Segundo Chen (1998), o declínio da produtividade e a deterioração dos solos das plantações florestais dão-se principalmente em função das sucessivas colheitas de uma mesma área, da rotação curta e da retirada dos diversos componentes das árvores.

Para Caldeira (1998), a fertilidade do solo pode ser diminuída pela remoção excessiva de biomassa viva, particularmente se as copas das árvores forem removidas na colheita ou durante o preparo da área para o plantio. Na colheita da madeira com casca, o percentual de todos os nutrientes exportados do sítio aumenta em mais de 50% em relação à colheita somente da madeira.

Conforme Poggiani *et al.* (1984), as espécies florestais intensivas são de grande interesse do ponto de vista energético. Contudo, em termos silviculturais, é necessário pensar na sustentabilidade do sistema em longo prazo, tendo em vista a grande exportação de nutrientes do sítio, quando se pretende utilizar, além do tronco, também a copa das árvores, a qual, dependendo da idade da planta, pode conter mais de 50% dos nutrientes da biomassa.

Para estes autores, ficou evidente que o corte e a retirada total da copa do sítio em ciclo reduzido, trarão conseqüências no equilíbrio nutricional da floresta, ficando evidente que, do ponto de vista nutricional, seria desejável que fosse utilizado apenas o tronco, tornando-se mais eficiente o aproveitamento de nutrientes.

A quantidade de nutrientes removida para fora do sítio com a colheita florestal não é proporcional à quantidade de biomassa extraída. Isto porque os diferentes componentes da biomassa arbórea contêm, em seus tecidos, diferentes concentrações de nutrientes (Poggiani, 1983; Kimmins, 1987; Schumacher, 1995; Schumacher, 1996).

Ponette *et al.* (2001), em Douglas-fir, observaram que a madeira do tronco que contém mais de 70% da biomassa contribui com menos de 32% do conteúdo total de nutrientes. Em contraste, as acículas contribuem com menos de 10% da biomassa total e contêm até 20% da quantidade de Ca e 53% do N, dependendo do sítio analisado. O mesmo ocorre quando comparado o conteúdo de nutrientes contido na casca e na madeira. Por exemplo, a biomassa da casca não passa de 10% da biomassa total; contudo, quando são retiradas da floresta, ao invés de só a madeira, a casca e a madeira, a quantidade de nutrientes pode passar de 30 para 50% de N, 39 para 55% de K, 38 para 57% de Ca e 37 para 51% de Mg. Este fato vem despertando especial atenção quando as tradicionais formas de manejo são aplicadas, com a retirada da floresta a madeira com casca.

Para Mattos Jr *et al.* (2003), a importância de conhecermos a quantidade de nutriente contido na cultura (planta) está relacionada com a quantidade de fertilizante a ser aplicado ao sistema, evitando, desta maneira, dano ao meio ambiente pela aplicação em excesso de fertilizantes. A quantidade de nutrientes contidos na biomassa tem sido usada como forma de estimar a fertilização requerida pelas plantas retiradas com as sucessivas colheitas.

Rachwal *et al.* (1997) analisaram o desenvolvimento da acácia-negra aos 3 e 4 anos, em diferentes tipos de solos, onde observaram que a espécie é capaz de produzir um maior volume de madeira em solos com características físicas desfavoráveis, mas com características químicas desejáveis ou com características químicas desfavoráveis e físicas apropriadas. Além disso, que o volume e o DAP do povoamento, aos três e quatro anos, apresentaram correlação com as características químicas do horizonte superficial dos solos testados. Já a altura, por sua vez, embora tenha sido geralmente maior nos solos mais férteis, não se correlacionou com a fertilidade do solo. Verificaram também que não houve correlação entre as características físico-hídricas dos horizontes superficiais dos solos com o desenvolvimento das plantas de acácia. Entretanto, confrontados os dados, observaram, de maneira geral, que um teor de umidade no solo refletiu em uma menor altura das plantas. Ainda observaram que as plantas que pertenciam às parcelas delimitadas em solo com excesso de umidade na superfície apresentaram 100% de mortalidade, confirmando que a acácia-negra não tolera excesso de umidade.

A biomassa extraída de uma área florestal e aquela que permanece como resíduo da exploração têm uma relação direta com o tipo de manejo aplicado. Similar problema é constatado para os nutrientes, só que em uma forma mais aplicada, pois é necessário que se tenha conhecimento das saídas de tais elementos a fim de se tomar algumas decisões silviculturais, com o objetivo de planejar sua reposição (Rachwal *et al.*, 1997).

Segundo Swamy *et al.* (2004), a acumulação de nutrientes e a exportação do sítio têm importância quando o crescimento é rápido, a rotação curta e os nutrientes removidos através de freqüentes cortes. A retirada de nutrientes tem um impacto adverso em longo prazo na qualidade do sítio e na sustentabilidade da produção.

Teixeira *et al.* (1989), em seu estudo, com o objetivo de avaliar o crescimento e o conteúdo de nutrientes de duas espécies de Eucalipto, em várias condições de sítios, visando fornecer subsídios ao manejo de solos e florestal, observaram que, para conseguirem a mesma produtividade, as espécies tiveram que absorver uma quantidade de nutrientes semelhante ao ciclo anterior. Com certeza, o conteúdo de nutrientes no solo é insuficiente para a próxima rotação. Comparando a exportação de P pelos componentes das árvores, pode-se propor a adoção de técnicas de manejo de povoamento diferentes para solos de topo e de baixada, visto que para uma produtividade de 76 t/ha de tronco (lenho + casca) no topo, houve exportação de 16,5 kg de P, ao passo que, na baixada, para exportar 53 t/ha de tronco, são retirados do solo 19 kg/ha deste elemento. Se somente o lenho é explorado, deixando-se os resíduos (folhas e galhos) na área, mais de 60% do K é devolvido ao sistema. Dentre os elementos estudados, o Ca foi o mais acumulado nas árvores, e a exploração de grandes volumes de tronco (lenho + casca) causará a exportação de grandes quantidades de Ca, causando a sua exaustão no solo.

Ainda segundo estes autores, o problema pode ser minimizado, deixando-se a casca na área, pois este componente, que representa 15% da biomassa do tronco, armazena quase 80% de Ca no *Eucalyptus saligna*. De um modo geral, a matéria seca da copa representa cerca de 1/3 daquela do tronco, mas o conteúdo de nutrientes contidos nos componentes está em torno de 50% do total. A única exceção é com relação ao elemento Ca, cujo conteúdo na copa foi de aproximadamente 33% do acumulado pelo tronco.

Reis *et al.* (1987) constataram que os trabalhos realizados para uma única idade são úteis na avaliação da intensidade de utilização da árvore sobre o balanço nutricional nas idades em que se realizaram os estudos. E, também que, à medida que se estudam povoamentos muito jovens, quando a competição entre as plantas ainda é muito pequena, a avaliação do efeito da densidade do povoamento sobre a alocação de nutrientes para as diferentes partes da planta torna-se difícil para uma tomada de decisão em relação ao método de manejo a ser adotado.

## 2.6. Ponto de amostragem dos nutrientes ao longo do fuste

O conhecimento dos teores dos nutrientes ao longo do fuste das árvores é importante para que se possa determinar um ponto exato para a retirada das amostras, o que facilitará a determinação das quantidades de nutrientes armazenados na madeira e na casca (Hoppe, 2003).

Andrae & Krapfenbauer (1983b) encontraram na *Araucaria angustifolia* os maiores teores dos elementos móveis nas partes mais altas dos troncos, enquanto que os nutrientes com menor mobilidade na planta encontram-se em maiores concentrações na parte basal do fuste. Com exceção do cálcio, todos os outros elementos aumentaram os teores com o aumento da altura.

Andrae & Krapfenbauer (1983c) verificaram semelhante comportamento para o *Eucalyptus saligna*. Para os autores, a idade dos tecidos nas diferentes alturas tem influência direta na concentração dos nutrientes, principalmente os elementos móveis.

Freitas (2000) constatou que, para *Eucalyptus grandis*, com nove anos, no município de Alegrete, RS, nos componentes madeira e casca, os maiores teores de N, Mg, P, e K foram encontrados nas extremidades da árvore, enquanto que o Ca foi encontrado com os maiores teores na base, tendo sido relacionado com a mobilidade do nutriente na planta.

Zen *et al.* (1981) encontraram diferenças significativas quanto à concentração de nutrientes em relação à altura da coleta da amostra ao longo do tronco para os elementos N, Mg e K na madeira e P na casca. Observaram ainda que, de maneira geral, devido aos processos fisiológicos estarem em ampla

atividade nas regiões de maior crescimento da árvore e pela mobilidade do N, P, K e Mg, estes elementos apresentaram os teores crescentes da base para o topo do tronco.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Características da área de estudo

##### 3.1.1. Localização

O presente trabalho foi realizado em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii*), com quatro anos de idade, implantado na Fazenda Chagastelles, pertencente à empresa Florestal AGROSETA S.A., distante aproximadamente 4 km da cidade de Arroio dos Ratos-RS.

Distando cerca de 60 km de Porto Alegre, o município de Arroio dos Ratos localiza-se na Depressão Central do Estado do Rio Grande Sul, na microrregião do Vale do Jacuí, limitada ao norte pela encosta do planalto basáltico e ao sul pelo escudo rio-grandense, situada entre as coordenadas geográficas: Latitude 30° 07' 12" Sul e Longitude 51° 57' 45" Oeste de Greenwich, com altitude média de 90 metros.

Pode-se caracterizar a zona rural de Arroio dos Ratos segundo a ocorrência de duas unidades morfopedológicas distintas. A primeira delas ocorre em áreas com relevo ondulado, e seu substrato geológico são arenitos; predominam Argissolos, solos profundos, com textura argilosa e baixa fertilidade natural. Essa unidade, que ocorre em aproximadamente dois terços da área do município, é utilizada para o cultivo de culturas anuais (entre as quais a cultura da melancia) e como pastagem. A segunda unidade morfopedológica ocorre na parte meridional do município, em áreas com relevo forte ondulado e tendo como substrato rochas graníticas. Nesta unidade, que ocupa aproximadamente um terço da área do município, predominam Neossolos, solos com textura média, sendo utilizada para o cultivo de culturas anuais e permanentes (especialmente reflorestamentos com eucalipto e acácia). (EMATER, 1997).

### 3.1.2. Clima

Segundo Koëppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical (Moreno, 1961). A temperatura média do mês de janeiro fica em torno de 24°C, a do mês de julho é 13°C e a temperatura média anual fica entre 18-19°C, sendo que a temperatura média das máximas no ano é de 24°C e a das mínimas no ano é de 14°C. A precipitação pluvial no ano varia de 1200 a 1600 mm e são bem distribuídas, ocorrendo de 100 a 120 dias de chuva no ano. A região de Arroio dos Ratos possui, de maio a agosto 600 horas de frio, abaixo de 10°C e 200 horas de frio de maio a agosto, abaixo de 7°C. A umidade relativa do ar média, radiação solar média e insolação anual total variam, respectivamente, de 75 a 80%, de 325 a 375 cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e de 2200 a 2600 horas. (Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989).

### 3.1.3. Solo

Segundo Streck *et al.* (2002), o solo da área de estudo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico, localizado em relevo suave ondulado.

Para determinação do teor de nutrientes no solo, foram abertas quatro trincheiras com profundidade de 60 cm, onde foram coletadas, de 10 em 10 cm, as amostras para análises químicas.

As amostras retiradas em cada profundidade foram devidamente identificadas e levadas ao Laboratório de Solos da UFSM para a determinação dos elementos minerais, utilizando a metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995).

Os resultados das análises estão expressos no Anexo A.

### 3.1.4. Implantação do povoamento

O plantio foi realizado em setembro de 1997, numa área de 2.564 ha, com espaçamento de 1,30 m x 3,0 m, tendo como preparo de solo a subsolagem com uma haste, alcançando a profundidade de 45 cm, e gradagem na linha de plantio. O plantio foi realizado com semente, utilizando a plantadeira hidráulica de acácia-negra



(PHA). Em cada cova, foram colocadas oito sementes. Simultaneamente com o plantio, foi realizada a adubação, utilizando-se 40 gramas por cova de NPK (02 - 32 - 06). Outra etapa foi o replantio, realizado aproximadamente 30 dias após a implantação do povoamento.

Em relação aos tratos culturais, foi aplicado herbicida seletivo pré-emergente (Gamit 360 cs), na dose de 400 ml ha<sup>-1</sup> e, em maio de 1998, foi realizado desbaste e limpeza da área utilizando foice manual. Foi realizado ainda o combate à formiga cortadeira e, mais tarde, o controle do serrador (*Oncideres inpluviata*).

### 3.2. Inventário florestal da área amostral

Inicialmente, foi escolhida uma área homogênea quanto às condições de sítio, onde foram demarcadas 7 parcelas de formato retangular de 20 m x 30 m (600 m<sup>2</sup>). Em cada uma das parcelas, foram medidos os diâmetros à altura do peito (DAP) de todas as árvores, com suta, e a altura (h) de 10% das alturas das mesmas, com aparelho Vertex.

#### 3.2.1. Relação hipsométrica

As alturas das árvores que não foram medidas foram estimadas através da equação de relação hipsométrica, que apresentou os melhores parâmetros de ajuste para a região e para a espécie, na época da realização da pesquisa.

#### 3.2.2. Volume total com e sem casca

O volume total com e sem casca foi obtido com base nas equações propostas por Schneider & Hosokawa (1978), a partir dos dados de DAP e altura do povoamento.

QUADRO 1 - Equações utilizadas para cálculo do volume total com e sem casca para *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Modelo	Coeficientes	
	B <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>
Log vcc = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> *log(DAP <sup>2</sup> h)	- 4,20076	0,9494568
Log vsc = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> *log(DAP <sup>2</sup> h)	-4,29654	0,9562276

Sendo: h= altura (m); log= logaritmo de base 10; DAP= diâmetro à altura do peito (cm); vsc= volume total sem casca (m<sup>3</sup>); vcc= volume total com casca (m<sup>3</sup>).

### 3.2.3. Distribuição diamétrica

A partir dos dados do inventário das parcelas, foi obtida a caracterização do povoamento quanto à distribuição do diâmetro à altura do peito, e as árvores foram agrupadas em classes de diâmetro, de modo a abranger as variações ocorridas no povoamento. Para tanto, determinou-se o número de classes utilizando a fórmula de Sturges descrita por Finger (1992), a qual é expressa por:  $K = 1 + 3,3 * \log n$ , onde: n = número de observações e K = número de classes. Também foi determinado o intervalo de classes com base na fórmula:  $h = H / K$ , onde: H = amplitude total (DAP máx – DAP min), K = número de classes e h = intervalo de classe (cm).

## 3.3. Determinação da biomassa

### 3.3.1. Biomassa acima do solo

Após a determinação da distribuição diamétrica e divisão da mesma em classes de diâmetro, foram abatidas três árvores em cada uma delas, de modo que a maior amplitude dos dados fosse contemplada. Selecionadas as árvores, de acordo com as classes de DAP, estas foram abatidas e mensuradas quanto à altura total. Na seqüência, os galhos eram separados do tronco e classificados em vivos

(verdes) e mortos (secos). Dos galhos verdes foram separadas todas as folhas. O tronco foi descascado, sendo separado em dois componentes, madeira e casca.

Ainda no campo, os componentes madeira, casca, folhas, galhos vivos e galhos mortos tiveram seu peso úmido determinado, mediante pesagem com utilização de uma balança de gancho.

Logo após, foram retiradas amostras de todos os componentes das árvores as quais eram pesadas em balança de precisão (0,01g). Para a madeira e casca, foram retiradas amostras nas posições de 1, 3, 10, 20; 30, 40; 50, 60, 70, 80 e 90 % da altura total das árvores.

Com o peso úmido determinado no campo, as amostras foram devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram postas em estufa de circulação de ar, à temperatura de 65°C, até atingirem peso constante, para obtenção do peso seco das amostras.

Com o peso seco e úmido das amostras, estabeleceu-se a relação peso seco / úmido. E com o peso úmido total de cada componente, foram calculados os pesos secos de cada componente de árvore e, com isso, a determinação da biomassa seca (kg).

### 3.3.2. Biomassa abaixo do solo

Para avaliar a biomassa das raízes efetuou-se a escavação do toco em todas as árvores amostradas. As raízes grossas, maiores que 2 mm, foram arrancadas do solo, com a ajuda de um trator. As raízes, por meio do uso de lava-jato, foram submetidas à lavagem, na qual o solo aderido às mesmas raízes foi totalmente removido. Só então foram retiradas amostras da raiz, com a determinação do seu peso úmido, sendo posteriormente levadas ao laboratório, onde foi realizado o mesmo procedimento adotado para a determinação da biomassa acima do solo.

### 3.3.3. Relação entre o DAP e a biomassa arbórea

A partir dos dados dos componentes da biomassa acima e abaixo do solo e da variável dendrométrica diretamente mensurável DAP - diâmetro à altura do peito, para as 30 árvores amostradas, ajustou-se um modelo de regressão ( $\log y = b_0 + b_1 * \log \text{DAP}$ ), onde  $y$  é a biomassa acima e abaixo do solo. Com este modelo, estimou-se a biomassa dos diferentes componentes das árvores que não tiveram seu peso determinado dentro da parcela.

Para observar o ajuste e a precisão do modelo foram escolhidos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ) (Schneider, 1997).

### 3.3.4. Determinação da biomassa por área

A determinação da biomassa por hectare foi baseada na quantidade dos componentes das árvores da parcela. Em cada parcela amostrada no inventário com uma área de 600 m<sup>2</sup>, foi realizado o somatório da biomassa estimada pelas equações ajustadas, para cada componente das árvores. Com os dados das sete parcelas, foi feita uma média dos valores da biomassa (kg por 600 m<sup>2</sup>), os quais foram passados para hectare.

## 3.4. Determinação dos nutrientes nas árvores

### 3.4.1. Determinação do teor de nutrientes nos componentes das árvores

Para a determinação do teor de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de acácia-negra, foram utilizadas as amostras anteriormente coletadas para a determinação da biomassa de folhas, galho vivo, galho morto, madeira, casca e raiz.

No laboratório de Ecologia Florestal, as amostras foram secas, moídas e submetidas às análises químicas para obtenção dos teores dos nutrientes.

Os macronutrientes determinados foram: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), e os micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn); assim como o carbono orgânico (CO), com base na metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995) para análises de tecidos vegetais.

#### 3.4.2. Relação entre o DAP e teor de nutrientes

Com os dados dos teores de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), obtidos na análise dos tecidos pelo produto com a biomassa de cada componente (kg), estimou-se a quantidade de nutrientes dos componentes ( $\text{g}$  ou  $\text{mg árvore}^{-1}$ ), respectivamente. Com a variável dendrométrica (DAP) das respectivas árvores amostradas, foi usada uma equação ( $\log y = b_0 + b_1 \log \text{DAP}$ ) para cada nutriente em cada componente das árvores. E, para cada equação, foram utilizados parâmetros estatísticos para averiguar se a equação apresentava um bom ajuste aos dados, sendo eles o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ). Só então as equações foram utilizadas para estimar os conteúdos dos nutrientes dos componentes das árvores de *Acacia mearnsii* do restante da parcela. As equações baseadas no DAP também foram utilizadas para estimar o teor de carbono orgânico das árvores.

#### 3.4.3. Quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa por hectare

A quantidade de macronutrientes e a do carbono por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foram determinadas com base na média do teor de nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) dos componentes das árvores pelo produto com a biomassa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) dos respectivos componentes. Para os micronutrientes, foi realizado o mesmo processo; no entanto, os valores obtidos estão expressos em  $\text{g ha}^{-1}$ .

### **3.5. Ponto de amostragem para quantificação dos nutrientes no fuste**

#### **3.5.1. Determinação do teor de nutrientes ao longo do fuste**

Foram coletadas amostras ao longo do fuste nas posições a 1, 3, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% da altura total das árvores. As amostras foram secas, moídas e analisadas para determinação dos teores dos nutrientes nos tecidos dos componentes madeira e casca.

#### **3.5.2. Determinação do "Teor Representativo"**

O teor que representa o teor de nutriente ao longo do fuste para madeira e casca é chamado de "teor representativo" e serve para a determinação da quantidade de nutrientes no fuste Hoppe (2003).

Para o cálculo do teor representativo, que nada mais é do que o teor de nutriente ponderado em função da biomassa, utilizou-se a massa de nutriente de cada árvore, obtida pela multiplicação do teor de nutriente encontrado nas posições amostradas ao longo do fuste pelas respectivas biomassas dos componentes madeira e casca, expressa em g para os macro e em mg para os micronutrientes. Com o quociente da massa total de nutriente e a biomassa total acumulados nos componentes madeira e casca das 30 árvores amostradas, obteve-se o teor representativo.

#### **3.5.3. Determinação da "Altura Representativa"**

O termo "altura representativa" expressa a altura no fuste, do qual pode ser retirada uma amostra que represente a quantidade de nutrientes no fuste para os componentes madeira e casca. Para determinar a altura representativa da amostragem para a quantificação dos nutrientes no fuste, para madeira e casca, deve-se, em primeiro lugar, observar qual o nutriente que apresentou variação ao

longo do fuste e, depois, usar o teor representativo para determinar a altura ideal da amostragem.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Características dendrométricas do povoamento

#### 4.1.1. Relação h/d

Com a realização do inventário florestal, em sete parcelas de 600 m<sup>2</sup> na área na qual obtivemos os dados do DAP - diâmetro à altura do peito de todas as árvores e altura de 10% destas, as demais alturas foram estimadas conforme a relação hipsométrica (h/d) observadas na Tabela 1, onde se encontra também o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da estimativa em percentagem da equação.

TABELA 1 – Relação hipsométrica utilizada para cálculo da altura das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild.com quatro anos de idade.

Modelo	Coeficientes		R <sub>aj</sub> <sup>2</sup>	Syx (%)
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>		
log h = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> * 1/DAP	1,378574	- 2,079563	0,92	3,0

Sendo: h= altura (m); log= logaritmo de base 10; DAP= diâmetro à altura do peito (cm).

Como se pode verificar, pelo baixo erro padrão e alto coeficiente de determinação demonstrados pela equação, a mesma apresentou um bom ajuste dos diâmetros com as alturas indicadas e poderá ser usada para estimar as alturas das árvores de *Acacia mearnsii* com quatro anos.



#### 4.1.2. Valores dendrométricos do povoamento

A Tabela 2 mostra os valores encontrados de DAP e altura, máximos e mínimos, bem como os dados de volume com e sem casca, por diferença entre eles, o volume de casca, o número de árvores de cada parcela do inventário e do total por hectare do povoamento.

TABELA 2 - Valores dendrométricos do povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. com quatro anos de idade.

Parcela	DAP (cm)		Altura (m)		Volume total (m <sup>3</sup> )			N
	Máx	Min	Máx	Min	s/c	c/c	Casca	
1	17,3	3,6	18,1	6,3	6,347	7,503	1,156	82
2	18,1	4,4	18,3	8,1	7,100	8,397	1,297	97
3	15,6	4,6	17,5	8,4	6,836	8,086	1,250	94
4	17,2	4,5	18,1	8,2	6,535	7,730	1,195	95
5	16,2	3,8	17,8	6,8	6,399	7,569	1,170	88
6	19,1	5,1	17,6	9,4	6,249	7,390	1,141	89
7	18,2	5,2	18,4	9,5	6,534	7,718	1,184	73
Total/ha	19,1 <sup>1</sup>	3,6 <sup>1</sup>	18,6	6,3	109,524	129,507	19,983	1471

Onde: DAP= diâmetro à altura do peito; Max= valor máximo; Min= valor mínimo; s/c= volume sem casca; c/c = volume com casca, N= número de árvores na parcela, <sup>1</sup>= valores máximo e mínimo tomados como base para cálculo do número de classes diamétricas.

#### 4.2. Distribuição do número de árvores por classe diamétrica

Com os dados obtidos no inventário, foi calculado: o número de observações totais das sete parcelas:  $n = 613 / 7 = 88$  árvores; e o número de classes:  $K = 1 + 3,3 \log n = 7$  classes.

Com o DAP mín = 3,6 e DAP máx = 19,1 cm, obteve-se a amplitude entre classes:  $H = (DAP \text{ máx} - DAP \text{ mín}) = 15,5$  cm.

Com H e K, obteve-se o intervalo entre classes:  $h = 15,5 / 7 = 2,2$  cm.

Na Figura 1, tem-se a distribuição do número de árvores, por hectare. Observa-se que a maioria das árvores encontram-se nas classes intermediárias.

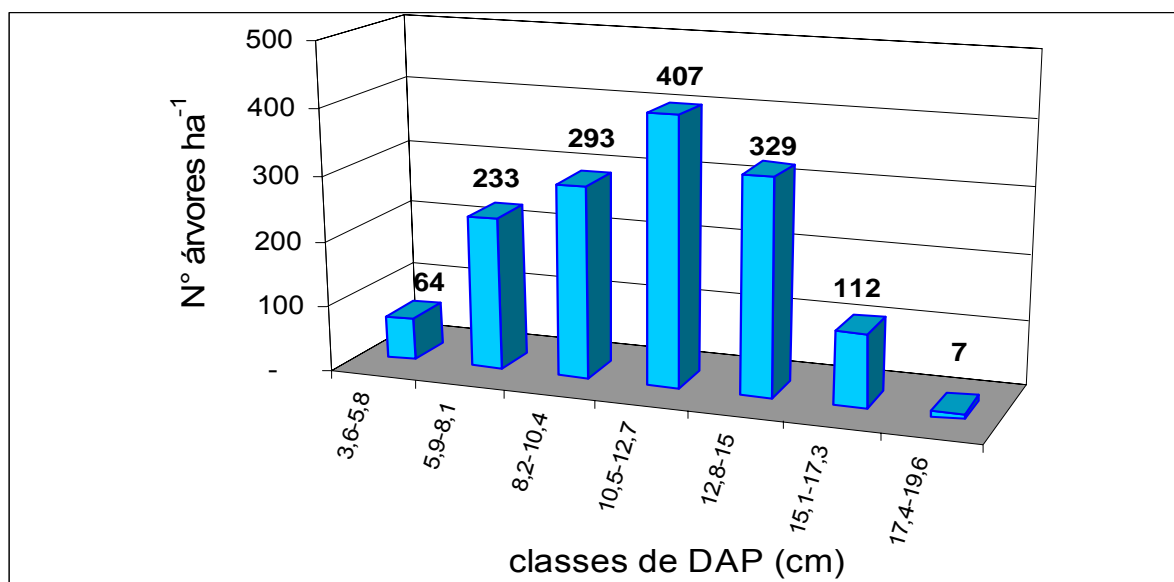


FIGURA 1 - Número de árvores, por hectare, de *Acacia mearnsii* De Wild., distribuídas nos intervalos de classes de DAP.

### 4.3. Biomassa

#### 4.3.1. Distribuição da biomassa nos diferentes componentes das árvores, por classe de diâmetro

A Tabela 3 mostra a distribuição média da biomassa, por classe de DAP, nos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* com quatro anos. De um modo geral, pode-se dizer que, quanto maior a classe diamétrica, maior diâmetro e maior será a biomassa dos componentes.

TABELA 3 - Biomassa em kg árvore<sup>-1</sup> dos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., por classe de diâmetro.

Classe de DAP	Biomassa (kg árvore <sup>-1</sup> )						
	Madeira	Casca	GM	Raízes	GV	Folhas	Total
3,6-5,8	2,42	0,62	0,29	0,46	0,23	0,18	4,20
5,9-8,1	7,50	1,31	0,69	1,38	0,50	0,14	11,52
8,2-10,4	19,22	2,98	2,00	2,89	1,80	0,66	29,55
10,5-12,7	36,43	6,06	1,60	5,89	5,24	2,73	57,95
12,8-15	57,41	8,79	5,37	10,81	6,61	4,32	93,30
15,1-17,3	81,38	11,90	5,54	14,22	9,97	5,40	128,41
17,4-19,6	108,45	14,10	9,00	20,81	22,13	6,92	181,41
Média	44,69	6,54	3,50	8,07	6,64	2,91	72,33

Onde GM= galho morto; GV= galho vivo.

Na Tabela 4, observa-se a contribuição média da biomassa dos componentes das árvores de *Acacia mearnsii* com o aumento dos diâmetros das classes.

Como se pode observar na Tabela 4, a madeira é o componente da árvore que mais contribuiu, em média, com 62,2% para a biomassa acima do solo nas árvores de acácia-negra com quatro anos, seguida pela casca (10,4%), pelos galhos vivos (7,4%), pelos galhos mortos (5,4%) e pelas folhas (3,6%). A biomassa abaixo do solo, representada pelas raízes, contribuiu, em média com 11% da biomassa total. Contudo, observa-se que pode haver inversões no percentual da contribuição da biomassa de galhos, casca, folhas e raízes, dependendo da classe de diâmetro em que se encontra a árvore.

Na Tabela 4, constata-se ainda que a contribuição da biomassa acima do solo não apresentou tendência de aumento ou redução, com a mudança da classe diamétrica. O mesmo ocorreu com a contribuição da biomassa abaixo do solo representada pelas raízes.

TABELA 4 - Contribuição percentual dos componentes da biomassa das árvores amostradas de *Acacia mearnsii* nas classes de DAP.

Classe de DAP	% médio de contribuição						
	Madeira	Casca	GM	Folhas	GV	BAS	Raiz
3,6-5,8	57,7	14,7	7,0	4,2	5,5	89,1	10,9
5,9-8,1	65,1	11,4	6,0	1,2	4,3	88,0	12,0
8,2-10,4	65,1	10,1	6,8	2,2	6,1	90,2	9,8
10,5-12,7	62,9	10,5	2,8	4,7	9,0	89,8	10,2
12,8-15	61,5	9,4	5,8	4,6	7,1	88,4	11,6
15,1-17,3	63,4	9,3	4,3	4,2	7,8	88,9	11,1
17,4-19,6	59,8	7,8	5,0	3,8	12,2	88,5	11,5
% geral	62,2	10,4	5,4	3,6	7,4	89,0	11,0

Onde: GM= galho morto, GV= galho vivo, BAS= Biomassa Acima do Solo, % = percentagem do componente da biomassa por classe de diâmetro.

No caso da casca, observa-se que o percentual médio de contribuição da biomassa deste componente apresentou os menores valores nas classes de maior diâmetro em comparação com as classes de menor diâmetro, mostrando uma tendência de redução com o aumento das classes diamétricas (Figura 2). No entanto, não devemos confundir percentual de contribuição com percentagem total de casca, que se mostra geralmente menor nas menores classes de diâmetro. Rech *et al.* (1980), trabalhando com árvores de acácia-negra, também observou que as árvores de menor diâmetro foram as que apresentaram as menores percentagens totais de casca.

Estes resultados podem ser comparados aos de Posenato (1977), que, em experimento testou o efeito de diferentes espaçamentos sobre a produção de casca e madeira, concluindo que os espaçamentos menores (1 x 1 m e 1,5 x 1,5 m) foram os que apresentaram os maiores rendimentos de casca e madeira por hectare, quando comparados aos maiores (3,0 x 3,0 m e 3,38 x 3,38 m) no quinto, sexto e sétimo ano de exploração.

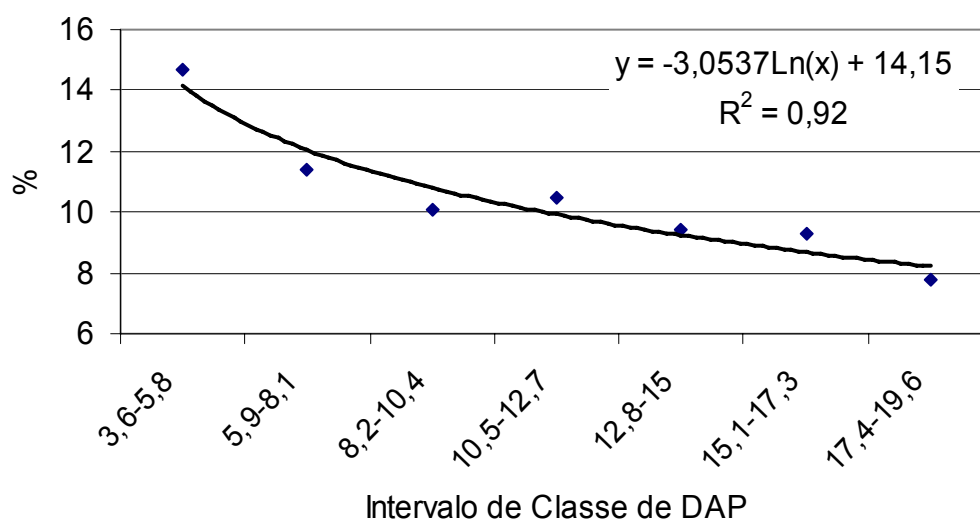


FIGURA 2 - Percentagem média de contribuição da biomassa do componente casca em árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., por classe de diâmetro.

Estes resultados, mais tarde, foram confirmados em trabalho realizado por Schneider *et al.* (2000), verificando que os espaçamentos menores proporcionavam os menores diâmetros médios do povoamento e a produção de casca verde no tempo, bem como que o volume de casca por hectare era inversamente proporcional ao tamanho do espaçamento.

#### 4.3.2. Equações utilizadas para estimar a biomassa dos componentes das árvores de *Acacia mearnsii*

Na Tabela 5, observam-se que as equações ajustadas com os dados das 30 árvores amostradas correlacionam a biomassa com uma variável dendrométrica que tem facilidade de ser obtida a campo (DAP) e ainda é usada por muitos autores (Calil, 2003; Caldeira, 1998; Barrichello, 2003), com bom ajuste dos dados. Essas equações foram utilizadas para estimar a biomassa dos componentes das árvores não-amostradas na parcela (600 m<sup>2</sup>).

Conforme Soares *et al.* (1996), a determinação da biomassa dos diversos componentes de todas as árvores em um povoamento florestal é inviável ou, às

vezes, impraticável, tornando-se necessária à utilização de métodos estimativos que implicam a derrubada de algumas árvores para o ajuste de modelos e equações, visando obter estimativas da biomassa do povoamento e verificar a distribuição, em termos percentuais médios, da biomassa dos componentes da parte aérea por classe de DAP.

Segundo Drexhage & Colin (2001), o conhecimento da biomassa do sistema radicular e sua arquitetura torna-se difícil, por causa da forma usada para realizar a amostragem, especialmente para árvores com grande porte. Para isto, são utilizadas equações que estimam a biomassa deste componente baseado no DAP. Para os autores, as equações podem se basear no DAP como variável para estimar a biomassa radicular. Para aplicação em inventário florestal e como variável de entrada em modelos de crescimento das árvores, a equação serve para estimar a biomassa do sistema radicular, sem que, para isto, precisem-se extrair as raízes.

TABELA 5 - Equações ajustadas para estimar a biomassa dos componentes das árvores de *Acacia mearnsii*, com quatro anos de idade, e respectivos erro padrão da estimativa em % e coeficiente de determinação ajustado.

Componente	Equação	Syx %	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>
Madeira	$\log y = -1,4975 + 2,80959 * \log \text{DAP}$	4,0	0,99
Casca	$\log y = -1,8824 + 2,41592 * \log \text{DAP}$	16,0	0,97
Folha	$\log y = -3,1926 + 3,18081 * \log \text{DAP}$	20,0	0,85
Galho Vivo	$\log y = -3,2827 + 3,56699 * \log \text{DAP}$	21,2	0,84
Galho Morto	$\log y = -2,3457 + 2,54149 * \log \text{DAP}$	19,3	0,83
Raiz	$\log y = -2,2681 + 2,82014 * \log \text{DAP}$	18,0	0,97
Total	$\log y = -1,2874 + 2,80262 * \log \text{DAP}$	3,4	0,99

Sendo: log = logaritmo de base 10; DAP = diâmetro à altura do peito.

Caldeira (1998) utilizou a equação  $\ln y = a + b * \ln \text{DAP}$  para quantificar a biomassa aérea dos componentes das árvores de *Acacia mearnsii* com 2,4 anos de idade, encontrando altos valores dos coeficientes de determinação, exceto para o

componente galho morto, para o que utilizou a equação:  $\ln y = a + b * \ln \text{DAP} + c * \ln h$ .

A equação  $\log y = a + b \log \text{DAP}$  foi utilizada por Kadeba (1994) para estimar a biomassa dos componentes de *Pinus caribea* com 14 anos. Esta mesma equação foi utilizada por Martin *et al.* (1998) para estimar a biomassa de 10 espécies florestais nos Estados Unidos.

A equação  $\ln y = a + b * \ln \text{DAP}$  foi utilizada por vários autores, como Calil (2003), Barrichello (2003), Weber (2004) e Schumacher (1998), com ótimo ajuste aos dados, determinado pelo alto coeficiente de determinação encontrado, visando estimar a biomassa seca dos diferentes componentes das árvores de acácia-negra com seis e oito anos, das árvores de *Cryptomeria japonica* com 28 anos de idade e *Eucalyptus globulus*, respectivamente.

#### 4.3.3. Distribuição da biomassa por hectare

Na Tabela 6, observa-se a variação da quantidade de biomassa nos diferentes componentes das árvores de acácia-negra nas sete parcelas do inventário florestal, mostrando que, de um total de 72,91 Mg ha<sup>-1</sup>, 46,62; 7,09; 2,42; 5,30; 3,35 e 8,12 Mg ha<sup>-1</sup> foram distribuídos nos componentes, madeira, casca, folha, galho vivo, galho morto e raiz, respectivamente.

A Figura 3 mostra a distribuição média, em percentagem, dos diferentes componentes da biomassa em relação à biomassa total por hectare.

Segundo Krapfenbauer & Andrae (1983), o desenvolvimento da biomassa é uma função da idade do povoamento, e a quantidade absoluta de massa acumulada até certa idade depende principalmente da qualidade do sítio.

Hoppe (2003) relatou que a quantidade de biomassa nos componentes das árvores, além da idade, depende também das características de cada espécie.

TABELA 6 - Biomassa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Parcela	Componentes da biomassa						Total
	Madeira	Casca	Folha	G V	G M	Raiz	
( $\text{Mg ha}^{-1}$ )							
1	45,39	6,87	2,37	5,22	3,25	7,91	71,01
2	50,01	7,65	2,59	5,63	3,61	8,71	78,20
3	47,85	7,35	2,46	5,33	3,46	8,33	74,79
4	45,89	7,04	2,37	5,14	3,32	7,99	71,75
5	44,88	6,88	2,31	5,01	3,24	7,82	70,15
6	44,29	6,75	2,30	5,04	3,19	7,71	69,28
7	48,01	7,11	2,56	5,74	3,39	8,37	75,17
Média	46,62	7,09	2,42	5,30	3,35	8,12	72,91
$\delta$	2,06	0,31	0,11	0,28	0,15	0,36	3,22
CV%	4,42	0,10	0,01	0,08	0,02	0,13	10,4

Sendo:  $\text{Mg ha}^{-1}$  = tonelada por hectare;  $\delta$  = desvio padrão; C.V. (%) = coeficiente de variação; G V = galho vivo; G M = galho morto.

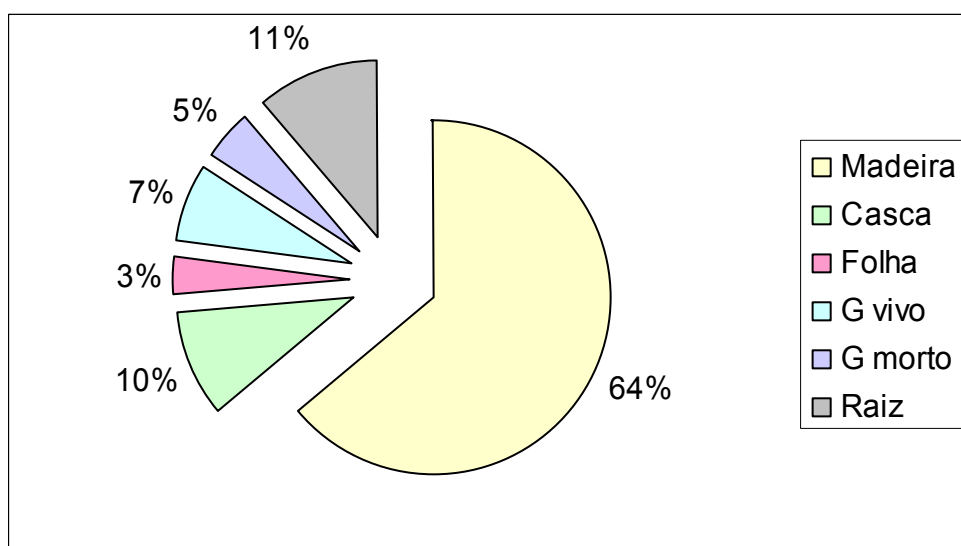


FIGURA 3 - Percentagem média de contribuição dos componentes da biomassa, por hectare, em árvores de *Acacia mearnsii* De Wild.



Nesse sentido, Ross (2004), trabalhando na mesma classe de solo e mesma espécie, com uma densidade de 1525 plantas ha<sup>-1</sup>, no povoamento com sete anos, concluiu que a produção de biomassa total pelo povoamento foi de 161,70 Mg ha<sup>-1</sup>, com uma distribuição de 60,36% de madeira, 12,08% de raiz, 11,08% de galhos verdes, 8,45% de casca, 4,33% de galhos secos e 3,70% de folhas.

Caldeira (1998) observou que entre outras coisas a quantidade de biomassa pode variar segundo a procedência da espécie. Na procedência Batemans Bay e Bodalla, a ordem de contribuição foi: madeira (45%) > folhas (20%) > galhos vivos (19%) > casca (12%) > galhos mortos (2%); já na procedência, Lake George, a ordem foi: madeira (49%) > galhos vivos (19%) > folhas (18%) > casca (12%) > galhos mortos (1%).

Barrichello (2003) observou, em um povoamento de *Acacia mearnsii* com oito anos de idade, sendo o número de árvores médio por hectare de 1134, que a biomassa total ficou distribuída na ordem: 62 % na madeira > 12 % nas raízes > 9% nos galhos vivos > 8% na casca > 5% nos galhos mortos > e 3% nas folhas.

Já para Calil (2003) estudando um povoamento de *Acacia mearnsii*, com seis anos em um sistema silvopastoril, a contribuição dos componentes na biomassa total foi a seguinte: a madeira contendo 56%, os galhos vivos com 16%, as raízes com 13%, a casca com 7%, os galhos mortos com 4,5% e as folhas com 4,3% da biomassa acumulada.

Hoppe (2003), trabalhando com a espécie *Platanus x acerifolia*, com 5,5 anos observou que a biomassa do componente madeira representa 46% da biomassa total, seguida das biomassas dos galhos, das raízes, da casca, das folhas e dos frutos, com 26, 19, 4,4, e 0,4% respectivamente.

Weber (2004) verificou que a biomassa arbórea total acima do solo foi de 135,77 Mg ha<sup>-1</sup> para *Cryptomeria japonica* com 28 anos e ficou distribuída nos componentes em percentagem: 67% na madeira, 9% na casca, 9% nos galhos mortos, 10% nos galhos vivos e 5% nas folhas.

Freitas (2000) concluiu que, para *Eucalyptus grandis*, a biomassa arbórea média aos nove anos foi 1,7; 5,4; 0,5; 7,8 e 84,6 %, distribuída nas folhas, galhos vivos, galhos mortos, casca e madeira, respectivamente.

#### 4.4. Nutrientes

##### 4.4.1. Determinação do teor de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de acácia-negra

Na Tabela 7, observam-se os teores de macronutrientes encontrados nos diferentes componentes das árvores da acácia-negra. Os maiores teores dos macronutrientes foram encontrados nas folhas, com exceção do Ca, que teve a maior concentração na casca. Já na madeira foram encontrados os menores teores dos macronutrientes, com exceção novamente do Ca, que apresentou os menores valores nas raízes.

TABELA 7 - Teores médios de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Componente	Elemento					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	$\text{g kg}^{-1}$					
Folha	28,52	1,17	9,59	5,81	2,45	0,77
Raiz	5,90	0,22	2,67	2,80	0,52	0,34
Madeira	1,58	0,09	1,30	2,87	0,45	0,18
Casca	10,62	0,37	5,95	7,78	1,82	0,27
Galho Morto	8,73	0,28	2,68	5,70	2,00	0,42
Galho Vivo	10,13	0,61	8,18	4,31	1,47	0,42

Onde: N= nitrogênio, P= fósforo, K= potássio, Ca= cálcio, Mg= manganês, S= enxofre.

Segundo Caldeira (1998), as diferentes concentrações de nutrientes nas diferentes espécies podem ser atribuídas às características genéticas de cada espécie e também às condições edáficas nas quais as espécies se desenvolvem. Em seu trabalho com diferentes procedências de acácia-negra, o autor observou

que, dentre as procedências utilizadas, não foi verificada diferença quanto à concentração dos nutrientes nos diferentes componentes da biomassa aérea. Em todas as procedências, foram encontrados, nas folhas, os maiores teores de N, P, K, Mg e S.

A concentração de nutrientes das folhas das árvores é influenciada por diversos fatores como a idade das árvores, a estação do ano (Van Der Driessche, 1984 e Bellote, 1990), as condições do sítio e a posição, em que as folhas estão dispostas na copa (Van Der Driessche, 1984).

Para Poggiani *et al.* (1984), do ponto de vista nutricional, os valores mais elevados são encontrados nas folhas. No entanto, em alguns casos, os maiores teores de potássio, fósforo e principalmente cálcio podem ser observados na casca.

Para Gonçalves *et al.* (2000), os maiores teores de nutrientes são encontrados nas partes das plantas mais ativas metabolicamente, como as folhas, e as menores concentrações de micronutrientes são encontradas na madeira. Contudo, para a maioria dos nutrientes, é na madeira, que se encontram os maiores conteúdos desses nutrientes, simplesmente devido a sua maior massa seca.

Em trabalho realizado em um povoamento de acácia-negra com 6 anos, Calil (2003) observou que os maiores teores de nutrientes foram encontrados nas folhas, enquanto que as menores concentrações foram encontradas na madeira, com exceção do fósforo, que se apresentou em menor concentração nas raízes. Esta autora atribuiu aos altos teores de nitrogênio nas folhas a capacidade de esta espécie fixar o nitrogênio atmosférico pela simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (Franco *et al.*, 1994). E os altos teores de Mg encontrados nas folhas são devidos ao fato de este macronutriente fazer parte da clorofila a e b presentes nas folhas, nas quais encontra-se a maioria das células vivas, proporcionando o acúmulo das maiores quantidades de nutrientes para os vários processos que ocorrem neste órgão (Kramer & Kozlowski, 1972). Resultados semelhantes foram encontrados por Barrichello (2003).

Em seu estudo com *Acacia mearnsii* com 2,4 anos, Caldeira (1998) verificou que, apesar da madeira apresentar maior contribuição em relação às folhas, na biomassa acima do solo, as folhas apresentaram maior quantidade de nutriente que a madeira.

Hoppe (2003) verificou que a madeira é o componente das árvores de *Platanus x acerifolia* que apresentou os menores teores de todos os macronutrientes. As folhas apresentaram os maiores teores de N e Mg, a casca apresentou os maiores teores de Ca e S, enquanto os frutos, os maiores teores de P e K.

Weber (2004) observou que os teores médios de N, P, K, Mg e S em  $\text{g kg}^{-1}$ , para *Cryptomeria japonica* com 28 anos, foram encontrados nas folhas, enquanto os maiores teores de Ca foram encontrados na casca.

Para Freitas (2000), trabalhando com *Eucalyptus sp.*, os maiores teores de N e K foram encontrados nas folhas, enquanto que, para o P, Ca e Mg, os maiores valores localizaram-se na casca.

Na Tabela 8, mostram-se os teores dos micronutrientes para os diferentes componentes da biomassa das árvores de acácia-negra. Observa-se que as folhas apresentam os maiores teores de boro, cobre e manganês. O zinco foi mais encontrado nos galhos mortos.

TABELA 8 - Teores médios de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Componente	Elemento				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	$\text{mg kg}^{-1}$				
Folha	86,49	14,26	137,72	86,35	18,64
Raiz	26,63	3,28	522,50	18,70	13,64
Madeira	6,88	1,57	11,88	6,04	7,10
Casca	34,43	2,74	85,51	29,70	13,90
Galho morto	29,52	6,49	94,20	28,70	27,55
Galho vivo	30,06	3,73	61,60	23,40	24,81

Onde: B= boro, Cu= cobre, Fe= ferro, Mn= manganês, Zn= zinco.

Nas raízes, foram obtidos os maiores teores de ferro. Resultado semelhante foi conseguido por Hoppe (2003), que associou este fato a uma possível contaminação da amostra usada para determinação dos teores de Fe na raiz, com óxidos de ferro, presentes no solo.

Em oposição aos altos teores dos micronutrientes encontrados nas folhas, verificou-se que os menores teores foram localizados no componente madeira.

#### 4.4.2. Equações ajustadas para determinar a quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa das árvores de *Acacia mearnsii*

A Tabela 9 mostra as equações ajustadas com os dados das árvores amostradas, com o objetivo de estimar os macro e micronutrientes por árvore, com base no DAP das árvores. Utilizou-se esta variável dendrométrica, pois, conforme verificado, esta teve um bom ajuste dos dados expresso pelo alto coeficiente de determinação e pelo baixo erro padrão apresentado pela maioria das equações e por ela apresentar facilidade de obtenção a campo.

TABELA 9 - Equações de regressão utilizadas para estimar o estoque de macronutrientes (g/árvore) e micronutrientes (mg/árvore) contidos nos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
Raiz			
C	$\log y = 0,37421 + 2,800555 * \log \text{DAP}$	0,96	3,5
N	$\log y = -1,33765 + 2,639628 * \log \text{DAP}$	0,92	11,8
P	$\log y = -2,79893 + 2,682343 * \log \text{DAP}$	0,94	15,7
K	$\log y = -1,60904 + 2,572228 * \log \text{DAP}$	0,92	16,0
Ca	$\log y = -1,42694 + 2,396759 * \log \text{DAP}$	0,88	17,9
Mg	$\log y = -2,36918 + 2,636113 * \log \text{DAP}$	0,95	17,8
S	$\log y = -2,09771 + 2,157904 * \log \text{DAP}$	0,90	20,1

Continua...

TABELA – 9 Continuação

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
B	$\log y = -0,27296+2,219367*\log \text{DAP}$	0,88	8,9
Cu	$\log y = -1,56772+2,626420*\log \text{DAP}$	0,93	13,7
Fe	$\log y = 0,619046+2,580158*\log \text{DAP}$	0,79	8,6
Mn	$\log y = -0,54704+2,320777*\log \text{DAP}$	0,82	12,4
Zn	$\log y = -1,1335+2,807275*\log \text{DAP}$	0,93	9,6
Casca			
C	$\log y = 0,77987+2,368646*\log \text{DAP}$	0,97	3,0
N	$\log y = -0,699814+2,267223*\log \text{DAP}$	0,96	5,7
P	$\log y = -2,38515+2,494811*\log \text{DAP}$	0,95	12,9
K	$\log y = -0,90684+2,213217*\log \text{DAP}$	0,95	8,0
Ca	$\log y = -0,96013+2,349763*\log \text{DAP}$	0,89	12,0
Mg	$\log y = -1,08914+1,887263*\log \text{DAP}$	0,85	20,1
S	$\log y = -2,57381+2,530617*\log \text{DAP}$	0,90	28,7
B	$\log y = -0,177582+2,253781*\log \text{DAP}$	0,97	4,2
Cu	$\log y = -1,35239+2,311947*\log \text{DAP}$	0,93	13,2
Fe	$\log y = 0,69345+1,780719*\log \text{DAP}$	0,92	4,5
Mn	$\log y = -0,39405+2,388207*\log \text{DAP}$	0,97	4,6
Zn	$\log y = -0,6104+2,281792*\log \text{DAP}$	0,96	6,1
Folha			
C	$\log y = -0,535780+3,182580*\log \text{DAP}$	0,85	10,4
N	$\log y = -1,604550+3,048978*\log \text{DAP}$	0,85	17,9
P	$\log y = -2,845660+2,901848*\log \text{DAP}$	0,84	30,2
K	$\log y = -2,015770+2,986838*\log \text{DAP}$	0,84	26,1
Ca	$\log y = -2,200940+2,952921*\log \text{DAP}$	0,82	35,8
Mg	$\log y = -2,496890+2,205139*\log \text{DAP}$	0,84	24,5
S	$\log y = -3,234730+3,109386*\log \text{DAP}$	0,87	27,0
B	$\log y = -1,384560+3,297924*\log \text{DAP}$	0,89	12,2
Cu	$\log y = -1,740250+2,878827*\log \text{DAP}$	0,81	24,2

Continua...

TABELA 9 – Continuação

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
Fe	$\log y = -1,023230+3,143231*\log \text{DAP}$	0,84	13,3
Mn	$\log y = -1,364290+3,277883*\log \text{DAP}$	0,85	14,6
Zn	$\log y = -1,763430+3,021573*\log \text{DAP}$	0,86	19,7
Madeira			
C	$\log y = 1,098458+2,839306*\log \text{DAP}$	0,99	1,5
N	$\log y = -1,32089+2,805139*\log \text{DAP}$	0,99	3,8
P	$\log y = -2,51853+2,692839*\log \text{DAP}$	0,89	22,7
K	$\log y = -1,0556+2,443427*\log \text{DAP}$	0,97	5,7
Ca	$\log y = -1,55988+3,180304*\log \text{DAP}$	0,80	19,9
Mg	$\log y = -1,85390+2,786079*\log \text{DAP}$	0,95	13,8
S	$\log y = -1,82693+2,371526*\log \text{DAP}$	0,91	25,9
B	$\log y = -0,40928+2,530303*\log \text{DAP}$	0,98	3,8
Cu	$\log y = -1,22881+2,705179*\log \text{DAP}$	0,98	6,0
Fe	$\log y = -0,94072+3,222329*\log \text{DAP}$	0,86	11,6
Mn	$\log y = -0,44508+2,458304*\log \text{DAP}$	0,87	9,7
Zn	$\log y = -0,56409+2,692326*\log \text{DAP}$	0,97	4,8
Galho Morto			
C	$\log y = 0,326545+2,836576*\log \text{DAP}$	0,97	3,4
N	$\log y = -1,07534+2,565744*\log \text{DAP}$	0,95	7,9
P	$\log y = -2,39851+2,381968*\log \text{DAP}$	0,92	12,3
K	$\log y = -1,29927+2,248503*\log \text{DAP}$	0,87	18,3
Ca	$\log y = -1,30667+2,608972*\log \text{DAP}$	0,94	10,1
Mg	$\log y = -1,83566+2,683534*\log \text{DAP}$	0,94	15,6
S	$\log y = -2,07172+2,219842*\log \text{DAP}$	0,87	16,2
B	$\log y = -0,47650+2,497829*\log \text{DAP}$	0,95	5,7
Cu	$\log y = -0,78794+2,126181*\log \text{DAP}$	0,88	12,1
Fe	$\log y = 0,074886+2,434286*\log \text{DAP}$	0,91	6,5
Mn	$\log y = -0,49426+2,497661*\log \text{DAP}$	0,94	6,5
Zn	$\log y = -0,36522+2,338432*\log \text{DAP}$	0,90	8,3

Continua...

TABELA 9 – Continuação

Galho Vivo			
Nutriente	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
C	$\log y = 0,404857+2,754314*\log \text{DAP}$	0,97	3,3
N	$\log y = -0,98270+2,538917*\log \text{DAP}$	0,95	7,7
P	$\log y = -1,91438+2,227334*\log \text{DAP}$	0,91	43,8
K	$\log y = -0,84445+2,300289*\log \text{DAP}$	0,93	9,1
Ca	$\log y = -1,18243+2,358048*\log \text{DAP}$	0,92	11,7
Mg	$\log y = -2,14289+2,851488*\log \text{DAP}$	0,93	21,8
S	$\log y = -2,16490+2,328748*\log \text{DAP}$	0,92	13,7
B	$\log y = -0,44348+2,470468*\log \text{DAP}$	0,93	6,6
Cu	$\log y = -0,55661+1,590749*\log \text{DAP}$	0,67	22,7
Fe	$\log y = -0,28109+2,613908*\log \text{DAP}$	0,91	7,1
Mn	$\log y = -0,81012+2,726324*\log \text{DAP}$	0,93	7,6
Zn	$\log y = -0,33029+2,262170*\log \text{DAP}$	0,90	8,0

Onde: R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>= coeficiente de determinação; S<sub>yx</sub>(%)= erro padrão.

#### 4.4.3. Determinação da quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa por hectare.

A Tabela 10 apresenta o estoque acumulado de macronutrientes nos diferentes componentes das árvores de acácia-negra, por hectare. Pode-se verificar que a madeira é o componente das árvores que estoca a maior quantidade de macronutrientes, com exceção do nitrogênio, que apresentou as maiores quantidades na casca.

A maior quantidade dos macronutrientes na madeira foi devido a ela apresentar a maior contribuição da biomassa por hectare (64%).

Para Caldeira (1998), a quantidade de nutrientes é conseqüência de suas concentrações e da produção de biomassa do povoamento. Diferenças no crescimento das procedências, na compartimentalização da biomassa, no número de árvores por hectare e outras características influenciaram na acumulação das diferentes quantidades de nutrientes nas procedências utilizadas no estudo.



O conteúdo de nutrientes em um povoamento é uma consequência da biomassa e do teor de nutrientes em cada componente da árvore. Calil (2003), para acácia-negra com 6 anos, pode afirmar que a madeira é o componente que apresenta os maiores conteúdos de macro e micronutrientes.

Os dados encontrados neste trabalho vêm confirmar o que Weber (2004) constatou em povoamento de *Cryptomeria japonica* com 28 anos, que a madeira apesar de ter apresentado a maior constituição (67%) da biomassa arbórea acima do solo, foram encontrados 29% da quantidade total de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), 45% do P, 60% do K, 29% do Ca, 43% do Mg e 49% do S. Já nas folhas, que apresentaram apenas 5% da biomassa total, os macronutrientes, neste componente, representam do total dos elementos, 31% do N, 23% do P, 17% do K, 10% do Ca, 26% do Mg e 24% do S.

A Tabela 11 mostra o estoque de micronutrientes alocados na biomassa dos diferentes componentes das árvores de acácia-negra. Observa-se, mais uma vez, que a maior quantidade está localizada na madeira, com exceção do ferro, que apresenta os maiores valores nas raízes, isto provavelmente devido ao teor do elemento neste componente.

TABELA 10 - Quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) encontrada na biomassa, por hectare, dos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Componente	Nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ )						Total
	N	P	K	Ca	Mg	S	
Folha	69,11	2,84	23,24	14,08	5,94	1,87	117,06
Raiz	47,91	1,79	21,68	22,74	4,22	2,76	101,10
Madeira	73,66	4,20	60,60	133,79	20,98	8,39	301,62
Casca	75,32	2,62	42,20	55,18	12,91	1,91	190,15
Galho Morto	29,26	0,94	8,98	19,10	6,70	1,41	66,39
Galho Vivo	53,69	3,23	43,35	22,84	7,79	2,23	133,14
Total	348,94	15,61	200,06	267,74	58,54	18,57	909,46

TABELA 11 - Quantidade de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) encontrada na biomassa, por hectare, nos diferentes componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Componente	Nutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ )					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Total
Folha	209,57	34,55	333,71	209,23	45,17	832,23
Raiz	216,25	26,64	4.243,05	151,86	110,77	4.748,56
Madeira	320,73	73,19	553,82	281,57	330,99	1.560,31
Casca	244,19	19,43	606,48	210,65	98,59	1.179,34
Galho Morto	98,93	21,75	315,71	96,19	92,33	624,91
Galho Vivo	159,32	19,77	326,48	124,02	131,49	761,08
Total	1.249,01	195,33	6.379,25	1.073,52	809,33	9.706,44

Barrichello (2003) também observou que os maiores acúmulos de micronutrientes ocorreram na madeira, exceto para o ferro, que apresentou um maior conteúdo nas raízes.

Já para Calil (2003), a madeira apresentou os maiores conteúdos de B e Cu, enquanto as folhas apresentaram os maiores conteúdos dos micronutrientes, Fe e Mn, e os galhos vivos apresentaram os maiores conteúdos de Zn.

Weber (2004) constatou que, para os micronutrientes, exceto o ferro, que apresentou maior teor nos galhos mortos, os demais (B, Cu, Mn e Zn) apresentaram a maior constituição nas folhas. No entanto, em função da maior proporção da biomassa representada pela madeira, esta apresentou as maiores quantidades dos micronutrientes.

#### 4.5. Implicações ecológicas

O uso dos diferentes componentes da biomassa faz com que sejam exportadas do sítio diferentes quantidades de nutrientes. A Figura 4 mostra a

distribuição percentual do conteúdo de macronutriente nos componentes da biomassa por hectare. Observa-se que a madeira, a qual contém cerca de 64% da biomassa, contém 50% do cálcio acumulado, 21% do N, 11% do P e K, 36% do Mg e 45% do S. Enquanto a folha, que contém 3% da biomassa total, contém 20, 18, 12, 5, 10 e 10% de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

No caso da *Acacia mearnsii*, a extração dos nutrientes por meio da retirada da biomassa das folhas, galhos vivos e galhos mortos, se dá exclusivamente pela queima dos resíduos da floresta, após a colheita, fato que ocorria mais no passado.

A Figura 4 mostra a distribuição dos macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa das árvores de *Acacia mearnsii* por hectare, na qual se pode constatar que o uso apenas da madeira do sistema causa uma menor exportação dos nutrientes. Isto também foi observado por Barrichello (2003), segundo o qual o processo que menos exportou nutrientes durante o manejo de uma floresta de acácia-negra foi aquele em que foi utilizado como produto da floresta apenas a madeira, deixando, no sítio, os demais componentes como resíduos para as próximas rotações.

Porém, quando se tratamos da acácia-negra, deve-se pensar que, durante o manejo da cultura, a exportação de nutrientes na colheita não está restrita somente à retirada de madeira, mas também da casca, o que não ocorre com outras culturas, como o *Eucalyptus sp* (Teixeira *et al.*, 1989); (Yamada *et al.*, 2004) e Laclau *et al.*, 2000), nas quais a retirada da casca do sítio é opcional.

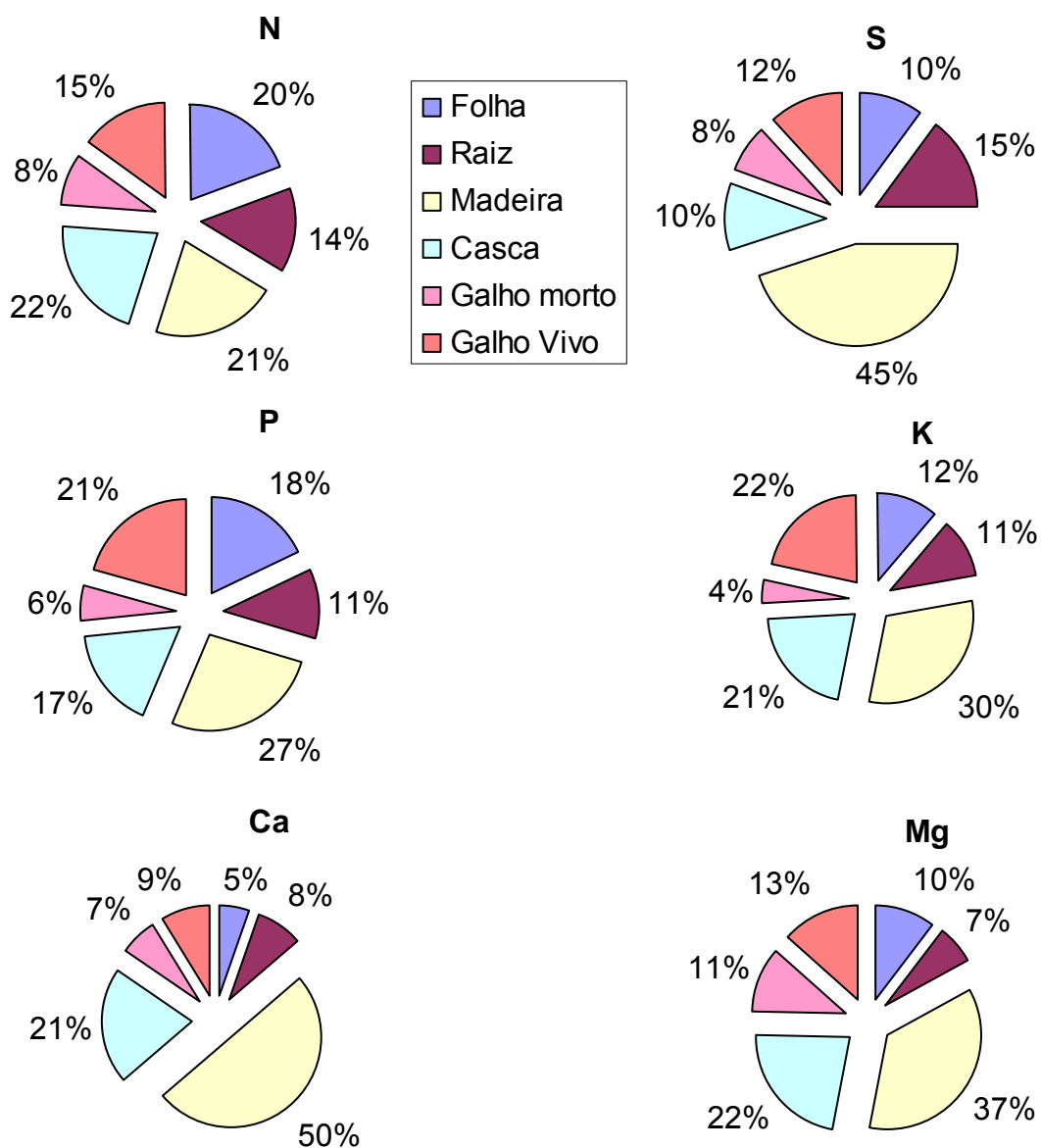


FIGURA 4 - Distribuição percentual do estoque dos macronutrientes, por hectare, nos componentes da biomassa da *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Na Figura 5, verifica-se que a colheita da madeira mais a casca resultam nas seguintes perdas: 43% do N, 44% do P, 51% do K, 71% do Ca, 58% do Mg e 55% do S acumulado nas árvores de *Acacia mearnsii* com quatro anos.

Segundo Caldenty & Valenzuela (1995), dos nutrientes mais afetados pela retirada da biomassa comercial de um bosque nativo de *Nothofagus pumilio*, os macronutrientes, correspondendo a 97,9% dos nutrientes exportados, foram o nitrogênio e o cálcio, seguidos em quantidades menores pelo potássio e magnésio. E os micronutrientes, que representaram 2,1% dos nutrientes exportados, foram o ferro e o manganês, em quantidades até 10 vezes superiores aos demais elementos.

Para Poggiani *et al.* (1984), a exportação de nutrientes está diretamente relacionada com o peso da biomassa de cada componente e com o respectivo teor de cada elemento. Observou ainda que a biomassa do lenho, de acordo com o tratamento, variou de 49 a 66 % da biomassa total. Entretanto, o conteúdo de nutrientes não ultrapassou 18% do conteúdo total do talhão. Este aspecto salienta a necessidade de explorar apenas o tronco das árvores e de deixar os resíduos no campo para que eles possam melhorar as características físicas e químicas do solo, com a adição de matéria orgânica.

Drumond *et al.* (1997), trabalhando com árvores dos diferentes tipos de vegetação, verificaram que estas apresentaram, em média, 80% da sua biomassa, no lenho e que este apresentou um acúmulo médio de 47% de N, 36% de P, 40% de K, 32% de Ca e 30% de Mg. Em caso de exploração, recomenda-se que apenas o lenho deveria ser retirado das áreas, deixando os resíduos (folhas, galhos e casca) no local para que eles possam garantir uma parcial reposição dos nutrientes.

Son *et al.* (1998) verificaram que as folhas acumularam cerca de 10% da biomassa acima do solo, contudo elas contiveram até 40% do total do conteúdo de nutrientes. Recentemente, na Korea, as folhas do ginkgo são retiradas para se fazer extratos. No entanto, a extração dessas folhas das árvores da floresta pode causar uma grande remoção de nutrientes do sítio, o qual pode ser degradado.

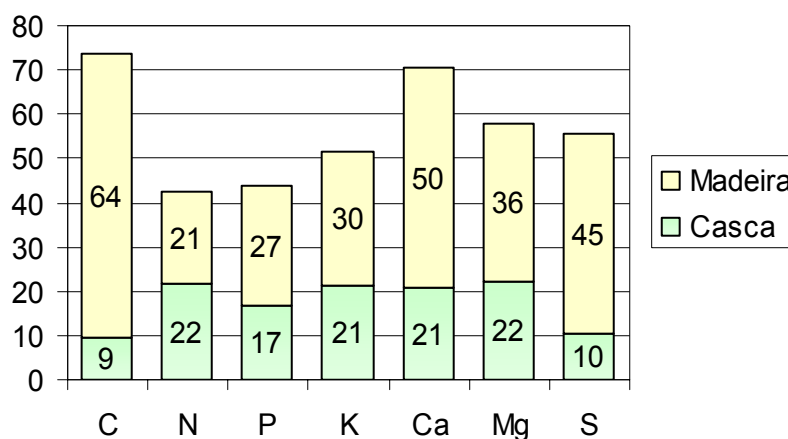


FIGURA 5 – Percentagem de exportação de macronutrientes com a colheita da madeira e da casca de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Para Caldeira (2003), as folhas foram o componente da árvore que teve os maiores teores de todos os micronutrientes. Já do total de micronutrientes acumulados nas árvores, a participação na copa (folhas, galhos vivos e galhos mortos) foi: 15% do Fe, 7% do Zn, 3% do B, 2% do Mn e 0,9% do Cu, que representa 43% da biomassa total do povoamento. Na casca e na madeira, do total acumulado, apresentaram 7% do Fe, 2% do Mn, 2% do Zn, 2% do B e 0,6% do Cu para acácia-negra.

Calil (2003) observou que árvores de *Acacia mearnsii* com seis anos exportam pela colheita, da madeira mais a casca, 35% do N, 31% do P, 39% do K, 47% do Ca, 36% do Mg, 54% do S, 46% do B, 47% do Cu, 30% do Fe, 36% do Mn e 40% do Zn da biomassa total das árvores.

Na Figura 6, observa-se a distribuição dos micronutrientes por hectare nos diferentes componentes da biomassa das árvores de acácia-negra com quatro anos.

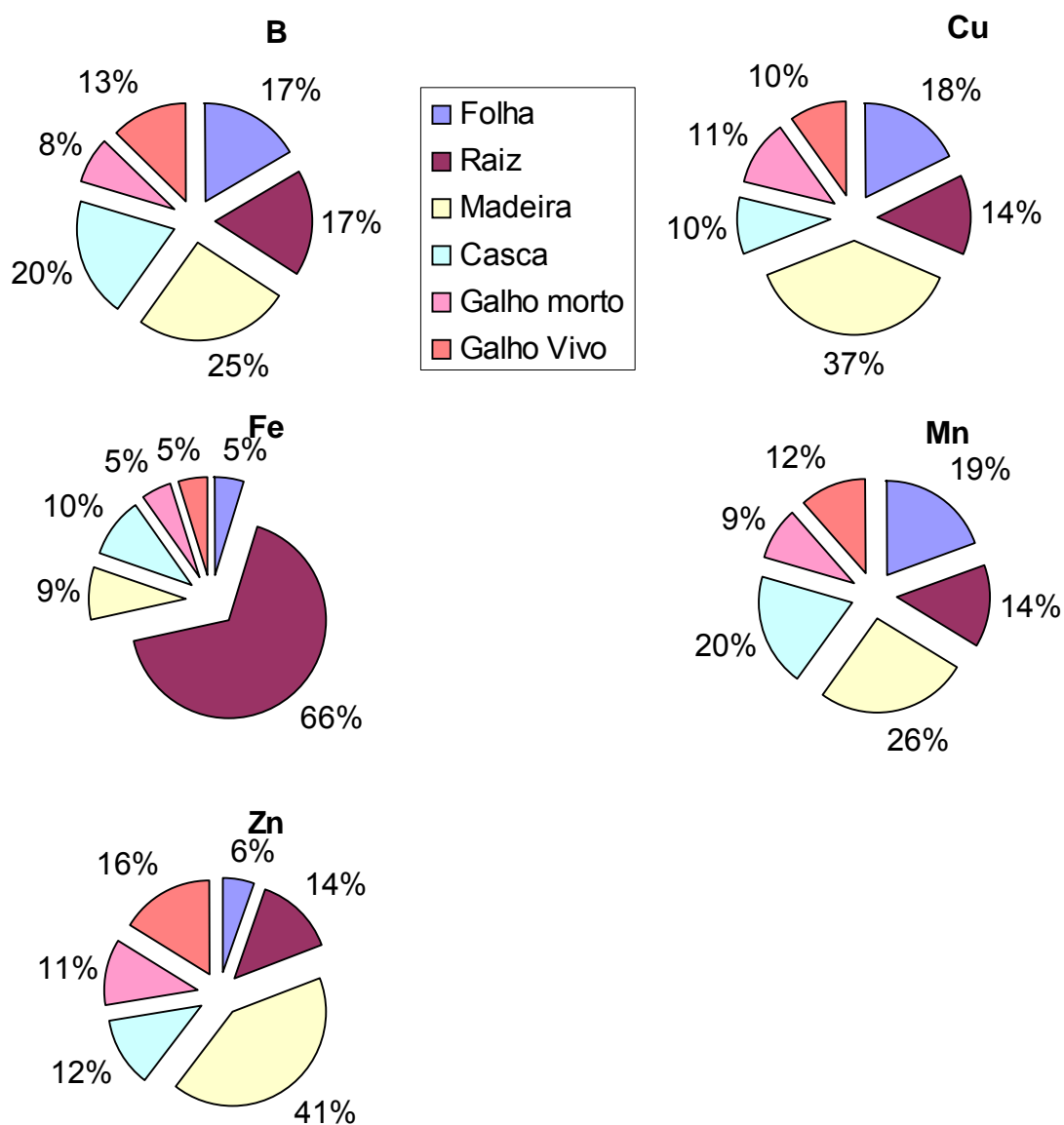


FIGURA 6 - Distribuição percentual do estoque dos micronutrientes, por hectare, nos componentes da biomassa da *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

No que se refere aos micronutrientes, a Figura 7 evidencia que a retirada da madeira e da casca faz com que sejam exportados: 46% do B, 47% do Cu, 19% do Fe, 46% do Mn e 53% do Zn armazenado na biomassa das árvores de acácia-negra.

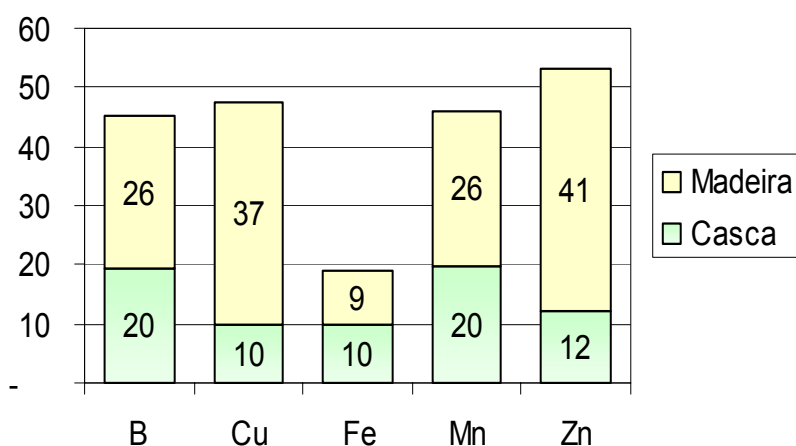


FIGURA 7 - Percentagem de exportação de micronutrientes com a colheita da madeira e da casca de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

#### 4.6. Carbono orgânico

##### 4.6.1. Teor de carbono nos componentes das plantas

O teor de carbono nos diferentes componentes das plantas de *Acacia mearnsii* com quatro anos em  $\text{g kg}^{-1}$  foram distribuídos conforme a Tabela 12. Nesta, pode-se observar que os maiores teores foram encontrados nas folhas, sendo estes valores diferentes significativamente dos demais componentes da biomassa. Dados semelhantes foram encontrados por Caldeira *et al.* (2003b). Os autores observaram um maior teor de carbono nas folhas dos povoamentos de acácia-negra com quatro e seis anos, o que torna este componente da biomassa um grande reservatório de carbono orgânico, embora represente um pequeno percentual em relação à biomassa total das árvores.

Na quantificação do carbono, o teor desse elemento tem sido considerado constante, pois o conteúdo varia pouco entre os componentes das espécies já estudadas (Schneider *et al.*, 2004).

As florestas plantadas, geralmente com fins econômicos e comerciais, são orientadas por critérios técnicos, conforme um plano de manejo, que define a época



da colheita. Porém, durante sua existência, essas florestas realizam a atividade de captura e fixação de carbono nos componentes da biomassa. Assim, a quantificação do carbono orgânico torna-se importante, porque, durante a existência dessas florestas, é imobilizada em parte do carbono existente na atmosfera (Caldeira *et al.*, 2003b).

Para *Cryptomeria japonica* com 28 anos, Weber (2004) verificou que os teores de carbono orgânico nos diferentes componentes das árvores em  $\text{g kg}^{-1}$  ficaram alocados: 472,9 nas acículas, 424,9 nos galhos vivos, 423,8 nos galhos mortos, 447,7 na madeira e 432,9 na casca.

Hoppe (2003) determinou, para um povoamento de *Platanus x acerifolia*, os teores médios de carbono que ficaram em torno de 444,5 nas folhas, 445,2 nos frutos, 436,3 nos galhos vivos, 424,3 na madeira, 369,6 na casca e 409,5  $\text{g kg}^{-1}$  na raiz.

TABELA 12 - Teores médios de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ), biomassa e estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos componentes das árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Componente	Média <sup>1</sup>	Biomassa <sup>3</sup>	Estoque de C
	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{Mg ha}^{-1}$	
Folha	455,80 a	2,45	1,11
Madeira	421,34 b	46,62	19,83
Casca	406,80 b	7,09	2,89
Galho Morto	408,78 b	3,35	1,37
Galho Vivo	413,99 b	5,30	2,20
Raiz	419,20 b	8,12	3,39
Total <sup>2</sup>		71,93	29,79

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey, <sup>1</sup>média do teor de C por árvore, <sup>2</sup>Total acumulado de carbono por hectare, <sup>3</sup>Biomassa média por componente por hectare.

Gayoso & Guerra (2003) observaram, para 16 espécies nativas no Chile, um maior teor de carbono no componente madeira. A justificativa, segundo os autores, pode estar relacionada a maior quantidade de minerais e lignina contidos neste componente. Os autores encontraram diferença significativa entre o teor de carbono nas espécies de coníferas nativas e espécies latifoliadas. Dentro do grupo das espécies latifoliadas, no entanto, não observaram diferença entre espécies caducifolias e espécies sempre verdes. Verificaram também diferenças significativas entre o conteúdo de C nos componentes madeira, folhas, galhos e casca.

Schumacher *et al.* (2002) constataram, para a espécie *Araucaria angustifolia*, que na madeira (456,68) e nas folhas (455,08), foram observados os maiores teores de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ ), e estes não apresentaram diferença significativa entre si, seguidos das raízes (444,99), dos galhos mortos (443,80), dos galhos vivos (431,22) e finalmente da casca, que apresentou os menores teores (418,83).

Também para Ceconi *et al.* (2004), trabalhando com *Pinus elliottii* com 20 anos, os teores de carbono observados mostraram-se maiores nas acículas (445,56  $\text{g kg}^{-1}$ ), seguidos dos encontrados nos galhos (422,79) e na madeira (415,55), com diferenças significativas entre os teores de C nas acículas e os demais componentes das árvores.

Estudando a biomassa e a distribuição dos nutrientes no sistema radicular do *Eucalyptus camaldulensis* com 14 anos, Tedela (2004) verificou que tanto os teores dos macronutrientes como o teor de carbono, em média  $482 \text{ g kg}^{-1}$ , presentes na raiz não apresentaram diferenças significativas nas distintas classes de DAP encontrados.

#### 4.6.2. Estoque de carbono na biomassa

Para se determinar o estoque de carbono, por árvore, é necessário conhecermos antes a distribuição nos diferentes componentes e os teores de carbono na biomassa, pois a madeira do fuste apresenta a maior quantidade de biomassa e, conseqüentemente, a maior quantidade de carbono.

A Figura 8 mostra a distribuição, em percentagem, do carbono acumulado nos diferentes componentes da biomassa por hectare de *Acacia mearnsii*. Mostra

também que a quantidade de carbono por hectare segue a distribuição percentual da biomassa por hectare

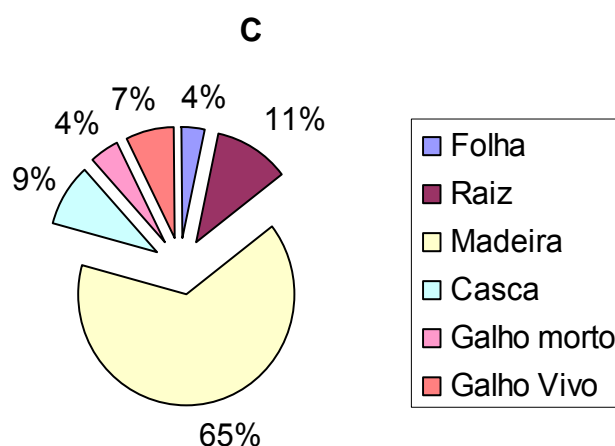


FIGURA 8 - Percentagem de carbono nos diferentes componentes da biomassa, por hectare, em árvores de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Para a mesma espécie com quatro anos, Caldeira *et al.* (2003b) chegou a resultados muito parecidos em que a percentagem de carbono por hectare nas folhas, galhos mortos, galhos vivos, casca, madeira e raízes foi de 4, 3, 10, 8, 62 e 12%, respectivamente. Já com seis anos, a distribuição foi de 6, 2, 11, 5, 66 e 9% nos mesmos componentes da biomassa.

#### 4.7. Determinação do ponto de amostragem para a quantificação dos nutrientes no fuste

##### 4.7.1. Determinação do teor dos nutrientes na madeira e casca

Com objetivo de determinar o teor dos macronutrientes e micronutrientes nos componentes madeira e casca nas diferentes alturas relativas, verificou-se através do teste de Tukey ao nível de 5%, se existe diferença significativa entre os teores encontrados ao longo do fuste.

Para isto, foram utilizadas as análises realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal, com as quais se obtêm os teores de macronutrientes (Tabelas 13) e micronutrientes (Tabela 14) nos componentes casca e madeira nas alturas relativas ao longo do fuste.

Na Tabela 13, observa-se que os teores médios dos macronutrientes não apresentaram diferenças significativas nas diferentes alturas de amostragem ao longo de fuste para acácia-negra, com exceção do nitrogênio e do potássio na madeira e do nitrogênio e do fósforo na casca. Mas não se pode deixar de notar que, tanto para a madeira quanto para a casca, quanto mais alta a posição no fuste, maior é o teor deste nutriente, sendo isto associado à mobilidade desse elemento.

TABELA 13 - Teores médios de macronutrientes ao longo do fuste para os componentes madeira e casca de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

% da altura total	Nutrientes (g kg <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	Madeira					
1%	1,44 c	0,09 a	1,37 ab	3,65 a	0,50 a	0,19 a
3%	1,34 c	0,07 a	1,11 ab	3,31 a	0,53 a	0,19 a
10%	1,32 c	0,06 a	0,96 b	3,07 a	0,48 a	0,15 a
20%	1,33 c	0,06 a	0,95 b	3,11 a	0,41 a	0,18 a
30%	1,38 c	0,07 a	1,05 b	3,26 a	0,46 a	0,19 a
40%	1,37 c	0,09 a	1,26 ab	2,54 a	0,40 a	0,17 a
50%	1,51 bc	0,09 a	1,34 ab	3,04 a	0,46 a	0,19 a
60%	1,61 abc	0,08 a	1,19 ab	3,00 a	0,41 a	0,16 a
70%	1,76 abc	0,08 a	1,44 ab	2,25 a	0,41 a	0,19 a
80%	1,94 ab	0,07 a	1,71 a	2,25 a	0,41 a	0,17 a
90%	2,05 a	0,11 a	1,55 ab	2,94 a	0,45 a	0,20 a

Continua...

TABELA 13 – Continuação

% da altura total	Nutrientes (g kg <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	Casca					
1%	9,59 b	0,37 bcd	6,11 a	9,08 a	1,44 a	0,27 a
3%	9,40 b	0,34 d	5,46 a	8,75 a	1,44 a	0,22 a
10%	9,43 b	0,35 d	5,62 a	7,61 a	1,52 a	0,27 a
20%	10,10 ab	0,36 cd	5,82 a	8,58 a	1,57 a	0,25 a
30%	10,36 ab	0,35 d	5,48 a	7,16 a	1,52 a	0,30 a
40%	10,79 ab	0,37 bcd	5,92 a	7,27 a	1,67 a	0,28 a
50%	11,19 ab	0,40 abcd	5,80 a	6,43 a	1,69 a	0,32 a
60%	11,06 ab	0,42 abcd	5,80 a	7,14 a	2,82 a	0,25 a
70%	10,70 ab	0,45 a	5,21 a	6,25 a	1,85 a	0,26 a
80%	11,78 a	0,44 ab	6,37 a	6,78 a	2,04 a	0,31 a
90%	11,72 a	0,43 abc	6,21 a	7,17 a	1,89 a	0,32 a

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Hoppe (2003) observou, para a madeira e a casca do *Platanus x acerifolia*, que os teores de macronutrientes apresentavam distribuição variada: o nitrogênio, fósforo e potássio apresentaram os maiores teores, nas partes mais altas das árvores, confirmando a sua condição de elemento móvel dentro da planta. Já quanto ao Ca e ao S, para ambos os componentes, os maiores teores, foram encontrados na parte basal das árvores. O teor de Mg, ao longo do fuste, para a madeira, teve seu maior valor localizado na base, enquanto para a casca, os maiores teores foram encontrados nas partes mais altas.

Andrae & Krapfenbauer (1983b) verificaram que o N, P, K e Mg, tanto para madeira quanto para casca, em araucária com 17 anos, apresentaram aumento das concentrações com aumento da altura relativa, ratificando a influência da idade dos tecidos nas concentrações nas diferentes alturas. O mesmo não foi apresentado pelo cálcio (Ca), o qual, devido a sua pequena mobilidade natural, acumulou-se nos tecidos mais velhos, principalmente nos da casca.

A Tabela 14 mostra os teores médios dos micronutrientes em diferentes alturas ao longo do fuste e que, para todos os micronutrientes observados, não foi verificada diferença significativa entre a altura de amostragem e os teores dos micronutrientes ao longo do fuste.

TABELA 14 - Teores médios de micronutrientes ao longo do fuste para os componentes madeira e casca de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

% da altura total	Nutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Madeira				
1%	6,44 a	1,62 a	12,40 a	5,49 a	6,12 a
3%	5,61 a	1,51 a	11,96 a	5,01 a	6,55 a
10%	5,22 a	1,41 a	7,32 a	5,72 a	5,65 a
20%	6,14 a	1,27 a	5,68 a	4,57 a	5,17 a
30%	5,61 a	1,47 a	8,33 a	5,32 a	6,10 a
40%	6,15 a	1,46 a	12,22 a	5,34 a	7,63 a
50%	6,78 a	1,71 a	8,60 a	4,97 a	7,14 a
60%	6,33 a	1,18 a	10,60 a	5,26 a	6,58 a
70%	6,20 a	1,64 a	5,05 a	5,31 a	6,67 a
80%	7,20 a	1,56 a	12,77 a	6,77 a	7,11 a
90%	8,00 a	1,49 a	9,08 a	4,70 a	7,27 a
% da altura total	Nutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Casca				
1%	31,80 a	3,21 a	88,47 a	32,76 a	13,13 a
3%	28,88 a	2,59 a	84,49 a	29,39 a	12,26 a
10%	29,35 a	2,44 a	81,45 a	29,10 a	13,30 a
20%	33,29 a	2,10 a	63,98 a	30,61 a	12,15 a

Continua...

TABELA 14 – Continuação

% da altura total	Nutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Casca				
30%	31,89 a	2,76 a	84,78 a	28,32 a	12,66 a
40%	33,53 a	2,51 a	86,46 a	30,61 a	12,37 a
50%	38,14 a	2,96 a	81,61 a	29,21 a	13,66 a
60%	33,29 a	2,65 a	69,47 a	27,55 a	14,41 a
70%	32,90 a	2,75 a	69,02 a	28,56 a	14,10 a
80%	36,18 a	2,75 a	77,97 a	30,10 a	11,90 a
90%	37,97 a	2,99 a	67,27 a	26,53 a	15,03 a

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.7.2. Determinação do "Teor Representativo".

A Tabela 15 mostra os valores do somatório da massa de nutrientes, do somatório da biomassa total amostrada e dos teores representativos dos macro e micronutrientes ao longo do fuste para os componentes madeira e casca de acácia-negra.

TABELA 15 - Valores do somatório da massa de nutrientes e da biomassa e dos teores representativos para macro e micronutrientes no fuste, para os componentes madeira e casca de *Acacia mearnsii* De Wild., com quatro anos de idade.

Macro	Madeira			Casca		
	Massa	Biomassa	TR <sup>1</sup>	Massa	Biomassa	TR
	g	kg	g kg <sup>-1</sup>	g	kg	g kg <sup>-1</sup>
N	2.021,90	1.351,00	1,50	1971,24	194,11	10,16
P	110,53	1.351,00	0,08	78,81	194,11	0,41
K	1.742,79	1.351,00	1,29	1048,58	194,11	5,40
Ca	4.241,72	1.351,00	3,14	1383,4	194,11	7,13
Mg	607,94	1.351,00	0,45	305,25	194,11	1,57
S	245,5	1.351,00	0,14	54,56	194,11	0,28
Micro	Massa	Biomassa	TR	Massa	Biomassa	TR
	mg	kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg	kg	mg kg <sup>-1</sup>
	B	7.720,27	1.351,00	5,71	6448,89	194,11
Cu	1.996,07	1.351,00	1,48	503,86	194,11	2,60
Fe	18.547,26	1.351,00	13,73	13225,55	194,11	68,13
Mn	7.627,34	1.351,00	5,65	5580,05	194,11	28,75
Zn	9.053,72	1.351,00	6,70	2508,12	194,11	12,92

Onde; <sup>1</sup> = Teor Representativo em g kg<sup>-1</sup> para macro e mg kg<sup>-1</sup> para micronutrientes, Biomassa= Biomassa total do fuste, para madeira e casca, das 30 árvores amostradas, Massa= massa total de nutrientes das 30 árvores no fuste para madeira e casca.

#### 4.7.3. Determinação da "Altura Representativa"

A Tabela 16 mostra a variação da altura representativa com base nos diferentes teores dos nutrientes ao longo do fuste e os teores representativos calculados. Verificou-se que, para os elementos que apresentaram variação dos teores ao longo do fuste, N e K na madeira e N e P na casca, a altura comum encontrada para amostragem foi de 50% da altura total das árvores de acácia-negra.



TABELA 16 - Altura representativa, dada em percentagem da altura total, a qual representa o ponto de amostragem dos macronutrientes nos componentes madeira e casca no fuste de *Acácia mearnsii* De Wild.

Componente	Variável	Nutriente					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Madeira	TR	1,50	0,08	1,29	3,14	0,45	0,14
	AR	50%	1-100%	1-3, 40-70 e 90%	1-100%	1-100%	1-100%
Casca	TR	10,16	0,41	5,40	7,13	1,57	0,28
	AR	20-70%	50-60%	1-100%	1-100%	1-100%	1-100%

Onde: TR= teor representativo, AR= altura representativa

Hoppe (2003) determinou, com base na análise da distribuição dos teores de macronutrientes ao longo do fuste, que o ponto de coleta para amostras dos teores dos macronutrientes, no componente madeira e casca, deve ser localizado a 26,2% da altura total das árvores de *Platanus x acerifolia*.

Andrae & Krapfenbauer (1983c) determinaram que para *Eucalyptus saligna*, a altura do ponto de amostragem para o teor dos nutrientes fica em torno de 23% da altura total.

Caldeira (1998) e Barrichello (2003), para *Acácia mearnsii* com 2,4 e 8 anos, respectivamente, e Weber (2004), para um povoamento de *Cryptomeria japonica* com 28 anos, utilizaram 50% da altura total, para retirada da amostra do fuste (casca + madeira) e determinação do teor de nutrientes nestes componentes, bem como para determinação do teor de umidade, para cálculo da biomassa seca.

## 5. CONCLUSÕES

- A biomassa total das árvores de *Acacia mearnsii* com quatro anos foi de 72,91 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuída 64% na madeira, 11% nas raízes, 10% na casca, 7% nos galhos vivos, 5% nos galhos mortos e 3% nas folhas;
- A quantidade de macronutrientes, dada em kg ha<sup>-1</sup>, na biomassa das árvores de *Acacia mearnsii* foi de 384,94 de N, 15,69 de P, 200,06 de K, 267,74 de Ca, 58,54 de Mg e 18,57 de S;
- O estoque dos micronutrientes em g ha<sup>-1</sup>, na biomassa das árvores de *Acacia mearnsii*, foi de 1.249,01 de B, 195,33 de Cu, 6.485,64 de Fe, 1.073,52 de Mn e 809,33 de Zn;
- A retirada da madeira do sítio causa a exportação de 21% do N, 27% do P, 30% do K, 50% do Ca, 36% do Mg, 45% do S, 26% do B e Mn, 37% do Cu, 9% do Fe e 41% do Zn acumulado na biomassa das árvores de *Acacia mearnsii*;
- A retirada da casca causa a exportação de 22% do N e Mg, 17% do P, 21% do P e Ca, 22% do Mg, 10% do S, Fe e Cu, 20% do B e Mn e 12% do Zn do total de nutrientes estocados na biomassa nas árvores de *Acacia mearnsii* por hectare;
- O carbono estocado na biomassa foi 29,79 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuído 64% na madeira, 11% na raiz, 9% na casca, 7% nos galhos vivos e 4% nos galhos mortos e folhas por hectare;
- Os teores dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), não apresentaram variação significativa ao longo do fuste, para os componentes madeira e casca, indicando qualquer altura para amostragem no fuste para quantificação dos micronutrientes;
- Dos teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) no fuste, apenas N e K na madeira e N e P na casca apresentaram diferenças nos teores ao longo do fuste; para os demais, independe a altura de amostragem para quantificação dos nutrientes no fuste;

- O ponto ótimo de amostragem, para quantificação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) no fuste, tanto na madeira como na casca, deve situar-se a 50% da altura total das árvores de *Acácia mearnsii*.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, A. G. de. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas.** 1997. 178f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ANDRAE, F. H. Segundo inventário de um povoamento de *Eucalyptus saligna* no sul do Brasil. In: ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973 - 1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*.** Santa Maria-Brasil / Viena-Áustria: 1983, p. 86-112.

ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de *Araucaria* de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte I: Inventário de biomassa. In: ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973 - 1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*.** Santa Maria-Brasil / Viena-Áustria: 1983a, p. 16-29.

\_\_\_\_\_. Inventário de um reflorestamento de *Araucaria* de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte II: Inventário de nutrientes. In: ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973 - 1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*.** Santa Maria-Brasil / Viena-Áustria: 1983b, p. 30-55.

\_\_\_\_\_. Estudos da situação da biomassa e de nutrientes de um reflorestamento de quatro anos com *Eucalyptus saligna* Smith em Santa Maria, RS. In: ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973 - 1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*.** Santa Maria-Brasil / Viena-Áustria: 1983c, p. 68-85.

BARRICHELLO, L. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil.** 2003, 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; CARMO, D. N. do; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais - descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p.112-120, 1986.

BELLOTE, A. F. J. **Suprimento de nutrientes minerais e crescimento de plantações adubadas de *Eucalyptus grandis* nos cerrados do Estado de São Paulo.** 1990. 166f. Tese (Doutorado) - Universidade de Fraiburg, Fraiburg, 1990.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINING, D. A.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia.** Melbourne: Nelson-CSIRO, 1984. 243p.

BURKART, A. Leguminosas - mimosoideas. In: REITZ, P.R. **Flora Ilustrada Catarinense.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1979, 304 p.

CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De wild.).** 1998, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

CALDEIRA, M. V. W.; NETO, R. M. R.; SCHUMACHER, M. V. Conteúdo e exportação de micronutrientes em acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) procedência Batemans Bay (Austrália). **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 9-14, 2003a.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BARRICHELLO, L. R.; VOGEL, H. L. M. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. plantados no Rio Grande do Sul. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 2, p. 47-54, 2003b.

CALDENTEY, P. R. & VALENZUELA C. P. **Estimación de la biomasa y del contenido de nutrientes, por la utilización comercial de un bosque natural de Lenga (*Nothofagus pumilio*) en Magallanes Continental, Chile.** In: IV jornadas Florestales Patagonicas. Tomo 1. p. 216-228. 1995.

CALIL, F. N. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em um sistema silvopastoril com *Acacia mearnsii* De Wild., no município de Tupanciretã, RS.** 2003, 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

CAMPOS, M. A. A., **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha.** 1991. 106f. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1991.

CARBONERA PEREIRA, J.; SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W.; SANTOS, E. M. dos. Produção de biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v.21, n.4, p.521-526, 1997.

CARPANEZZI, A. A. Espécies para recuperação ambiental. In: GALVÃO, A.P.M. **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais.** Colombo: Embrapa Florestas, 1998. p. 43-53.

CECONI, D. E.; SCHUMACHER, M. V.; POLETTO, I, *et al.*. Quantificação da biomassa e do carbono nos resíduos da colheita de uma floresta de *Pinus elliotti* Engelm. aos 20 anos de idade. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004. Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 2004, p. 396-402.

CHEN, H. Biomass and nutrient distribution in a Chinese-fir plantation chronosequence in Southwest Hunan, China. **Forest Ecology and Management**, 105, p. 209-216, 1998.

DREXHAGE, M.; COLIN, F. Estimating root system biomass from breast-height diameters. **Forestry**, v.74, n.5, p.491-497, 2001.

DRUMOND, M. A.; BARROS, N. F. de; SOUZA, A. L. de; SILVA, A. F. de. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e de pastagem na região do médio Rio Doce-MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 187-199, 1997.

EMATER-RS. **Plano estratégico plurianual - 1997-2000**. Escritório Municipal de Arroio dos Ratos, 1997, s/n.

EMBRAPA. Cultivo da Acácia Negra. In: Sistemas de Produção, v. 3. (versão eletrônica) disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/CultivodaAcaciaNegra/> acessado em: 23/02/2005.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM / CEPEF / FATEC, 1992. 201p.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994, p.145-153.

FREITAS, R. do A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hil ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no município de Alegrete-RS**. 2000. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

FRITZ FILHO, L. F.; MIGUEL, L. A. A utilização da abordagem sistêmica para o diagnóstico de realidades agrícolas municipais. **Teor. Evid. Econ.**, v.8, n.15, p. 151-167, 2000.

GAYOSO, J.; GUERRA, J. **Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile.** In: Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile, 2003, 8p.

GONÇALVES, J. L. M. Propriedades físico-químicas dos solos vs. exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento. Piracicaba, IPEF, 1988. 12p. (Circular Técnica nº 154).

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: **Nutrição e Fertilização Florestal.** IPEF, Piracicaba. cap. 1, p. 3-57, 2000.

HARMAND, J. M.; NJITI, C. F.; REVERSAT, F. B.; PUIG, H. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. **Forest Ecology and Management**, 188, 249-265, 2004.

HIGA, A. R.; DEDECEK, R. A.; SANTOS, A. F. dos; STEIN, P. P.; SIMON, A. A. Desarrollo de sistemas de producción para acacia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO: EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FORESTALES, DESAFÍO DEL SIGLO XXI, 1., 1998, Valdivia, Chile. **Actas...** Valdivia, Chile (Apresentação em CD-ROM). 1998a.

HIGA, A. R.; MORA, A. L.; STEIN, P. P.; SIMON, A. A.; HIGA, R. C. V. Resistencia a headas en procedencias de *Acacia mearnsii* De Wild. plantadas em Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO: EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FORESTALES, DESAFÍO DEL SIGLO XXI, 1., 1998, Valdivia, Chile. **Actas...** Valdivia, Chile (Apresentação em CD-ROM) 1998b.



HIGA, R. C. V.; DEDECEK, R. A. **Acácia negra**. In: EMBRAPA-CNPQ, (Instrução Técnica n.5), 1999, 2p.

HOPPE, J. M. **Biomassa e nutrientes em *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. estabelecido no município de Dom Feliciano – RS**. 2003, 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS -IPAGRO. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: 3v, 326 p., 1989.

INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO DO RS. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/conclu.htm>> acessado em 26/05/2005.

KADEBA, O. Growth and nutrient accumulation by *Pimus caribaea* on tree savanna sites in northern Nigeria. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 49, p. 139 - 147, 1994.

KANNEGIESSER, U. Apuntes sobre algunas acacias australianas. 1. - Acacia mearnsii De Willd. **Ciencia e Investigación Forestal**, v.4,n.2, p.198-212, 1990.

KIMMINS, J. P. **Forest Ecology**. Canada: Macmillan, 1987. 531p.

KRAMER, R. J. & KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Goulbenkian, 1972, 745p.

KRAPFENBAUER, A.; ANDRAE, F. H. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo - RS. Parte 1: Inventário de biomassa. In: ANDRAE, F. H.; KRAPFENBAUER, A. (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973 - 1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna***. Santa Maria-Brasil / Viena-Áustria: 1983, p. 16-29.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. **Forest Ecology and Management**, n. 128, p. 181-196, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2° ed. San Diego: Academic Press Limited. 1988. 889p.

MARTIN, J. G.; KLOEPPEL, B. D.; SCHAEFER, T. L.; KIMBLER, D. L.; MCNULTY, S. O. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. **Can. J. For. Res**, v 28, p. 1648-1659, 1998

MATTOS JR., D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Nutrient content of biomass components of hamlin sweet orange trees. **Scientia Agricola**, .v.60, n.1, p.155-160, 2003.

MONTÈS, N.; BERTAUDIÈRE-MONTES, V.; BADRI, W.; ZAOUI, EL. H.; GAUQUELIN, T. Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: the *Juniperus thurifera* L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). **Forest Ecology and Management**., n. 166, p.35-43, 2002.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961, 42p.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de Eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191f. Tese (Doutorado em produção vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 2000.

OLIVEIRA, H. A. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul**. Canoas: La Salle, v. 2, 1968, 121 p.

POGGIANI, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. In: SÍMPOSIO SOBRE ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL, 1983, 1., São Paulo. **Anais...**São Paulo: CESP/IPEF, p. 102-149.

POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 17-30, 1984.

PONETTE, Q.; RANGER, J. OTTORINI, J.; ULRICH, E. Aboveground biomass and nutrient content of five Douglas-fir stands in France. **Forest Ecology and Management**, n. 142, p. 109-127, 2001.

POSENATO, R. E. Ensaio de espaçamento em acácia-negra. **Roessleria**, v. 1, n.1, p. 125-130, 1977.

RACHWAL, M. F. G., CURGIO, G. R., DEDECK, R. A. Caracterização do desenvolvimento e produção de madeira de *Acacia mearnsii* aos 3 e 4 anos de idade em solos derivados de micaxistos no município de Piratini, RS. **Comunicado Técnico nº 26**. EMBRAPA, p.1-10, 1997.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 11, n.1, p. 1-15, 1987.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R.; HELLER, J. B.; STEIN, P. P. Parâmetros genéticos e interação genótipo x ambiente em teste de procedência e progênies de Acácia negra (*Acacia mearnsii*). **Boletim de Pesquisas florestais**. Colombo, n. 24/25, p. 55-65, jan/dez. 1992.

ROSS, G. P. D. **Quantificação da biomassa num povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no município da Arroio dos Ratos**. 2004. 27f. Relatório de Estágio

Supervisionado em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SALISBURY, F. B. & ROSS, C. W. **Fisiología Vegetal**. Grupo editorial Iberoamérica S. A. de C.V., México. 759 p. 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n.56, p. 155-169, 1999.

SANTOS, A. F. dos; JUNIOR, A. G.; AUER, C. G.; SANTANA, D. L. de Q. **O complexo gomose da acácia-negra**. In: EMBRAPA. (Circular Técnica, n. 44), 2001, 8p.

SCHENEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada a engenharia florestal**. Santa Maria: CEPEF, 1997. 217p.

SCHENEIDER, P. R.; HOSOKAWA, R. T. Estudo de equações volumétricas para tabelas de volume com e sem casca para Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild). In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., **Anais ...**, Manaus, 1978, p. 90-95.

SCHENEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M.; SOBRINHO, V. G.; SCHENEIDER, P. S. P. Método de derivação do volume em biomassa e carbono: uma aplicação em *Platamus x acerifolia* (Aiton) Wild. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004. Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 2004, p. 381-388.

SCHNEIDER, P. R; FLEIG, F. D; FINGER, C. A. G; KLEIN. J. E. M. Crescimento da Acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**. v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Mesell.** 1992. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

SCHUMACHER, M. V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen Bestaenden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien.** 1995. 167f. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal), Universität für Bodenkultur, Viena, 1995.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996. **Anais...**Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996, p. 65-77.

SCHUMACHER, M. V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labilardière) subespécie *bicostata*. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p.281-286, 1998.

SCHUMACHER, M. V.; SILVA, J. V. M. da; ROSS, G. P. D.; MOREIRA, E. Crescimento de plantas de *Acacia mearnsii* De Wild. em diferentes tipos de preparo de solo. In SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria, 2004, p. 139-143.

SCHUMACHER, M. V.; WITSHORECK, R.; BARBIERI, S. J. Estimativa do carbono orgânico em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Com 27 anos de idade na região de Quedas do Iguaçu - PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS XXV, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZA IX, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO VII, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO IV. 2002. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: FERTBIO, 2002, p. 68.

SETA. Disponível em: <<http://www.seta-sa.com.br/>> Acesso em 13 jan. 2005.

SHERRY, S. P. **The black wattle** (*Acacia mearnsii*). Pietermaritzburg: University of Natal Press, 1971. 402p.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 179-189, 1996.

SON, Y.& KIM, H. W. Above-ground biomass and nutrient distribution in a 15-year-old ginkgo (*Ginkgo biloba*) plantation in central Korea. **Bioresource Technology**, 63, p. 173-177, 1998.

STRECK, E. V. ; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 107p.

SWAMY, S. L.; KUSHWAHA, S. K.; PURI, S. Tree growth, biomass, allometry and nutrient distribution in *Gmelina arborea* stands grown in red lateritic soils of Central India. **Biomass & Bioenergy**, n.26, p. 305-317, 2004.

TEDELA, T. H. **Root biomass and nutrient distribution study in an *Eucalyptus camaldulensis* plantation in Ethiopia**. 2004. Dissertação (Master of Science in Mountain Forestry) - University Of Natural Resources and Applied Life Science, Vienna, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2° ed., Porto Alegre: UFRGS, 1995. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F. de; COSTA, L. M. da; CAMPOS, J. C. C.; LEAL, P. G. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de Eucalipto em

diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, n. 13, v. 1, p.34-50, 1989.

VAN DER DRIESSE, R. Prediction of mineral status of trees by foliar analysis. **The Botanical Review**. New York, v. 40, p. 347-394, 1984.

WEBER, C. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don., no município de Encruzilhada do Sul- Rio Grande do Sul.** 2004. 36f. Relatório de Estágio Supervisionado em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

YAMADA, M.; TOMA, T.; HIRATSUKA, M.; MORIKAWA, Y. Biomass and potential nutrient removal by harvesting in short-rotation plantations. In: **Site management and productivity in tropical plantation forest: proceedings of workshops in Congo July 2001 and China February 2003.** CIFOR, pg. 213-226, 2004.

ZEN, S.; POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. do. Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *Eucalyptus saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais. **IPEF (Circular Técnica)**, Piracicada, n. 136, p. 1-7, 1981.

**ANEXO**

---



ANEXO A – Resultados das análises químicas do solo plantado com *Acacia mearnsi* De Wild., com quatro anos de idade.

Profundidade	Argila	pH	M.O.	m	V	P	K	Ca	Mg	CTC	Cu	Zn	Fe	Mn
cm	%	H <sub>2</sub> O	%		mg L <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>			mg L <sup>-1</sup>				
0 – 10	31	4,4	2,5	27	44	4,0	86	2,0	0,5	4,8	1,8	1,6	123	90
	28	4,3	3,0	27	37	5,5	130	1,6	0,6	4,0	1,3	1,3	135	64
	31	4,1	2,6	19	57	4,0	120	1,2	0,4	4,4	1,8	0,8	124	77
	30	4,3	2,7	30	45	5,5	136	1,5	0,5	4,2	1,8	1,3	116	94
10 - 20	35	4,3	2,0	27	41	3,2	112	1,5	0,5	3,9	1,9	1,3	133	76
	39	4,3	2,1	28	47	3,2	138	1,4	0,5	4,5	2,0	1,1	76	36
	36	4,2	1,7	20	56	3,2	92	1,2	0,4	4,1	1,9	0,6	82	25
	35	4,3	2,2	29	44	4,8	116	1,6	0,4	4,1	2,2	1,0	81	75
20 - 30	44	4,4	1,8	30	39	3,2	114	2,2	0,8	4,7	2,3	0,8	64	38
	36	4,4	1,9	27	46	4,0	162	1,4	0,5	4,3	2,2	0,6	71	27
	44	4,3	2,0	27	50	3,2	98	1,6	0,6	5,0	2,1	0,4	75	10
	43	4,3	1,7	27	46	3,2	86	1,6	0,6	4,5	2,0	0,5	61	30
30 - 40	46	4,4	1,8	41	35	3,2	78	2,1	0,9	4,9	2,2	0,5	54	6
	44	4,4	2,1	26	49	3,2	162	1,6	0,6	5,1	1,8	0,3	78	7
	51	4,5	1,7	28	49	2,5	100	1,6	0,7	5,1	1,4	0,3	59	15
	43	4,3	1,8	27	46	3,2	86	1,7	0,6	4,7	1,9	0,3	42	14
40 - 50	43	4,4	1,7	33	40	3,2	78	1,8	0,8	4,7	2,0	0,4	51	6
	56	4,4	1,7	27	52	3,2	168	1,5	0,6	5,2	1,5	0,3	61	2
	43	4,6	1,5	35	47	3,2	86	1,6	0,7	4,7	1,3	0,4	45	1
	47	4,4	1,7	30	45	3,2	98	1,6	0,7	4,9	1,9	0,3	46	16
50 - 60	56	4,4	1,6	35	40	2,5	90	1,9	0,9	5,0	1,9	0,4	45	1
	56	4,4	1,7	27	47	3,2	146	1,6	0,7	5,1	1,5	0,3	66	4
	56	4,6	1,3	33	41	3,2	78	1,7	0,8	4,6	1,4	0,4	48	8
	48	4,5	1,4	31	42	3,2	82	1,6	0,7	4,3	1,6	0,3	48	18