

HELTON DAMIN DA SILVA

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA A ESTIMATIVA DA
BIOMASSA E DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM
PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden)
EM DIFERENTES IDADES**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Carlos Bruno Reissmann

CURITIBA, PR

1996



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **HELTON DAMIN DA SILVA**, sob o título **“ESTIMATIVA DA BIOMASSA E DE MACRONUTRIENTES EM PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus grandis* Hill (ex.Maiden), EM DIFERENTES IDADES”**, para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **SILVICULTURA**:

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese, com média final:(9,2), correspondente ao conceito:(**A**).

Curitiba, 20 DE DEZEMBRO DE 1996

Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri
Primeiro Examinador
USP

Pesq. Dr. Edilson Batista de Oliveira
Segundo Examinador
CNPQ/EMBRAPA

Prof. Dr. Antonio Francisco Jurado Bellote
Terceiro Examinador
UFPR

Prof. Dr. Celina Wisniewski
Quarta Examinadora
UFPR

Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann
Orientador e Presidente da Banca
UFPR

Aos meus pais:

João Procopio da Silva (in memorian)

e Mercedes Damin Silva

pelo exemplo de vida.

Aos meus irmãos,

meus amigos.

Dedico

A minha esposa Regina,

e aos meus filhos:

Fernanda, Guilherme e Leandro

pela compreensão e incentivo

em todos os momentos.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Embrapa Florestas pela oportunidade, através do projeto 08.0.94.502 “Desenvolvimento de Técnicas Silviculturais e Sustentabilidade Econômica e Ecológica de Sistemas de Produção Florestal”.

Ao Professor Dr. Carlos Bruno Reissmann, pela orientação e confiança depositada.

Aos Drs. Antonio Francisco Jurado Bellote e Carlos Alberto Ferreira, pelo companherismo na execução do projeto.

Aos Senhores Jacir Faber, Luiz Carlos Coelho Neto, Carlos Roberto Urio, Roberto Carletto, Onécimo Nunes da Veiga e Carlos Roberto Dias, pela dedicação nas coletas, preparo e análise das amostras.

Aos colegas José Elidney Pinto Junior, Osmir José Lavoranti, Derli Dossa e Namie Takii, pela espontaneidade na revisão e editoração do texto.

As empresas Suzano Papel e Celulose S.A. e Champion Papel e Celulose, pela concessão da área experimental e apoio na coleta das amostras.

Aos Engenheiros Florestais Silas Zen, José Luiz Gava, Luiz Moro e Robson Cannaval Junior, aos colegas da Embrapa Florestas, pelo apoio e incentivo e às funcionárias da Biblioteca pela revisão das bibliografias.

Aos colegas da Pós-Graduação da UFPR, pelo agradável convívio.

Ao CNPq, pela Bolsa de Estudos concedida.

BIOGRAFIA

Helton Damin da Silva nasceu, em Guarujá-SP, em 30 de abril de 1951.

Em 1974, ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em 1977. Iniciou suas atividades profissionais na Embrapa, na cidade de Petrolina-PE, em 1978.

Realizou o curso de mestrado na ESALQ-USP no Departamento de Ciências Florestais, no período de 1981 a 1983.

No período de junho de 1986 a setembro de 1989, trabalhou na iniciativa privada, exercendo suas funções na Cimetal Siderúrgica S.A. e Mannesmann Siderúrgica S.A., ambas em Minas Gerais.

Em 1989 retornou à Embrapa, e em 1992 iniciou o curso de Doutorado em Ciências Florestais, Área de Concentração Silvicultura, na Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA TABELAS	IX
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 AMOSTRAGEM FOLIAR	5
2.2 AMOSTRAGEM DE CASCA, ALBURNO, CERNE E RAMOS	8
2.3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA	12
2.4 ACÚMULO DE NUTRIENTES	14
2.4.1 Estimativa dos conteúdos de nutrientes nos diferentes compartimentos da árvore	14
2.5 FUNÇÕES DOS NUTRIENTES	18
2.6 RELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	24
3.2 SELEÇÃO E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES	26
3.2.1 Folhas	27
3.2.2 Tronco	28
3.2.3 Ramos	32
3.3 ANÁLISES QUÍMICAS	33
3.4 DETERMINAÇÃO DOS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES	33
3.5 ANÁLISE DE REGRESSÃO E DEFINIÇÃO DOS MODELOS	34
3.6 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS ÁRVORES	36

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	ESTADO NUTRICIONAL DAS ÁRVORES	37
4.2	ESTIMATIVA DA BIOMASSA DA PARTE AÉREA E DO VOLUME DO TRONCO	40
4.3	CONTEÚDO DE NUTRIENTES E BIOMASSA DO TRONCO	45
4.4	BIOMASSA DA CASCA	49
4.5	ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA CASCA	50
4.6	CONTEÚDO DE NUTRIENTES E BIOMASSA NA CASCA	53
4.7	BIOMASSA NO ALBURNO	57
4.8	ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NO ALBURNO	58
4.9	CONTEÚDO DE NUTRIENTES E BIOMASSA NO ALBURNO	62
4.10	BIOMASSA DO CERNE	66
4.11	ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NO CERNE	67
4.12	CONTEÚDO DE NUTRIENTES E BIOMASSA NO CERNE	69
4.13	BIOMASSA NA COPA	73
4.13.1	Biomassa de galhos	77
4.13.2	Estimativa do conteúdo de nutrientes nos galhos	78
4.13.3	Acúmulo de nutrientes nos galhos	81
4.13.4	Biomassa nas folhas	83
4.13.5	Estimativa do conteúdo de nutrientes nas folhas	84
4.13.6	Acúmulo de nutrientes nas folhas	86
4.14	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS	88
5	CONCLUSÕES	91
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização do município de Itatinga - SP.....	25
Figura 2.	Esquema de amostragem dos discos na árvore de <i>E. grandis</i>	29
Figura 3.	Acúmulo de biomassa no tronco de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	46
Figura 4.	Acúmulo total de nutrientes no tronco de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	48
Figura 5.	Acúmulo de biomassa na casca de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	49
Figura 6.	Acúmulo total de nutrientes na casca de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	56
Figura 7.	Acúmulo de biomassa no alburno e no tronco de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	58
Figura 8.	Acúmulo de nutrientes no alburno de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	63
Figura 9.	Acúmulo de biomassa no cerne e no alburno de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	66
Figura 10.	Acúmulo de nutrientes no cerne de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	71
Figura 11.	Biomassa na copa e no tronco de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	74
Figura 12.	Peso da copa e de galhos de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	
Figura 13.	Acúmulo de nutrientes nos galhos de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	82
Figura 14.	Peso da copa e folhas de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	84
Figura 15.	Acúmulo de nutrientes nas folhas de <i>E. grandis</i> aos 3, 5 e 7 anos de idade.....	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Características químicas e físicas do solo da área em estudo..	26
TABELA 2.	Concentrações de nutrientes nas folhas maduras de <i>E. grandis</i> , plantado sobre Areia Quartzosa, aos três anos de idade.....	37
TABELA 3.	Equações para estimativa do peso (g) biomassa e do volume (m ³) de madeira de <i>E. grandis</i> , nos diferentes compartimentos da árvore, aos três anos de idade.....	41
TABELA 4.	Equações para a estimativa da biomassa e do volume de madeira de <i>E. grandis</i> , nos diferentes compartimentos da árvore, aos cinco anos de idade.....	42
TABELA 5.	Equações para a estimativa da biomassa e do volume de madeira de <i>E. grandis</i> , nos diferentes compartimentos da árvore, aos sete anos de idade.....	43
TABELA 6.	Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, no tronco (casca, alburno e cerne), nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	46
TABELA 7.	Equações para determinação indireta dos nutrientes (g), acumulados na casca das árvores de <i>E. grandis</i> , aos três, cinco e sete anos de idade e respectivos coeficientes de determinação (R ²), erro padrão da estimativa (Sxy%) e valores do teste de F da Análise de Regressão.....	50
TABELA 8.	Segmentos da casca utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg na casca, nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	53
TABELA 9.	Acúmulo de nutrientes e peso (g) da biomassa por árvore, na casca, nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	54
TABELA 10.	Equações para determinação indireta dos nutrientes (g) acumulados no alburno das árvores de <i>E. grandis</i> , aos três, cinco e sete anos de idade e respectivos coeficientes de determinação (R ²), erro padrão da estimativa (Sxy%) e valores do teste F da análise de Regressão.....	60

TABELA 11.	Segmentos do alburno utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no alburno, nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	61
TABELA 12.	Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, no alburno, nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	62
TABELA 13.	Equações para determinação indireta dos nutrientes acumulados no cerne das árvores de <i>E. grandis</i> , aos três anos de idade, e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{xy} %) e valores de F da análise de regressão.....	67
TABELA 14.	Segmentos do cerne utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no cerne nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	68
TABELA 15.	Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, no cerne, nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	69
TABELA 16.	Equações para estimativas dos nutrientes acumulados nos galhos das árvores de <i>E. grandis</i> , aos três, cinco e sete anos de idade, e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{xy} %) e valores do teste de F da análise de regressão.....	79
TABELA 17.	Segmentos da casca, aos 3 e 5 anos e do alburno aos 7 anos utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos galhos.....	80
TABELA 18.	Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, nos galhos, nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	81
TABELA 19.	Equações para determinação indireta dos nutrientes acumulados nas folhas das árvores de <i>E. grandis</i> , aos três, cinco e sete anos de idade, e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{xy} %) e valores do teste de F da análise de regressão.....	85
TABELA 20.	Segmentos da casca, aos 3, 5 e 7 anos, utilizados para as estimativas dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas.....	86
TABELA 21.	Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, nas folhas de <i>E. grandis</i> , nas idades de 3, 5 e 7 anos.....	87

RESUMO

O acúmulo e a ciclagem de nutrientes em florestas plantadas é fundamental para o estabelecimento de práticas de manejo que favoreçam a manutenção da produtividade do sítio florestal. O recrutamento, acúmulo e a liberação de nutrientes depende da idade e do estágio de desenvolvimento das árvores. Conhecer a quantidade de nutrientes e as formas como estes nutrientes cicalm nas árvores e ou solo, possibilita a médio e longo prazo, a previsão de situações críticas no estado nutricional das árvores, estimativas da exportação e reposição de nutrientes ao sítio florestal, permitindo ações que visem correções dos desequilíbrios nutricionais oriundos do manejo inadequado do ecossistema florestal. Atualmente, este monitoramento utiliza a análise foliar, juntamente com a análise de solo em suas diagnoses, no entanto, há uma carência de padrões metodológicos, tanto nas coletas como nas análises das amostras. O sistema empregado é inevitavelmente destrutivo nas árvores de grande porte, inviabilizando o estabelecimento de parcelas permanentes de monitoramento nutricional. Este trabalho teve como objetivo selecionar modelos que permitam a estimativa da biomassa (volume e peso) e conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores de *Eucalyptus grandis*, com redução dos custos de amostragem e análises. Para atingir estes objetivos, escolheram 45 árvores representantes das classes dominantes (15), codominantes (15) e dominadas(15), em talhões comerciais de *E. grandis*, aos três, cinco e sete anos, localizados no município de Itatinga, SP. As amostras foram coletadas considerando-se a casca, o alburno, o cerne, as folhas e os galhos e através de análises de regressão, definiu-se modelos significativos a $p < 0,01$, que estimam os volumes e os pesos dos diferentes compartimentos das árvores, a partir do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). Definiu-se também, modelos que estimam os conteúdos dos nutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nas folhas, galhos, casca, alburno e cerne, a partir do conteúdo de nutrientes de um segmento do tronco, possibilitando a recomendação de amostragem não destrutiva. Calculou-se também a exportação desses nutrientes, considerando a árvore individualmente.

ABSTRACT

The accumulation and cycling of nutrients in planted forest is essential to the establishment of management practices that can lead to the sustainable production of the forest site. The uptake, accumulation and release of nutrients depend on tree age and stage of development. The knowledge of accumulation and cycling of nutrients allow us to predict critical situations on the nutritional status of trees and to estimate the output and replacement of nutrients to the forest site. That makes possible to correct nutritional disorders caused by the use of inadequate management techniques. Currently this monitoring uses foliar and soil analysis for nutritional diagnosis; however there is a lack of methodological standards on sampling and analysis. The usual method is always destructive making it impossible to establish permanent plots for nutritional monitoring. This study aimed at selecting models to estimate the biomass (volume and weight) and the nutrient contents in different parts of *Eucalyptus grandis* trees, associated with reduction of sampling and analysis. Forty five trees were chosen representing the dominant class (15), co-dominant (15) and suppressed (15) in commercial plantations of *E.grandis* at ages of three, five and seven years in the municipality of Itatinga, SP, Brazil. Samples were taken considering bark, sapwood, heartwood, leaves and twigs. Models to estimate volume and weight in the different compartments of the tree were made from the diameter at breast height (DBH) using regression analysis at $p < 0,001$. Models to estimate contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the leaves, twigs, bark, sapwood and heartwood from the nutrient contents in a section of the trunk were also defined, thus allowing the recommendation of non-destructive sampling. Nutrients export considering individuals trees, was also quantified.

1 INTRODUÇÃO

As possibilidades de exaurimento dos nutrientes do solo, resultante das explorações intensivas das florestas, surgiram a partir do século XIX, quando pesquisadores alemães já demonstravam preocupações com as concentrações dos nutrientes das árvores (Ebermaier, citado por MILLER, 1981). Nesta época já discutiam sistemas de exploração baseados na extração dos troncos, e recomendavam a manutenção dos resíduos dos galhos e folhas, de modo a minimizar a exportação dos nutrientes do sítio, principalmente em solos de baixa fertilidade.

A partir da década de 60, a pesquisa das relações nutricionais em ecossistemas florestais desenvolveu-se com maior intensidade. Também nesta época, já haviam preocupações consequentes da adoção de rotações curtas e sucessivas, além de possíveis distúrbios dos sítios submetidos às explorações constantes e alterações que comprometessem a manutenção da produtividade, principalmente nas áreas marginais que concentram a maioria dos solos de baixa fertilidade.

Em solos pobres submetidos a exploração florestal constante, o ciclo de nutrientes na floresta é vital para o suprimento de nutrientes, e para a manutenção de uma produção contínua. O seu conhecimento, possibilita, a médio e longo

prazos, a previsão de situações críticas do estado nutricional de uma população, propiciando também o desenvolvimento de ações que visem as correções de desequilíbrios nutricionais, principalmente aqueles oriundos do manejo inadequado do ecossistema florestal.

Além das análises químicas do solo e do crescimento das árvores, o teor de nutrientes nas folhas têm sido utilizado para monitorar o estado nutricional das árvores e o potencial produtivo do sítio. No entanto, são instrumentos de difícil interpretação, quando observados de forma isolada, principalmente no que se refere às concentrações de nutrientes observadas nas folhas, que variam em função do padrão metodológico utilizado nas coletas, e nas interpretações dos resultados.

Outro problema a ser considerado é que o sistema de monitoramento hoje empregado é inevitavelmente destrutivo, pois, a medida que as árvores crescem, a coleta de folhas torna-se mais difícil e a amostragem menos representativa, além de não permitir o estabelecimento de parcelas de observação permanente, onde o monitoramento é feito sempre no mesmo indivíduo.

A definição do material a ser amostrado e as suas relações com o conteúdo de nutrientes de cada compartimento assume importância fundamental, pois a exatidão das diagnoses efetuadas depende da precisão da amostragem.

Neste sentido, os objetivos deste trabalho foram:

a) Desenvolver uma metodologia que proporcione a melhoria da precisão de amostragem para a quantificação de nutrientes, nos diferentes compartimentos das árvores de *Eucalyptus grandis*; e

b) Selecionar modelos matemáticos que permitam a estimativa indireta do acúmulo e exportação da biomassa (volume e peso) e nutrientes em diferentes estágios do ciclo de corte.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A utilização da análise de solo é ineficaz no monitoramento do estado nutricional das plantas, pois a existência do nutriente mineral no solo, em quantidades consideradas suficientes para a manutenção do crescimento, não significa que a planta está sendo suprida, pois a disponibilidade dos nutrientes às plantas está ligada a critérios adequados de interpretação das análises do solo, da quantidade de água no sistema, da aeração, temperatura e microorganismos do solo e eficácia do sistema radicular (RAIJ, 1981).

Neste aspecto, o uso de amostras vegetais para avaliar a concentração e o conteúdo de nutrientes aparece como forma valiosa para o estudo das relações entre o crescimento e o nível nutricional das plantas. No entanto, diversos fatores podem interferir nos teores de nutrientes do tecido vegetal e, conseqüentemente, nos resultados das análises. Dentre eles, podem ser citados os procedimentos: de amostragem (LAVENDER & CARMICHAEL, 1966 e BOWERSOX & MADER, 1964); a posição do material vegetal nos compartimentos das árvores, a época de coleta e idade do material amostrado (WRITE, 1954; BOWERSOX & MADER, 1964; LAVENDER & CARMICHAEL, 1966; REISSMANN, 1976; BOWERSOX & WARD, 1977a, BOWERSOX & WARD, 1977b, ISIK, 1978; BELLOTE, 1979; EVANS, 1979; SILVA, 1983; BATAGLIA & DECHEN, 1986 e BELLOTE, 1990).

As estimativas da quantidade de nutrientes que saem do ecossistema florestal via exportação de biomassa ou em função das perdas inerentes ao próprio sistema, como: lixiviação, volatilização, ou mesmo, escoamento superficial junto com a água da chuva são importantes para a manutenção da produtividade e requerem conhecimentos que permitam a compreensão da dinâmica dos nutrientes no solo e a influência que cada compartimento arbóreo exerce na imobilização e ciclagem dos nutrientes, e conseqüentemente na exportação dos nutrientes.

O processo de ciclagem regular de nutrientes é fundamental para a manutenção da produtividade florestal. Segundo BARROS et al. 1990, a ciclagem de nutrientes é um processo, que apresenta variações em função da intensidade de manejo do solo e as técnicas silviculturais empregadas.

2.1 Amostragem foliar

Os teores de nutrientes determinados nos diferentes compartimentos e principalmente nas folhas refletem o estado nutricional das plantas (MEAD, 1984). A análise foliar tem sido utilizada como critério de diagnose nutricional, baseando-se na premissa de existir uma relação significativa entre a disponibilidade de nutrientes no solo e os teores de nutrientes nas folhas e que esta relação afeta os aumentos ou decréscimos de produtividade (EVENHUIS & WAARD, 1980). Além disso na folha, que é o principal sítio de metabolismo das plantas, a quantidade de nutrientes pode refletir a disponibilidade dos nutrientes do solo e a capacidade da

árvore em absorvê-los. Mudanças no suprimento de nutrientes implicarão em reflexos no conteúdo dos nutrientes nas folhas e, conseqüentemente, na produção de assimilados, e na produção de biomassa.

Dentre os fatores que podem influenciar os resultados das análises foliares, alguns podem ser facilmente identificados, como por exemplo, a época de amostragem, (BELLOTE, 1990), a idade do material amostrado (BELLOTE, 1979) e a posição das folhas na copa das árvores (SILVA, 1983).

As variações sazonais também devem ser consideradas nos procedimentos de amostragem de tecidos vegetais. As variações nos teores de nutrientes nas plantas podem ocorrer em função das diferentes estações do ano e, principalmente, em função da oferta de nutrientes no solo, cujas flutuações são influenciadas pelo estado de umidade do solo e pelo regime pluviométrico local (NOVAES et al, 1990). Desta forma, o conhecimento da mobilidade dos nutrientes e dos fatores que a afetam é de importância fundamental na definição do período de amostragem.

Segundo MADGWICK (1963), a amostragem das folhas deve ser realizada no final da estação de crescimento das árvores. Para *P. taeda*, MILLER (1981) não encontrou diferenças significativas nas concentrações de nutrientes de amostras coletadas nas 4 estações do ano. A amostragem foliar no período de maior crescimento das árvores ou após a estação de crescimento foram sugeridas por

LEAF (1973) e DRIESSCHE (1974), SCHONAU & HERBERT (1982) e BELLOTE (1990)

BELLOTE (1990) observou que, em função da época em que são amostradas, as folhas apresentam teores de nutrientes diferentes, principalmente o fósforo, evidenciando uma variação estacional.

A idade fisiológica do tecido é um fator que afeta o nível nutricional das plantas. Os tecidos mais jovens normalmente acumulam os nutrientes de maior mobilidade em maiores quantidades por unidade de peso (EVANS, 1979 e PEREIRA et al. 1984). Este fato foi detectado por BELLOTE (1979) que observou concentrações mais altas de nitrogênio e potássio, nas árvores mais jovens.

As concentrações de nutrientes nas árvores, também variam em função da espécie, tipo de solo, e principalmente do compartimento da árvore onde foi coletada a amostra. O tipo de folha e a sua posição na copa da árvore também influi na concentração dos nutrientes, sendo que segundo SILVA (1983), as folhas do ápice das copas apresentam as maiores concentrações de nutrientes, exceto para o cálcio, este fato também foi observado por PRITCHETT (1979) e POGGIANI et al. (1983).

Outro fator que influencia o teor de nutrientes nas folhas é o tipo e a posição da árvore no dossel, sendo um dos principais problemas para a avaliação nutricional de povoamentos florestais, pois árvores adultas, em função da sua altura dificultam a coleta de amostras. Grande número de trabalhos selecionam árvores dominantes e codominantes (MEAD & PRITCHETT, 1984; VALERI, 1988; BELLOTE, 1990, FERREIRA, 1990 e MORAES et al. 1990). A escolha das árvores dominantes e/ou codominantes se deve ao fato de serem geneticamente superiores e expressarem melhor o potencial produtivo do sítio (MEAD, 1984).

Assim, é recomendado que a amostragem foliar se restrinja às folhas maduras, por serem estáveis e refletirem as variações existente na composição mineral do tecido foliar. Considerando estes aspectos, BELLOTE (1990), sugere que a amostragem foliar concentre-se em árvores dominantes, nas folhas maduras da parte intermediária da copa e na estação de transição verão/outono.

2.2 Amostragem de casca, alburno, cerne e ramos

Segundo SMITH (1962), as folhas não são as únicas partes da planta capazes de representarem o estado nutricional das árvores, mas elas têm sido recomendadas e utilizadas no monitoramento nutricional para a maioria dos elementos nutrientes, principalmente aqueles que afetam diretamente a fotossíntese. As concentrações de nutrientes de outras partes da árvore, tais como

o tronco, a casca e os galhos, têm sido utilizadas para os cálculos de exportações e estudos de eficiência de utilização dos nutrientes, nas espécies florestais. Alguns destes estudos consideram as diferenciações do tronco e apresentam as diferenças nas concentrações de nutrientes entre o cerne e o alburno (FERREIRA & BELLOTE, 1983) e, entre a casca e alburno (SILVA et al. 1983). No entanto, são poucas as relações estabelecidas entre o conteúdo de nutrientes do tronco com o conteúdo das folhas e dos galhos.

As considerações feitas para as folhas, em relação às variações nos teores de nutrientes minerais, são válidas também para o lenho, ramos e casca. Devemos considerar, também, as variações inerentes ao estágio de desenvolvimento do compartimento considerado, (jovem, maduro ou senescente), que afetam sensivelmente as concentrações de nutrientes.

A distribuição dos nutrientes nos vários componentes das árvores têm grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das florestas plantadas pode aumentar significativamente a produção de biomassa, aumentando também a remoção de nutrientes do sítio.

Os nutrientes apresentam altas concentrações nos tecidos da copa (folhas e galhos), no entanto para a maioria dos nutrientes o maior acúmulo ocorre no fuste. O tronco, em função das diferenciações de tecidos, dividem-se em casca, alburno

e cerne, sendo que este último possui um processo de formação muito discutido. Alguns pesquisadores sugerem que as substâncias de reserva como o amido e os açúcares, durante a formação do cerne, são transferidas e convertidas em substâncias do cerne. O alburno, que é a camada mais externa do lenho, é formado por elementos vivos e fisiologicamente ativos, e apresenta tecidos especializados no armazenamento de reserva como de água, nutrientes, e sais minerais (BURGER & RICHTER, 1991).

Para *Eucalyptus saligna*, os teores de nutrientes minerais encontrados no cerne e no alburno chegam a apresentar diferenças de 0.025 a 0.036 % para fósforo, 0.037 a 0.076 % para potássio, 0.036 a 0.057 % para cálcio e 0.006 a 0.011% para magnésio, respectivamente no cerne e no alburno (FERREIRA et al 1993). No alburno, as concentrações de todos os nutrientes minerais, são mais elevadas do que no cerne (ATTIWILL, 1979; WISE & PITMAN, 1981; TURNER & LAMBERT, 1983 e FERREIRA et al, 1993).

Além dessas, outras variações nas concentrações de nutrientes dentro de um mesmo compartimento vem sendo detectadas, por exemplo no sentido base - topo das árvores (ATTIWILL, 1979) e no sentido radial (LEMOINE et al. 1990 e FERREIRA et al. 1993). Estas variações também foram observadas por WISE & PITMAN, (1981) e por TURNER & LAMBERT (1983), em *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente, e evidenciam a necessidade da quantificação na proporção

cerne:alburno, para que as inferências sobre imobilizações e translocações de nutrientes no lenho considerem a representatividade de cada componente.

Na casca, pode-se distinguir basicamente dois tipos de tecido: a casca externa (morta) e a casca interna (viva), na qual está incluído o floema funcional. O floema é ativo na translocação de solutos orgânicos, dos pontos de produção para os de consumo.

A exemplo do que acontece no caule, os teores de nutrientes na casca variam com a posição que esta ocupa no fuste, sendo crescente no sentido base - ápice (ATTIWILL, 1979; ZEN et al. 1981; LEMOINE et al. 1988 e LEMOINE, 1990).

Para os ramos, embora existam referências sobre o acúmulo de nutrientes minerais, muito pouco se conhece a respeito da variação dos teores de nutrientes ao longo do seu comprimento e diâmetro. ATTIWILL (1979) comparou resultados de amostras de ramos ativo com diâmetros superiores e inferiores a 2,5 cm, em *E. obliqua*, e observou que os ramos de menor diâmetro continham 65 % mais fósforo, potássio, cálcio e magnésio do que os de maior diâmetro, estas diferenças também foram observadas por DRIESSCHE (1974).

Isto evidencia que as amostragens da casca, alburno, cerne e ramos para fins de avaliação de ciclagem, diagnoses nutricionais, quantificação da exportação e do balanço de nutrientes em ecossistemas florestais, devem ser conduzida de forma a considerar todas as diferenciações entre os tecidos vegetais.

2.3 Estimativa da biomassa

É comum o uso de modelos matemáticos para estimar o volume individual do tronco, principalmente em florestas homogêneas plantadas. Os modelos também têm sido desenvolvidos para a estimativa dos pesos do tronco com e sem casca, da casca, galhos e folhas (REIS, 1984).

É importante salientar que as estimativas de volume, utilizando o diâmetro à altura do peito (DAP), sem considerar a forma da árvore, poderão expressar o volume médio das árvores, e uma maior ou menor dispersão dos resíduos em torno da linha de regressão (GUIMARÃES, 1985). Neste sentido, PAULA NETO (1985) e AHRENS (1980) recomendam o teste de aplicabilidade dos modelos, para minimizar os efeitos da dispersão dos resíduos e viabilizar o uso desses modelos em locais diferentes daqueles onde os dados foram gerados.

A utilização do DAP como variável independente nos modelos, também tem sido empregado nas estimativas dos pesos dos diferentes compartimentos de diferentes espécies de árvores, conforme proposta de SOARES & HOSOKAWA (1984); BRITO et al. (1984) e CUNIA (1980) citados por CUNIA (1981).

O diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (HT), são altamente correlacionados, o que possibilita a obtenção de modelos significativos, utilizando-se apenas o DAP como variável independente nas estimativas de volume, peso do tronco, peso da copa e seus respectivos componentes (SOARES & HOSOKAWA, 1984; BRITO et al., 1984 e PINHEIRO 1980).

A biomassa de folhas e galhos, expressa em peso, pode ser determinada diretamente, através da determinação do peso verde de cada componente, e através de uma amostra representativa dos componentes da copa, estimar o teor de umidade e calcular o peso seco de cada compartimento. Este procedimento foi aplicado por POGGIANI et al. (1983); LEAL et al. (1988) e TEIXEIRA (1989).

A avaliação indireta da biomassa procura correlacionar o peso dos galhos e folhas com variáveis de fácil obtenção, como o DAP (SOARES & HOSOKAWA, 1984 e FERREIRA, 1984), apesar de outras variáveis como a altura, comprimento de copa e área basal também serem utilizadas com frequência .

2.4 Acúmulo de nutrientes

2.4.1 Estimativa dos conteúdos de nutrientes nos diferentes compartimentos da árvore

A distribuição e acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores de *Eucalyptus*, em plantios puros, vêm sendo estudados com maior grau de interesse no Brasil, à partir da década de 80. Estes estudos têm sido úteis aos cálculos de exportação de nutrientes do sítio (BELLOTE, 1980 e REIS, et al. 1984); na identificação de espécies mais eficientes na utilização de nutrientes (SILVA et al. 1983) e na avaliação do uso intensivo de galhos e casca como combustível, e sua influência no balanço nutricional do ecossistema florestal (PEREIRA et al. 1984).

Além disso, o conhecimento da quantidade de nutrientes imobilizados nos diferentes compartimentos das árvores de *Eucalyptus* torna-se útil na determinação da rotação, no balanço nutricional do sistema e nas determinações das quantidades mínimas a serem repostas ao solo, no sentido de manter a produtividade do sítio, REIS et al., (1987).

As estimativas dos pesos dos diferentes compartimentos são importantes, principalmente para a determinação do conteúdo de nutrientes no tronco, segmento que afeta diretamente a exportação dos nutrientes e a qualidade do sítio florestal, principalmente aqueles submetidos à explorações constantes em ciclos curtos. As folhas e os galhos, apesar de apresentarem concentrações de nutrientes maiores e conterem uma parcela significativa dos nutrientes acumulados nas árvores, normalmente permanecem no campo após a exploração, fato que minimiza a quantidade de nutrientes explorados do sítio.

O acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores é função do próprio nutriente, da biomassa arbórea, da idade, da função fisiológica do nutriente e do estágio fisiológico do tecido vegetal.

O tronco das árvores é um importante compartimento de armazenamento de nutrientes, e apresenta três divisões com características bastante diferentes entre si. No caso de *E. grandis* essas divisões são facilmente distinguíveis. Segundo BURGER & RICHTER (1991), a parte interna do tronco (cerne) se destaca por uma cor mais escura, devido ao fato que as partes internas, à medida que se distanciam do câmbio, perdem a atividade vital e adquirem coloração mais escura em decorrência da adição de tanino, resina, gorduras e carboidratos, resultantes da transformação das substâncias de reservas contidas nas células parenquimáticas do alburno interno.

O cessar das atividades fisiológicas de condução e armazenamento, fenômeno que caracteriza a formação do cerne acarreta o fechamento dos canais de condução, o que torna o tecido mais ou menos inativo.

O cerne diferencia-se do alburno, principalmente por apresentar cor mais escura, menos teor de umidade, maior resistência ao ataque de xilófagos e degradadores e menor permeabilidade.

O alburno, parte mais externa do lenho, apresenta células fisiologicamente ativas, é no alburno (xilema) que ocorre o fluxo ascendente dos líquidos retirados do solo, e a formação de novas células.

A proporção cerne:alburno varia dentro da própria árvore e depende da espécie, idade, sítio, solo e clima.

Da mesma forma que a madeira, a casca também é originada no câmbio. Ele forma células de madeira na região próxima ao lenho e células de casca para o lado externo. A casca nunca é tão espessa como a madeira, uma vez que ao longo de um período de crescimento, o câmbio forma aproximadamente 8 vezes mais madeira que casca. Além disto, a árvore ao crescer, faz com que as camadas mais externas da casca se desprendem, empurradas pela formação de novas células.

Caracteristicamente, a casca possui uma região mais externa, a casca morta, formada por ilhas de tecido floenquimático morto, limitado por zonas mais escuras de periderme e uma região onde há atividade fisiológica, a casca viva.

Anatomicamente, a casca se difere da madeira pelas células que a compõe. Enquanto o câmbio, internamente, para o lado da madeira, forma fibras, fibrotraçoídes, células parenquimáticas radiais e longitudinais e elementos de vasos, para o lado da casca forma floema com tubos crivosos, células acompanhantes, parênquima e fibras liberianas. As fibras liberianas possuem paredes lignificadas e não colapsam facilmente, e as células de parênquima podem eventualmente se lignificarem. Entretanto, as paredes dos tubos crivosos e de células acompanhantes não se lignificam e geralmente perdem a funcionalidade após um ano de sua formação.

O alburno e o cerne diferenciam-se da casca não apenas em suas características anatômicas, de densidade e de coloração, pois, segundo BOWEN (1980) e BELLOTE & FERREIRA (1993), estas diferenças ocorrem também nas concentrações de nutrientes, onde o alburno destaca-se por possuir concentrações mais altas de nitrogênio, fósforo e potássio, a casca por possuir altas concentrações de cálcio e magnésio e o cerne por apresentar, de um modo geral, as menores concentrações de nutrientes.

2.5 Funções dos Nutrientes

O nitrogênio tem papel essencial como constituinte de aminoácidos e proteínas, ocorrendo também em outros componentes como os alcalóides, enzimas, reguladores de crescimento, clorofila e membrana celular. A deficiência de nitrogênio induz à síntese anormal da clorofila, resultando em uma clorose das folhas velhas, podendo atingir as folhas novas em casos de extrema deficiência (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979).

O fósforo é um elemento constituinte das proteínas, fosfolipídeos e ácidos nucleicos, estando vinculado ao fornecimento de energia. Aparentemente, é o agente de veículo para transferência de energia às plantas. Ocorre nas formas orgânica e inorgânica, sendo facilmente translocado entre os diferentes tecidos vegetais, (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979 e BOWEN & NAMBIAR, 1984).

A absorção de potássio pelas plantas ocorre preferencialmente por difusão (77,8%), fluxo de massa (20,1%) e por interceptação radicular (2,1%), por isto, a sua disponibilidade às plantas também depende do regime pluviométrico, principalmente em solos arenosos que favorecem a sua lixiviação, em condições de umidade alta (BARBER & OLSON, 1968).

O potássio é um elemento considerado essencial para a produtividade dos plantios de *Eucalyptus*, segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1979), é requerido

pelas plantas em grande quantidades, e está envolvido nas atividades enzimáticas. Ao potássio é creditado o papel de agente osmótico, controlando a abertura e fechamento dos estomas, sendo um elemento de grande mobilidade nas plantas. A sua deficiência está ligada a um impedimento da translocação de carboidratos e ao metabolismo do nitrogênio.

Para o transporte de potássio entre os diferentes compartimentos das células e entre tecidos, há necessidade da sua presença nas membranas dos canais condutores (MARSCHNER, 1995).

O cálcio acumula-se na parede celular como péctato de cálcio e têm influência na elasticidade da parede celular. Fisiologicamente, é envolvido no metabolismo do nitrogênio, sendo ativador de várias enzimas, incluindo-se amilase. É um nutriente relativamente imóvel e a sua deficiência provoca sérias injúrias na região meristemática.

Segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1979), o magnésio é um elemento constituinte da molécula de clorofila, estando envolvido na ação de várias enzimas e na manutenção da integridade dos cromossomos. A sua deficiência produz clorose e desintegração dos cromossomos. É um nutriente que se transloca facilmente nas plantas.

Os elementos minerais acumulados nos diferentes compartimentos estão envolvidos na fotossíntese, na divisão celular e na diferenciação dos tecidos. A formação dos tecidos depende direta ou indiretamente do suprimento de nutrientes. A quantidade de nutrientes em cada compartimento da planta depende de processos específicos que ocorrem nos diferentes tecidos vegetais e são afetados pela translocação interna, função fisiológica, ritmo de crescimento e idade do tecido. A distribuição e acúmulo dos nutrientes na árvore dependem da concentração e da função de cada nutriente nos vários tecidos e órgãos e principalmente da biomassa do compartimento (MARSCHNER, 1995).

2.6 Relações entre os nutrientes

As relações entre as concentrações de nutrientes nas folhas e o crescimento das árvores são consideradas relevantes nas interpretações das diagnoses nutricionais (SCHONAU & HERBERT, 1981). Dentre as relações existentes, observa-se as interações que podem ocorrer entre os elementos, em função do crescimento das plantas.

Estas relações aparecem como uma forma de interpretação das diagnoses nutricionais, desde que o conhecimento das interações e leis que regem a atuação dos nutrientes nas diferentes fases do metabolismo, bem como as formas de interpretação dos resultados, sejam considerados. Assim, a lei do mínimo destaca

que o máximo efeito de um nutriente no crescimento das árvores só é alcançado se o suprimento dos outros nutrientes estiver adequado (Mengel & Kirkby, 1987).

Considera-se também o antagonismo e o sinergismo entre os nutrientes, que influenciam as relações nutricionais em função da sua maior ou menor disponibilidade às plantas.

Observa-se que existem relações entre as concentrações foliares de nitrogênio, fósforo e potássio e o crescimento em altura das árvores, que podem ser afetados pelos níveis nutricionais das folhas. Segundo SCHONAU & HERBERT (1981) e BALVINDER (1986), as relações nas folhas, afetam o crescimento em altura das árvores. Assim, se a relação N/P é alta, o crescimento é afetado positivamente. Quando esta relação é baixa, o crescimento é afetado negativamente. Para *E. grandis*, estes mesmos autores observaram um crescimento satisfatório quando a relação N/P estava entre 10 e 16. ROSSEAU (1986) encontrou que o máximo crescimento de *P. contorta* ocorreu quando relação N/P nas folhas estava na proporção 10:1.

O efeito do balanceamento adequado das quantidades de nitrogênio e fósforo no crescimento de *E. grandis* também mencionado por SCHONAU (1982), destaca a importância da relação P/K afetando positivamente o crescimento em valores mais baixos e negativamente quando os valores são mais altos. Este autor

definiu que para o crescimento satisfatório de *E.grandis*, a relação P/K deve situar-se entre 0,21 e 0,26.

Estas relações devem ser consideradas individualmente para espécie, pois, segundo THOMAS (1979), *Grevilea robusta* tolera altos níveis de fósforo e altos níveis de nitrogênio, *Protea ripens* não tolera alto níveis de nitrogênio e fósforo e *Camelia japonica* em sua fase inicial de crescimento, é intolerante a altos níveis de nitrogênio. Estes fatos alertam para os cuidados que devem ser tomados nas interpretações das relações entre os nutrientes, pois as relações podem ser afetadas quando ambos os nutrientes estão em níveis ótimos, quando ambos estão em excesso e quando ambos estão deficientes (TISDALE et al. 1993).

As relações de proporcionalidade entre os nutrientes na planta existem e devem ser consideradas como uma ferramenta adicional aos estudos e avaliações de diagnoses nutricionais. Apesar de SCHONAU & HERBERT (1981), encontrarem relações não muito claras, como por exemplo a relação N/P, que é considerada boa quando for igual a 3,0, a absorção dos nutrientes de uma fonte externa depende, segundo MARSCHNER (1985), do ritmo de crescimento da planta e da demanda do nutriente para o seu crescimento.

Além das interações entre os macronutrientes, são relatadas também interações entre os micronutrientes e entre os macro e micronutrientes. Assim, observaram-se interações entre P/Zn, N/Zn nos trabalhos de SOLTANPOUR (1969), LINDSAY (1972) e KIRKBY (1987). Outras relações foram observadas por OLSEN (1972) para N/P, por EKBLAD et al. (1995) para N/K. SINGL (1986) comenta as relações Ca/K, Ca/B; P/Mo, N/Zn, Mo/S, Fe/Cu e OLSEN (1972) faz menção a relação P/Cu. Estas relações tornam-se importantes nas estimativas dos conteúdos, pois os modelos podem permitir a estimativa do teor dos nutrientes, baseados no conteúdo de outro, em função da correlação existente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se plantios de *E. grandis* em espaçamento 3x2 m, com 3, 5 e 7 anos de idade, amostrados em uma região representativa do reflorestamento com a espécie no Estado de São Paulo. O material é procedente de uma área de produção de sementes (APS), situada em terras da Companhia Suzano de Papel e Celulose S.A.

3.1 Caracterização da área experimental

A área experimental localiza-se no município de Itatinga, Estado de São Paulo, situada a 23° 17' de latitude Sul e 48° 28' de longitude Oeste (Figura 1), a uma altitude entre 650 e 700 m.

O clima da região, segundo Köppen é do tipo Cfa, mesotérmico úmido, com precipitação pluviométrica média anual entre 1200 - 1300 mm, concentrada no período de outubro a março e sem déficit hídrico. A temperatura média do mês do mais frio é 15,2 °C, a do mês mais quente 21,9 °C, com média anual de 19,0 °C, podendo atingir valores máximos de 38,0 °C em janeiro e valores mínimos de 6,0°C nos meses de julho e agosto. A região está sujeita à geadas esporádicas.



Figura 1. Localização do município de Itatinga - SP.

As características físicas e químicas do local deste estudo (Tabela 1), revelam um solo arenoso, classificado como Areias Quartizosa (AQ). Os solos sob esta denominação compreendem solos minerais muito profundos, com teores de argila muito baixas (inferiores a 15%). São derivados de arenitos, possuem sequência AC, são muito porosos, soltos e excessivamente drenados. A espessura do horizonte A é variável, no entanto, são comuns espessuras em torno de 30 cm. A principal diferenciação entre os horizontes A e C é a presença de matéria orgânica no horizonte superficial. Apresentam, em função do acúmulo de matéria orgânica, horizonte A classificados em fracos, moderados e proenimentes. As A.Q. variam de distróficas até eutrópicas, embora com predominância das alicas e distróficas (EMBRAPA, 1984).

Tabela 1. Características químicas e física do solo da área em estudo.

Características químicas									
M.O	pH	P	H ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	CTC	S	V
%	CaCl ₂	mg/dm ³					cmol _c /dm ³		%
1,8	3,8	1	4,4	0,5	0,25	0,02	5,3	0,8	63
Características físicas									
areia (%)			silte		argila		classe de		
grossa	fina	total	(%)		(%)		textura		
32	51	83	4		13		arenosa		

S = soma de bases; V = saturação de bases.

3.2 Seleção e amostragem das árvores

Foram selecionadas 45 árvores em talhões de *E. grandis*, nas idades de 3, 5 e 7 anos. Com o auxílio de dados de inventário florestal, estabeleceram-se padrões específicos para 3 classes de diâmetro à altura do peito (DAP), que representassem as categorias de árvores dominantes, codominantes e dominadas, conforme proposição de ZOETTL & TSCHINKEL (1971). De cada classe diamétrica, foram selecionadas 15 árvores que ocupassem posição bem definida no dossel, de forma que as árvores pertencessem efetivamente a cada uma daquelas classes pré-estabelecidas.

As amostras do material vegetal para estudo constituíram-se de folhas, ramos e discos do tronco de cada uma das 45 árvores, por talhão e idade selecionados. Para que a concentração de nutrientes nas folhas pudesse representar os teores médios das árvores, a amostragem foi realizada no período

entre o verão e o outono, precisamente no mês de maio, conforme proposição de BELLOTE (1990).

Após a derrubada das árvores, procedeu-se a medição individual do DAP, utilizando-se uma suta, da altura comercial e altura total, medidas com fita métrica. Em seguida, as árvores foram separadas por compartimento, a saber: folhas, galhos, casca e lenho, sendo este diferenciado em alburno e cerne.

3.2.1 Folhas

As folhas foram separadas em novas, maduras e velhas, conforme classificação sugerida por SILVA (1983). As folhas de cada estágio fisiológico foram pesadas e, posteriormente, tomada uma amostra composta por estágio fisiológico (novas, maduras e velhas). Esta amostra de folhas serviu para a determinação do peso seco e do teor de nutrientes minerais e também para qualificar nutricionalmente os talhões. O peso seco total das folhas foi obtido a partir do seu teor de umidade, pela seguinte fórmula (1):

$$(1) \quad \text{PST} = (\text{PVT} \times \text{PSa}) / \text{PVa}$$

onde:

PST = peso seco total (g)

PVT = peso verde total (g)

PSa = peso seco da amostra (g)

PVa = Peso verde da amostra (g)

A partir das concentrações de nutrientes obtidas das análises químicas das amostras e do seu peso seco total determinou-se a quantidade total dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, expressos em gramas, contidos na biomassa foliar.

3.2.2 Tronco

Para a amostragem do tronco, coletaram-se discos a cada um metro, a partir da base, incluindo o diâmetro à altura do peito (DAP), até a altura comercial, onde o diâmetro era de 4 cm (Figura 2). Também foram medidos, com fita métrica, os diâmetros de cada disco, tanto com casca como sem casca. A partir do momento que se visualizou a formação de cerne, mediu-se, com fita métrica, o seu diâmetro. Este procedimento permitiu estimar o volume de cada subcompartimento do tronco, considerando: a casca, o cerne e o alburno.

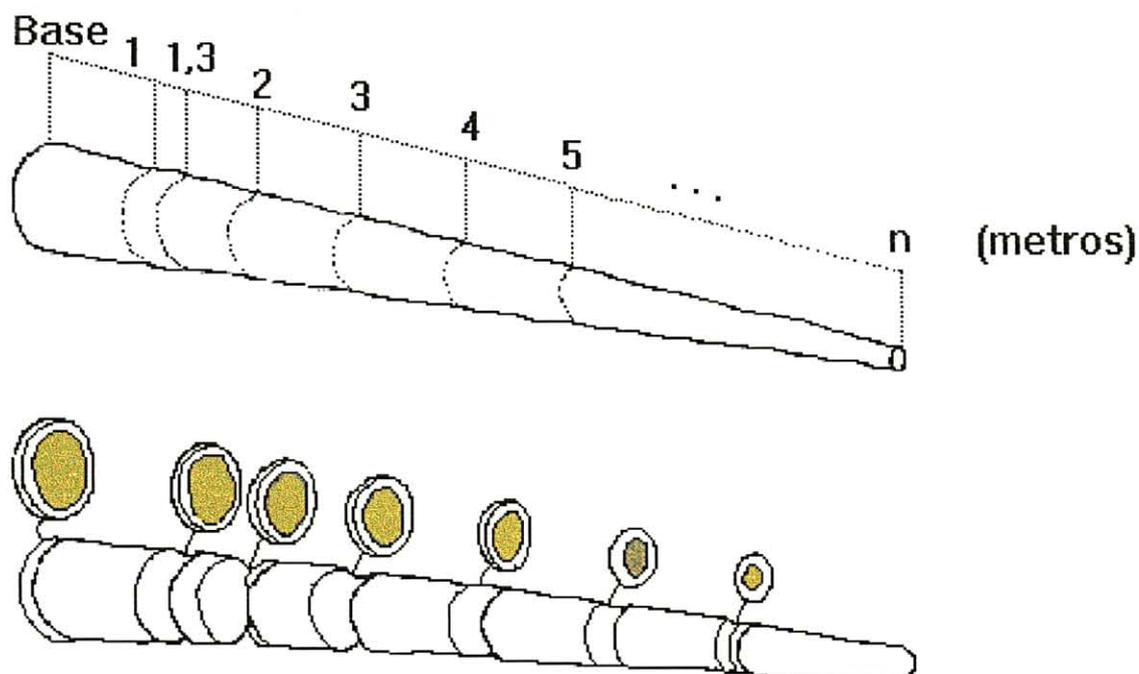


Figura 2. Esquema de amostragem dos discos na árvore de *E. grandis*.

Desses discos, foram determinadas a densidade básica (2) de cada subcompartimento, (cerne, alburno e casca), em cada secção do tronco, pelo método da balança hidrostática, segundo as normas da ABCP M14/70, e tomadas amostras de todas as secções para a determinação dos teores de nutrientes minerais.

O somatório das amostras de folhas, galhos e tronco, proporcionaram aproximadamente 5500 amostras, que resultaram 27500 determinações de teores de nutrientes, 3500 determinações de densidade, além de permitir cálculos de volumes, pesos e conteúdos de nutrientes, por segmento da árvore e por compartimento considerado.

O volume total da árvore (cerne, alburno e casca) foi calculado pela equação de Smallian (3), expresso pelo somatório dos toretes de 1,00 m de comprimento, que compõem o tronco. No caso dos toretes a 1,00 m e 1,30 m de altura, o comprimento foi 0,70 m e 0,30 m, respectivamente. Com base na densidade básica e no volume, determinou-se o peso seco total (4) do alburno, cerne e da casca.

Os conteúdos de nutrientes na casca, alburno e cerne foram determinados, tomando-se como referência o peso do torete e a concentração dos nutrientes nos discos da base de cada torete (Figura 2). Assim, o conteúdo de nutrientes dos discos da base compreendeu os totais de nutrientes da base até 1,00 m de altura, utilizando como média dos teores, as concentrações dos elementos nos discos da base. Este procedimento foi efetuado para os outros segmentos, sendo que o conteúdo de nutrientes de um segmento foi representado pelo disco da base do segmento onde foi amostrado.

Os nutrientes de cada segmento do tronco, envolvendo os três subcompartimentos (casca, alburno e cerne), constituíram-se as variáveis independentes utilizadas para a definição dos modelos que estimaram os totais de nutrientes em cada um dos subcompartimentos. As fórmulas apresentadas, a seguir, representam os modelos básicos utilizados na obtenção da densidade básica da madeira e casca, do volume e do peso dos diferentes subcompartimentos de cada segmento.

$$(2) \quad db = PS/(PU-PI)$$

onde:

db = densidade básica (g/cm³)

PS = peso seco em estufa a 105 ± 3 °C

PU = peso úmido saturado (g)

PI = peso imerso (g)

$$(3) \quad V = \frac{1}{2} \times (\pi D^2 / 4 + \pi d^2 / 4) \times h$$

onde:

V = Volume do segmento (m³)

D = Diâmetro maior do segmento (cm)

d = Diâmetro menor do segmento (cm)

h = Comprimento do segmento (m)

$$(4) \quad P = db \times V$$

onde:

P = peso (g)

db = densidade básica (g/cm³)

V = volume do segmento (m³)

O cerne e o alburno foram distinguidos utilizando-se o método sugerido por KOLLMANN et Côté (1984), que preconiza o contraste de coloração entre o cerne e o alburno.

Foram feitos cortes anatômicos que mostraram a consistência da diferenciação visual da cor da madeira na determinação do cerne. Portanto, pela praticidade de determinação e pela consistência comprovada por anatomia da madeira, a diferença visual de coloração foi usada para determinar limite entre cerne e alburno.

3.2.3 Ramos

Os ramos foram separados de acordo com o perímetro da base do ramo e classificados em: ramos finos (perímetros menores que 3 cm), médios (perímetros de 3 a 8 cm) e grossos (perímetros acima de 8 cm). Em cada uma dessas classes, determinou-se o peso verde total dos ramos, tomando-se uma amostra para a determinação do seu peso seco e da concentração de nutrientes minerais. Nesta amostra, considerou-se a representatividade da base, meio e ponta dos galhos.

Com esses dados, determinou-se a biomassa seca total e o conteúdo de nutrientes, nos ramos para cada uma das classes diâmetricas estudadas, utilizando-se o mesmo procedimento utilizado na determinação da biomassa das folhas.

3.3 Análises químicas

As amostras das folhas, dos galhos, da casca e do lenho (cerne, alburno) foram secas em estufa de ventilação forçada ($t = 62,5 \pm 2,5$ °C), até que não ocorresse mais variação no seu peso. Em seguida, o material foi triturado em moinho tipo Wiley e passado em peneira de malha 20.

Para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica. O P foi determinado pelo método Vanado-molibdato de amônia, o K por fotometria de chama, e Ca e Mg por absorção atômica. Após a digestão sulfúrica, o Nitrogênio (N) foi determinado pelo método Micro Kjeldahl. Estes procedimentos estão de acordo com a metodologia proposta por SARRUGE & HAAG (1974).

3.4 Determinação dos conteúdos de nutrientes

Os conteúdos de nutrientes da casca, alburno e cerne, em cada segmento do tronco foram calculados a partir do peso de cada um desses subcompartimentos e multiplicado pela concentração de nutrientes presentes na amostra do segmento. O conteúdo de nutrientes total da casca, alburno e cerne foi expresso pelo somatório dos conteúdos de nutrientes de cada segmento do tronco.

3.5 Análise de regressão e definição dos modelos

As equações de regressão desenvolvidas neste trabalho levaram em consideração os dados obtidos da amostragem intensa efetuada no tronco, folhas e galhos, das árvores dominantes e codominantes. As árvores dominadas foram suprimidas do processo, por apresentarem conteúdo de nutrientes muito baixos, representando pontos não representativos para os modelos.

Os modelos matemáticos foram obtidos após a definição e escolha das melhores correlações e das análises de regressão, com o objetivo de estimar a biomassa e o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores, aos três, cinco e sete anos de idade, bem como o local na árvore onde a amostragem deve ser efetuada, considerando a possibilidade de uma amostragem não destrutiva e em pontos de fácil acesso nas árvores. Considerou-se para esses casos um erro padrão da estimativa de 20%.

Inicialmente, os modelos foram estabelecidos para determinação do volume e peso do tronco, com e sem casca. Entretanto, para conhecermos o conteúdo de nutrientes das árvores, os modelos escolhidos consideraram as diferenças de concentrações que ocorrem nos compartimento do tronco, ou seja, na casca (BELLOTE, 1979; SILVA, 1983 e PEREIRA, 1984b); no alburno (BELLOTE,1979; SILVA,1983 e FERREIRA et al. 1993); no cerne (FERREIRA et al. 1993) e também nas folhas e galhos.

Na seleção dos modelos para a estimativa dos volumes, pesos e conteúdo de nutrientes dos diferentes compartimentos, adotou-se a seguinte sequência de processos:

- a) Estabelecimento de uma matriz, onde foram determinadas as correlações entre as variáveis participantes do modelo. As variáveis que apresentaram altas correlações foram envolvidas nos procedimentos de escolha, formalizando os modelos mais consistentes e que caracterizaram os objetivos deste estudo;
- b) seleção de modelos com melhores ajustamento dos dados, onde testou-se inicialmente os modelos lineares, seguidos pelos multiplicativos e exponenciais. No caso de regressão múltipla, efetuou-se a análise testando-se variável por variável e a seleção por Stepwise, até a obtenção de um modelo melhor ajustado.

A escolha do melhor modelo foi feita através das comparações dos coeficientes de determinação (R^2), valores de F, erro padrão da estimativa (S_{xy} %), significância dos modelos e da distribuição gráfica dos resíduos (GUIMARÃES, 1985). Nesta seleção, considerou-se também a facilidade de obtenção das amostras.

No processo de seleção dos modelos, realizou-se um total de 1200 análises de regressão, comparações gráficas dos resíduos, erro padrão da estimativa e coeficientes de determinação.

O volume do cerne foi estimado subtraindo-se o volume do alburno do volume sem casca. O volume da casca foi obtido pela diferença entre os volumes com casca e sem casca.

3.6 Avaliação do Estado Nutricional das Árvores

Para avaliar o estado nutricional das árvores no momento da amostragem, escolheu-se a idade de três anos, pois nesta idade, os talhões de *E.grandis* apresentam maior acúmulo de biomassa por unidade de tempo. Esta escolha deve-se à maior capacidade das árvores de três anos na absorção de nutrientes do solo, e segundo BELLOTE (1990), os teores de nutrientes observados nas folhas maduras de *E.grandis*, dos três anos não apresentam diferenças estatísticas entre si, apresentando também os menores valores para o coeficiente de variação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estado nutricional das árvores

Para conhecer o estado nutricional das populações amostradas, foram utilizados os valores das concentrações de nutrientes nas folhas das árvores, aos três anos de idade (Tabela 2).

TABELA 2. Concentrações de nutrientes nas folhas maduras de *E. grandis*, plantado sobre Areia Quartzosa, aos três anos de idade.

CONCENTRAÇÕES	N	P	K	Ca	Mg
	mg/g				
média	25,6	1,6	5,0	4,6	2,3
mínima	23,5	1,3	4,0	3,0	2,0
máxima	32,2	2,0	6,3	5,4	2,6
C.V. (%)	10,80	11,80	13,40	15,54	7,61

Os teores considerados adequados para a espécie, aos três anos de idade, são os seguintes: entre 20,7% e 22,2 mg/g de N, segundo HAAG (1961); 1,0 mg/g de P, entre 7,5 mg/g e 8,3 mg/g de K, e entre 2,6 mg/g e 3,2 mg/g de Mg, segundo BELLOTE (1990). Para o cálcio, cujas concentrações nas folhas são muito variáveis, este mesmo autor define que as concentrações adequadas estão situadas entre 3,9 mg/g e 6,8 mg/g.

Comparando as concentrações médias de nutrientes (tabela 2) com os valores considerados adequados para a espécie, observa-se que as concentrações (2,56 mg/g) de N e (0,16 mg/g) de P são bem superiores aos teores considerados ótimos por BELLOTE (1990), apresentando uma relação N/P de 16, que, segundo SCHÖNAU & HERBERT (1982), é satisfatória para o crescimento de *E. grandis*.

Esta relação (N/P) está no limite superior daquela relação observada por SCHÖNAU & HERBERT (1982) e BALVINDER (1986), fato que pode ser decorrente da diferença entre os materiais genéticos utilizados, possivelmente com maior grau de seleção para as condições de clima e de solos do Estado de São Paulo, bem como emprego de práticas silviculturais diferentes ou, ainda, resultante da manutenção no campo dos resíduos das explorações, rotina na Cia Suzano de Papel e Celulose S.A.

Estas práticas incluem uma maior utilização de adubos, técnicas mais adequadas de preparo do solo, adubação e aumento dos teores de matéria orgânica no solo, que tem evoluído ano a ano.

As concentrações médias de cálcio encontradas neste estudo (4,6 mg/g), aos três anos de idade, são inferiores àquelas encontradas por BELLOTE (1990) em Itatinga, Angatuba e Casa Branca, no Estado de São Paulo. No entanto, são superiores àquelas encontradas por ZACKIA et al. (1983), em São Simão - SP, para a mesma espécie, idade e tipo de solo. As concentrações de cálcio

apresentaram coeficiente de variação mais alto do que dos demais nutrientes, reforçando as afirmações de BELLOTE & FERREIRA (1993) de que as concentrações de cálcio nas folhas de *E. grandis* são muito variáveis.

Neste estudo, as concentrações de K (5,0 mg/g) e Mg (2,3 mg/g) nas folhas, situaram-se abaixo do nível nutricional considerado adequado para o crescimento de *E. grandis*, de acordo com o enfatizado por SCHÖNAU & HERBERTT (1981) e BELLOTE (1990). No entanto, a relação P/K de 0,32 encontrada não é satisfatória para o crescimento do Eucalyptus, pois é superior a preconizada por SCHONAU & HERBERT (1989).

Este fato pode estar associado às características dos solos, originado de material pobre em bases, o que provavelmente afeta o fornecimento de potássio às plantas. A análise da relação N/K (5,12) também revela um desequilíbrio de potássio, pois, segundo BOWEN & NAMBIAR (1984), esta relação é considerada boa quando for igual a 3,0. Destaca-se que em função dos teores de potássio e magnésio nas folhas serem baixos, o estado nutricional de *E. grandis*, foi considerado deficiente nesses nutrientes.

4.2 Estimativas da biomassa da parte aérea e do volume do tronco

Os modelos selecionados (Tabelas 3, 4 e 5) expressam os volumes do tronco com e sem casca e do alburno, em metros cúbicos. Estes modelos também validam o uso do DAP^2 na determinação indireta do volume do tronco, principalmente em função dos valores dos coeficientes de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$), da distribuição dos resíduos e da significância do modelo.

Os modelos utilizados na estimativa dos volumes com casca, sem casca e do alburno, aos 3 anos, apresentaram elevados coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,97$), valores médios para o erro padrão da estimativa, ($S_{xy}\% \leq 18\%$), com significância a nível de $p \leq 0,01$ (Tabela 3), refletindo em confiabilidade dos modelos aplicados. Observa-se que, nas determinações do volume do alburno, o erro foi maior, situando-se abaixo do valor considerado aceitável

TABELA 3. Equações para estimativa do peso (g) biomassa e do volume (m³) de madeira de *E. grandis*, nos diferentes compartimentos da árvore, aos três anos de idade.

COMPARTIMENTO	EQUAÇÕES	R ²	S _{xy} %	F
VOLUME (m ³)				
TRONCO cc	$0,000633 \times \text{DAP}^2$	0,9872	12,32	2307,27
TRONCO sc	$0,000563 \times \text{DAP}^2$	0,9882	11,84	2508,29
ALBURNO	$0,000469 \times \text{DAP}^2$	0,9724	17,97	1058,68
CASCA	$V_{\text{com casca}} - V_{\text{sem casca}}$			
CERNE	$V_{\text{sem casca}} - V_{\text{alburno}}$			
PESO (g)				
CASCA	$22,2311 \times \text{DAP}^2$	0,9418	26,59	486,17
ALBURNO	$201,2941 \times \text{DAP}^2$	0,9593	22,03	707,94
CERNE	$P_{\text{total}} - (P_{\text{alburno}} + P_{\text{casca}})$			
TRONCO	$239,6199 * \text{DAP}^2$	0,9995	19,59	190,00
GALHOS	$- 1008,07 + 22,7142 \times \text{DAP}^2$	0,9708	19,00	383,73
FOLHAS	$- 2534,74 + 42,4367 \times \text{DAP}^2$	0,9255	20,64	274,22

cc = com casca; sc= sem casca

Aos três anos de idade, o volume do cerne em árvores de *E. grandis* é muito pequeno e o volume do alburno praticamente expressa o volume do lenho. Nesta idade, o volume da casca representa 11,06% do volume e 10,39% do peso do tronco com casca.

No entanto, aos cinco anos de idade (Tabela 4), o volume do cerne representa 16,92% do volume do tronco, sendo que a casca responde por 10,92% do volume e 8,04% do peso do tronco com casca, demonstrando que mesmo com

o aumento do cerne, a representatividade da casca, em volume, é praticamente a mesma do terceiro ano.

TABELA 4. Equações para a estimativa da biomassa e do volume de madeira de *E. grandis*, nos diferentes compartimentos da árvore, aos cinco anos de idade.

COMPARTIMENTO	EQUAÇÕES	R ²	S _{XY} %	F
VOLUME (m ³)				
TRONCO cc	$0,000591 \times \text{DAP}^2$	0,9916	9,74	2366,87
TRONCO sc	$0,00053 \times \text{DAP}^2$	0,9910	10,14	2191,49
ALBURNO	$0,00043 \times \text{DAP}^2$	0,9868	12,22	1496,97
CASCA	$V_{\text{com casca}} - V_{\text{sem casca}}$			
CERNE	$V_{\text{sem casca}} - V_{\text{alburno}}$			
PESO (g)				
CASCA	$23,4430 \times \text{DAP}^2$	0,9767	16,37	839,97
ALBURNO	$198,1420 \times \text{DAP}^2$	0,9865	12,38	1460,03
CERNE	$P_{\text{total}} - (P_{\text{alburno}} + P_{\text{casca}})$			
TRONCO	$260,73 \times \text{DAP}^2$	0,9889	11,25	1780,99
GALHOS	$36,1799 \times \text{DAP}^2$	0,9535	23,62	267,36
FOLHAS	$39,7978 \times \text{DAP}^2$	0,9718	17,84	551,57

cc = com casca; sc= sem casca

A diminuição da representatividade do peso da casca de 10,39% para 8,04% do peso do tronco, pode ser atribuída ao maior crescimento do tronco (alburno e cerne), bem como um aumento na densidade destes dois componentes, expressando maior peso.

Na estimativa dos volumes do tronco com e sem casca e volume do alburno, aos 5 anos de idade (Tabela 4), foram observados os maiores valores para os coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,9868$), e menores os valores para os erros padrões das estimativas, comparativamente aos dados de três anos, mostrando que aos cinco anos de idade, os modelos são mais precisos na estimativa do volume do tronco e de seus compartimentos.

TABELA 5. Equações para a estimativa da biomassa e do volume de madeira de *E. grandis*, nos diferentes compartimentos da árvore, aos sete anos de idade.

COMPARTIMENTO	EQUAÇÕES	R^2	S_{XY} %	F
VOLUME (m ³)				
TRONCO cc	$0,000952 \times DAP^2$	0,9748	17,65	1159,90
TRONCO sc	$0,000848 \times DAP^2$	0,9857	13,43	2065,12
ALBURNO	$0,000472 \times DAP^2$	0,9676	20,05	896,60
CASCA	$V_{\text{com casca}} - V_{\text{sem casca}}$			
CERNE	$V_{\text{sem casca}} - V_{\text{alburno}}$			
PESO (g)				
CASCA	$37,7823 \times DAP^2$	0,9978	4,50	4539,86
ALBURNO	$235,9570 \times DAP^2$	0,9690	19,71	938,85
CERNE	$P_{\text{total}} - (P_{\text{alburno}} + P_{\text{casca}})$			
TRONCO	$442,6520 \times DAP^2$	0,9790	16,30	1400,06
GALHOS	$28,4492 \times DAP^2 - 107,2099 \times HT$	0,9659	23,86	425,53
FOLHAS	$35,0359 \times DAP^2 - 134,8311 \times HT$	0,9588	26,93	350,15

cc = com casca; sc= sem casca; p= peso (g) e v= volume (m³)

Aos sete anos de idade (Tabela 5), destaca-se que o volume do cerne representa 39,49% do volume do tronco, a casca representa 10,92% do volume e 7,46% de peso do tronco com casca. Este decréscimo no peso da casca, também

pode estar associado a aumentos dos volumes e densidades do cerne e do alburno.

No sétimo ano, os modelos selecionados para as estimativas dos volumes, apesar de apresentarem altos coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,96$), foram menos precisos do que aqueles que determinaram os volumes aos três e cinco anos de idade, por possuírem erro padrão de estimativa de 17,65%, 13,43% e 20,05%, respectivamente para o volume sem casca, volume com casca e volume do alburno. A diminuição dos erros padrões das estimativas a níveis mais baixos, pode ser conseguida com um aumento do número de árvores a serem amostradas, possibilitando ajustes mais precisos nos modelos.

O emprego de modelos matemáticos para a determinação dos pesos dos componentes casca, lenho, galhos e folhas, já vem sendo feito por diversos autores, entre eles WENDELL (1961); SCHONAU & BODEN (1981); MITCHEL (1981); AKACHUKA (1981); FERREIRA (1984); COUTO et al. (1984); SOARES & HOSOKAWA (1984) e REIS (1987).

Os modelos matemáticos selecionados validam o uso do DAP na estimativa dos pesos dos nutrientes, nos diferentes compartimentos da árvore, principalmente em função dos valores dos coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,95$), erros padrões das estimativas, distribuição dos resíduos e significância dos modelos. Destaca-se aqui a necessidade da determinação precisa das medidas do DAP e altura, por

exemplo o uso da fita métrica para o DAP, em função da importância desses parâmetros nas estimativas do peso dos diferentes compartimentos das árvores.

No caso dos dados referentes à idade de sete anos, os modelos necessitam do DAP² e da altura total, como variáveis independentes, para expressarem o peso seco (em gramas) das folhas e dos galhos (Tabela 5). As estimativas dos pesos dos galhos, nas idades de 3, 5 e 7 anos, apresentaram os piores ajustes. Isto se deve, provavelmente, à forma irregular que apresentam, dificultando a obtenção de modelos que expliquem adequadamente a sua correlação com o DAP e/ou altura das árvores, como observaram COUTO et al. (1984).

4.3 Conteúdo de nutrientes e biomassa do tronco

Na exploração florestal, o tronco, composto pela casca, alburno e cerne, é o componente que mais contribui na exportação dos nutrientes do sítio. Isto pode ser observado nos dados da Tabela 6, que evidenciam o conteúdo de nutrientes nos principais compartimentos das árvores de *E. grandis*, aos três, cinco e sete anos de idade.

TABELA 6. Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, no tronco (casca, alburno e cerne), nas idades de 3, 5 e 7 anos.

Idade/anos	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa
3	44,5	5,48	43,86	44,92	11,68	38813,00
5	78,51	10,64	55,95	86,98	28,45	88810,83
7	78,14	18,39	67,07	107,91	23,16	106811,22

O acúmulo de biomassa no tronco (Figura 3), foi mais expressivo entre o terceiro e o quinto ano, quando houve um aumento no peso de 222,51 %, do que do 5º para o 7º, quando o aumento foi de 20,27%. Este incremento menor, provavelmente está relacionado com o aumento da competição estabelecida ao nível de raízes, por água e nutrientes, bem como a competição por luz, ao nível de folhas.

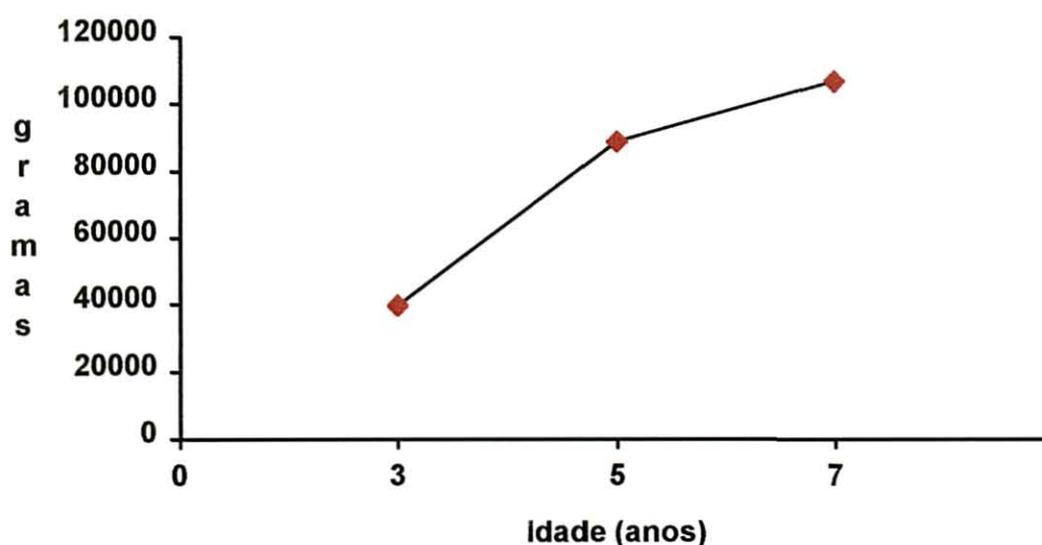


Figura 3. Acúmulo de biomassa no tronco de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos

Na Tabela 6 e na Figura 4 observam-se também, o acúmulo total de nutrientes no tronco. Destaca-se um acúmulo crescente do 3º para o 7º ano dos nutrientes cálcio, potássio e fósforo, elementos que são essenciais para o crescimento do eucalipto. Segundo MARSCHNER (1986) e BAUCH (1993), o potássio e o cálcio estão diretamente envolvidos na divisão e crescimento celular, fazendo parte da composição da parede celular. Segundo PITMAN et al. (1971), as análises a nível subcelulares, indicam que, nos tecidos das árvores, tanto o potássio como o cálcio são particularmente localizados em diferentes compartimentos das células e em diferentes constituições químicas, sendo que o potássio é mais importante para o crescimento celular. O cálcio, segundo WESTERMARK (1982) e ALBERSHEIN (1978) tem maior importância para a formação da parede celular e lignificação dos traqueídeos.

Observa-se, também, que o conteúdo de nitrogênio e de magnésio no tronco, diminuiu do quinto para o sétimo ano, indicando que ocorreu uma migração desses nutrientes para os tecidos mais novos, ou uma diminuição na demanda dos nutrientes de nitrogênio e magnésio com o aumento da idade. O magnésio, é um elemento essencial para a realização da fotossíntese. No entanto, segundo DÜNISCH & BAUCH (1994), aumentos na produção de madeira, não podem ser atribuídos apenas a aumentos nas concentrações de magnésio nas folhas.

O nitrogênio, por ser um elemento altamente móvel nas plantas, em condições de suprimento abaixo do nível ótimo, frequentemente, por uma necessidade interna, é mobilizado para áreas de novos crescimentos. As árvores por adaptação a uma condição de stress também podem transferir nutrientes para tecidos que possam servir como estoque estratégico. Neste aspecto, MARSCHNER (1995) afirma que, durante a senescência de folhas e ramos, esta transferência pode representar um sintoma típico de deficiência de nitrogênio. Por esta razão, pode-se associar a diminuição do conteúdo de nitrogênio no sétimo ano, com a diminuição na biomassa da copa das árvores, o que não caracteriza necessariamente, uma deficiência de nitrogênio.

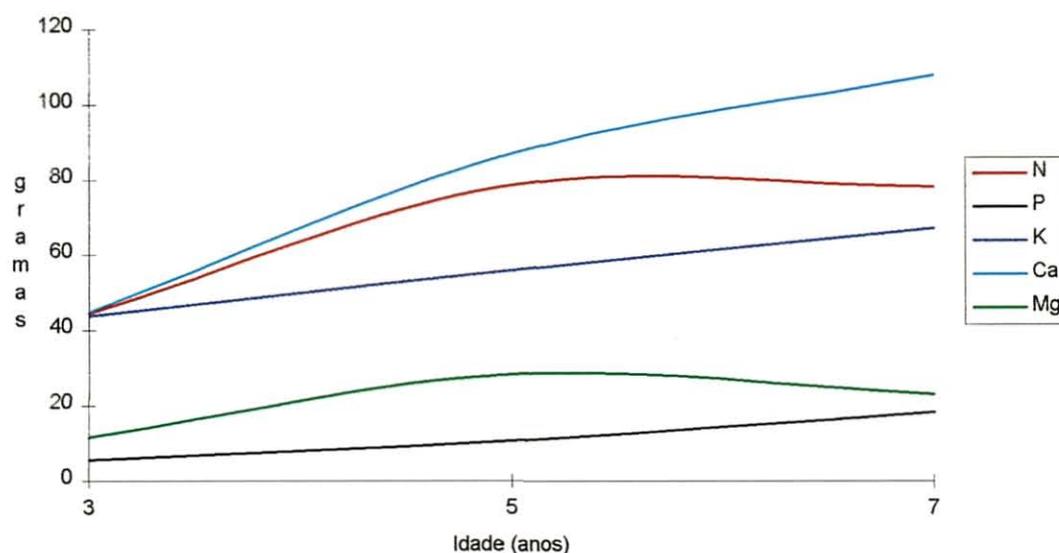


Figura 4. Acúmulo total de nutrientes no tronco de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos.

4.4 Biomassa da casca

Observa-se na Tabela 9 e na Figura 5, que a biomassa da casca foi significativamente menor do que a biomassa de tronco, pesando 4147g, 7137g e 7972g, respectivamente para as idades três, cinco e sete anos. Isto representa, respectivamente, 10,39%; 8,04% e 7,46% da biomassa do tronco, naquelas idades citadas.

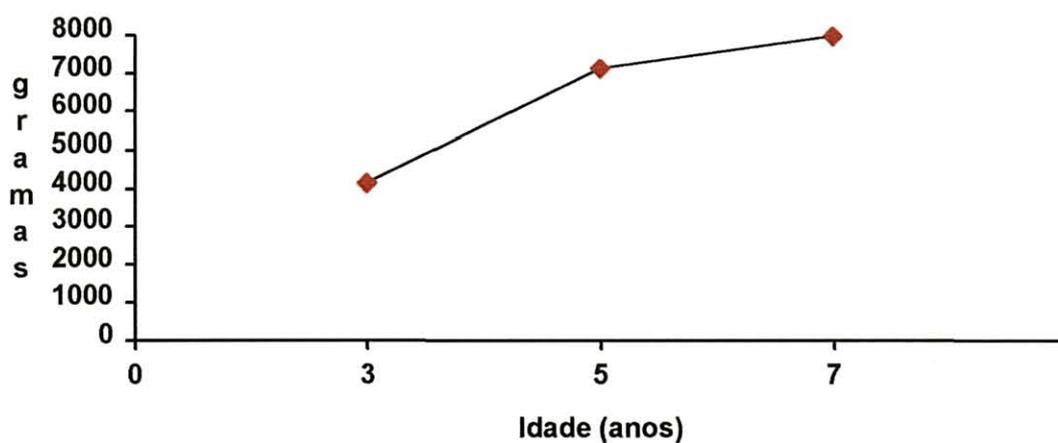


Figura 5. Acúmulo de biomassa na casca de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos de idade

4.5 Estimativa do conteúdo de nutrientes na casca

Os modelos matemáticos que estimaram o conteúdo de nutrientes na casca de *E. grandis*, nas idades de três, cinco e sete anos estão apresentados na Tabela 7.

Na estimativa dos conteúdos totais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na casca aos três anos, os modelos matemáticos (Tabela 7), utilizaram como variáveis independentes, os conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de um segmento da casca, especificado na tabela 8.

TABELA 7. Equações para determinação indireta dos nutrientes (g), acumulados na casca das árvores de *E. grandis*, aos três, cinco e sete anos de idade e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) e valores do teste de F da Análise de Regressão.

NUTRIENTES/EQUAÇÕES		R^2	$S_{xy}\%$	F
3 ANOS				
NITROGÊNIO	$10,2536 \times N_{1m}$	0,9847	12,81	645,70
FÓSFORO	$8,7925 \times P_{1m} + 10,1343 \times P_{1,3m}$	0,9689	18,51	156,60
POTÁSSIO	$41,7454 \times K_{1,3m}$	0,9930	8,89	1419,27
CÁLCIO	$24,3941 \times Ca_{1,3m}$	0,9865	12,39	731,67
MAGNÉSIO	$8,8574 \times Mg_{1m}$	0,9872	11,98	774,39
5 ANOS				
NITROGÊNIO	$85,8013 \times N_{1,3m}$	0,9508	23,30	194,19
FÓSFORO	$9,9600 \times N_{1,3m}$	0,9879	17,08	814,91
POTÁSSIO	$52,4622 \times K_{1,3m}$	0,9043	14,80	95,51
CÁLCIO	$4,7158 \times Ca_{base}$	0,9555	22,33	215,88
MAGNÉSIO	$11,2591 \times Mg_{1m}$	0,9470	23,42	179,76
7 ANOS				
NITROGÊNIO	$50,9402 \times N_{1,3m}$	0,9843	12,92	625,82
FÓSFORO	$2,7638 \times N_{1,3m} + 13,3973 \times N_{1m}$	0,9809	14,25	515,37
POTÁSSIO	$6,4473 \times N_{1,3m} + 31,2538 \times N_{1m}$	0,9572	21,16	224,53
CÁLCIO	$4,9205 \times Ca_{1m} + 18,0455 \times Ca_{1,3m}$	0,9859	13,52	314,71
MAGNÉSIO	$48,0414 \times Mg_{1,3m}$	0,9697	18,16	321,00

Ainda na Tabela 7, observa-se que o coeficiente de determinação (R^2), para os modelos que estimaram os nutrientes foram superiores a 0,9689 e o maior valor do erro padrão da estimativa foi 18,51% na idade de três anos, tendo sido observado para o modelo que estimou o fósforo, enquanto que para os demais elementos, seus valores foram inferiores a 12,8%.

As variáveis independentes utilizadas nas estimativas dos conteúdos totais dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio da casca, aos 5 anos de idade (Tabela 15), também utilizaram, respectivamente, os conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de um segmento da casca, especificados na tabela 8. O erro padrão da estimativa variou de 14,80% e 23,42%, sendo que na estimativa de nitrogênio, apresentou um valor máximo (23,42%). Observou-se, também, que, os coeficientes de determinação dos modelos que estimaram os conteúdos de nutrientes na casca apresentaram valores que dão confiabilidade ao modelo, apresentando o menor valor para o modelo que estimou o conteúdo de potássio (0,9043).

Como variáveis independentes utilizadas nas estimativas dos conteúdos totais dos nutrientes da casca, aos 7 anos de idade (Tabela 7), foram utilizados respectivamente, os conteúdos de nitrogênio de um segmento da casca, para a determinação do conteúdo total de nitrogênio, fósforo e potássio. O conteúdo de cálcio e magnésio na casca, foram estimados a partir do conteúdo de cálcio e

magnésio de um segmento da casca. Estes segmentos estão especificados na Tabela 8.

A representatividade do nitrogênio como variável independente nos modelos que estimaram o nitrogênio e o fósforo, no quinto ano e o nitrogênio, o fósforo e o potássio, no sétimo ano, guardadas as devidas proporções, hipoteticamente estão relacionadas às relações N/P e N/K existentes para as folhas, mencionadas por SCHÖNAU & HERBERT (1981).

O erro padrão da estimativa variou entre 12,92 a 21,92%, sendo que, para a estimativa do potássio, apresentou o valor máximo (21,92%). Observou-se, também, que os coeficientes de determinação dos modelos que estimaram os conteúdos de nutrientes foram altos, apresentando valor mínimo para o modelo que estimou o conteúdo de potássio na casca, que é de 0,9572.

Analisando o erro padrão da estimativa, para as idades de três, cinco e sete anos, observou-se que na estimativa do conteúdo de fósforo na casca, houve um aumento da precisão do modelo, com a idade, ocorrendo o inverso com a estimativa do potássio, onde os modelos foram menos precisos aos sete anos.

Para o nitrogênio, cálcio e magnésio, o erro padrão da estimativa foi maior no quinto ano. Nesta idade, o coeficiente de correlação indicou uma menor precisão dos modelos.

Os modelos que estimam os conteúdos de nutrientes, com exceção do potássio, foram mais precisos no sétimo ano. Isto pode estar associado ao fato de que nas idades estudadas, o acúmulo de nutrientes é máximo ao sete anos.

TABELA 8. Segmentos da casca utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg na casca, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

NUTRIENTES		SEGMENTO DO CASCA							
		AOS 3 ANOS		AOS 5 ANOS		AOS 7 ANOS			
Nitrogênio	N	1,0 - 1,3 m		N	1,3 - 2,0 m		N	1,3 - 2,0 m	
Fósforo	P	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m		P	1,3 - 2,0 m		N	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m	
Potássio	K	1,3 - 2,0 m		K	1,3 - 2,0 m		N	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m	
Cálcio	Ca	1,3 - 2,0 m		Ca	base - 1,0 m		Ca	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m	
Magnésio	Mg	1,0 - 1,3 m		Mg	1,0 - 1,3 m		Mg	1,3 - 2,0 m	

4.6 Conteúdo de nutrientes e biomassa na casca

O eucalipto é um gênero que, quantitativamente, aloca poucos nutrientes na casca, sendo 10% de N, 20% de P e 25% de K, em relação ao total de nitrogênio, fósforo e potássio armazenado nas folhas. No entanto, dependendo das espécie, pode acumular na casca, 39 a 48% do cálcio existente na copa. Apesar de acumular menos nutrientes móveis, a casca os armazena principalmente na forma de compostos solúveis de nitrogênio e proteínas, que são fundamentais para o desenvolvimento de ramos novos (BOWEN & NAMBIAR, 1984).

A casca, como sítio de armazenamento, apesar de apresentar o menor peso entre os componentes do tronco, armazena nitrogênio solúvel e proteínas que são hidrolizadas antes da transformação dos compostos, e que servirão para a manutenção de novos crescimentos. A casca acumula em seus tecidos, maiores quantidades de cálcio e magnésio do que no alburno e no cerne. No entanto, observa-se na Tabela 9, que o acúmulo de cálcio na casca é mais acentuado do terceiro para o quinto ano, do que do quinto para o sétimo ano. Esta tendência também é observada, em menor escala, para o potássio, para o fósforo, neste sentido, HILL (1961), afirma que o acúmulo de fósforo é maior e mais estável na casca do que nas folhas e galhos, sugerindo que a casca pode ser utilizada para diagnósticos de árvores deficientes em fósforo, e apontando a necessidade de desenvolver mais estudos a este respeito.

TABELA 9. Acúmulo de nutrientes e peso (g) da biomassa por árvore, na casca, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

Idade/anos	N	P	K	Ca	Mg	peso
3	14,15	2,26	11,81	33,07	6,27	4146,89
5	23,42	4,1	17,18	64,15	13,77	7136,94
7	21,22	8,61	20,48	77,14	12,08	7971,93

Observa-se na Tabela 9 que o acúmulo de biomassa de casca foi significativamente menor do que a biomassa de tronco (Tabela 6), pesando 4147g, 7137g e 7972g, respectivamente para as idades 3, 5 e 7 anos. Isto representa, respectivamente, 10,39%, 8,04% e 7,46% da biomassa do tronco, naquelas idades citadas.

O magnésio e o nitrogênio apresentaram comportamento semelhante na forma de acúmulo na casca, sendo maior no quinto ano. Ambos, nitrogênio e magnésio são parte constituinte da clorofila, e, seguramente, a quantidade acumulada decresceu em função da diminuição da biomassa das folhas. O acréscimo de fósforo observado (Figura 6), aliado à sua mobilidade na planta, indica que o elemento provavelmente está sendo acumulado na casca como forma de estoque estratégico, pois a avaliação nutricional (Tabela 2), destaca que no momento da amostragem, as árvores estavam bem nutridas de nitrogênio, fósforo e cálcio.

Ainda, na Figura 6, observa-se um grande acúmulo de cálcio que, provavelmente, ocorreu devido à participação deste elemento na estrutura da parede celular (BURGER & RICHTER, 1991).

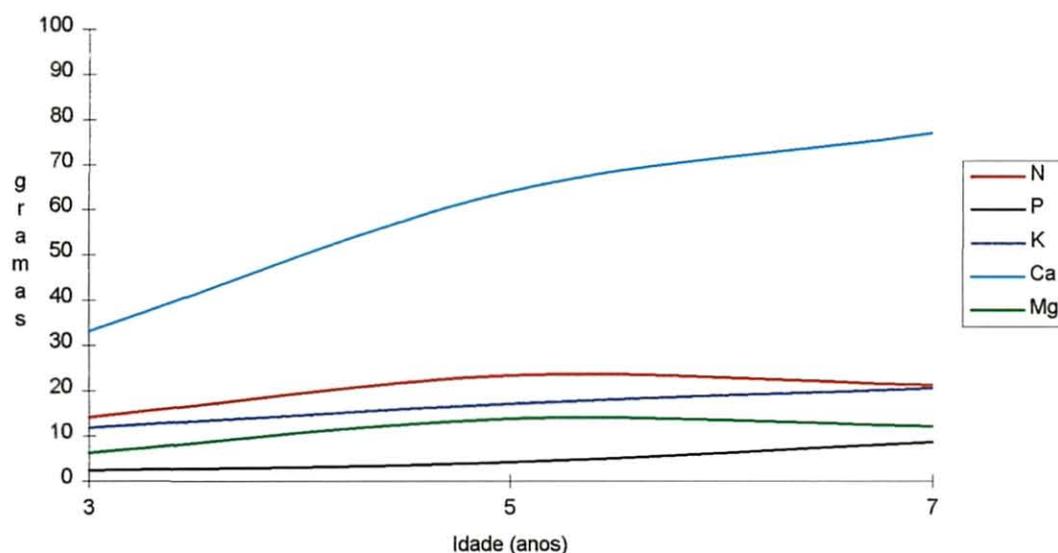


Figura 6. Acúmulo total de nutrientes na casca de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos.

Observa-se ainda na Figura 6, que o nitrogênio e o magnésio apresentaram maior acúmulo no quinto ano, fato este que pode estar associado à mobilidade destes elementos no tecido vegetal, e também a um acréscimo da quantidade de tecido inerte na casca do quinto para o sétimo ano. O fósforo apresentou um acúmulo crescente com a idade.

O acúmulo de cálcio na casca de *E. grandis* foi 2,79; 9,90 e 4,43 vezes maior do que no alburno, respectivamente aos 3, 5 e 7 anos de idade. Para o magnésio, este diferencial de acúmulo na casca foi menor, sendo que a casca acumulou mais magnésio do que o alburno, na orde de 1,72 vezes no terceiro ano; 1,28 vezes no quinto ano e 1,55 vezes no sétimo ano.

O magnésio e o nitrogênio mostraram comportamento semelhante na forma de acúmulo na casca, sendo maior no quinto ano. Ambos, nitrogênio e magnésio são partes contituíntes da clorofila, são altamente móveis na planta e, seguramente, a quantidade acumulada decresceu em função da diminuição da biomassa das folhas, fato que implicou numa menor absorção deste elemento. O acréscimo de fósforo observado na figura 6, aliado à sua mobilidade na planta, induz a conclusão de que o elemento pode estar sendo acumulado na casca como forma de estoque estratégico, pois a avaliação nutricional (tabela 2), destaca que no momento da amostragem, as árvores estavam bem nutridas de nitrogênio, fósforo e cálcio.

Ainda na Figura 6, observa-se um grande acúmulo de cálcio que, provavelmente, ocorreu devido à sua participação na estrutura da parede celular, e pelo fato da casca conter parte do floema, uma estrutura especializada na condução de seiva elaborada aos demais órgãos das árvores (BURGER & RICHTER, 1991).

4.7 Biomassa no alburno

A proporção da biomassa tronco:alburno aumentou com a idade, notadamente entre o 3º e 5º ano, fato que pode ser atribuído ao incremento da biomassa do cerne (Figura 7).

A quantificação dos nutrientes no alburno é importante, pois o lenho, composto pelo alburno e cerne, representa o principal sítio de exportação de nutrientes, uma vez que é a mais importante fonte de matéria prima arbórea.

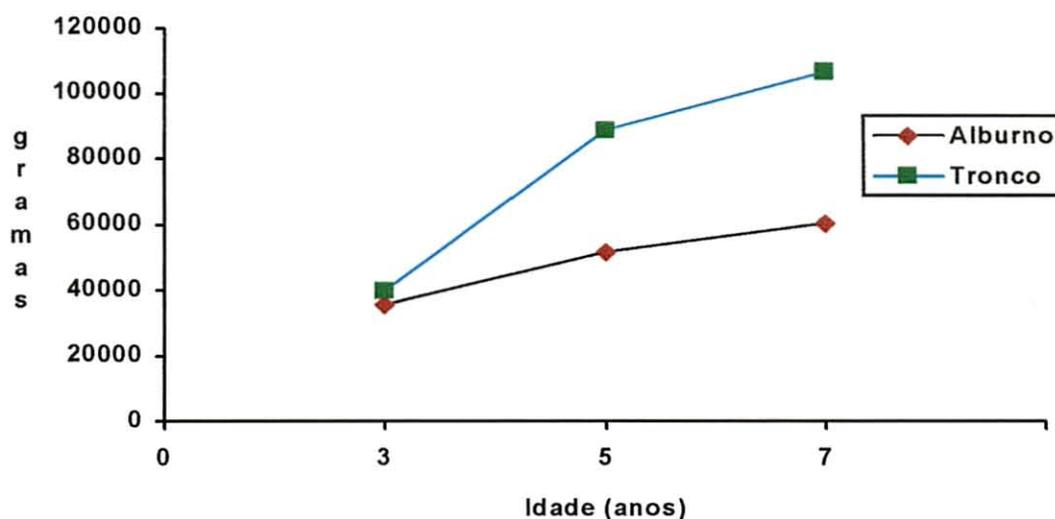


Figura 7. Acúmulo de biomassa no alburno e no tronco de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos

4.8 Estimativa do conteúdo de nutrientes no alburno

Os modelos matemáticos que estimaram os conteúdos totais de nutrientes no alburno de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos de idade, estão apresentados na tabela 10. Nesta estimativa, os conteúdos totais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no alburno foram determinados a partir dos conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, respectivamente, de um segmento do alburno, apresentados na tabela 11.

Os modelos ajustados para as estimativas dos conteúdos de nutrientes no alburno (Tabela 10) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) altos, sendo que os valores mínimos ocorreram para magnésio, aos três anos (0,9745); para o cálcio, aos 5 anos (0,9475) e para o fósforo, aos 7 anos (0,8721). Destaca-se que a estimativa do fósforo apresentou maiores coeficientes de determinação (R^2) e menores valores para o erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$), quando a variável independente considerou a amostragem no segmento entre 4 e 5 m de altura. No entanto, este ponto de amostragem não foi considerado para os ajustes de modelos em função da dificuldade da amostragem, a 5 m de altura, a não ser que se optasse por uma amostragem destrutiva.

As estimativas de cálcio (5º ano) e de fósforo (7º ano) no alburno apresentaram erros acima do limite de 20% considerado como limite de aceitação de erro, podendo ser minimizado através de amostragem em pontos diferentes da árvore ou com o aumento do número de amostras a serem tomadas.

TABELA 10. Equações para determinação indireta dos nutrientes (g) acumulados no alburno das árvores de *E. grandis*, aos três, cinco e sete anos de idade e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) e valores do teste F da análise de Regressão.

NUTRIENTES/EQUAÇÕES		R^2	$S_{xy}\%$	F
3 anos				
NITROGÊNIO	$35,7751 \times N_{1m}$	0,9834	13,33	591,99
FÓSFORO	$39,0684 \times P_{1,3m}$	0,9836	14,83	541,07
POTÁSSIO	$38,1580 \times K_{1,3m}$	0,9841	14,08	555,61
CÁLCIO	$6,6860 \times Ca_{base}$	0,9761	17,88	367,36
MAGNÉSIO	$35,6887 \times Mg_{1,3m}$	0,9745	17,71	344,33
5 anos				
NITROGÊNIO	$14,3834 \times N_{1m}$	0,9806	14,55	505,33
FÓSFORO	$68,1484 \times P_{1,3m}$	0,9781	16,70	385,75
POTÁSSIO	$12,1259 \times K_{1m}$	0,9808	14,63	511,86
CÁLCIO	$8,8852 \times Ca_{base}$	0,9475	23,89	163,29
MAGNÉSIO	$52,9199 \times Mg_{1,3m}$	0,9849	12,92	651,73
7 anos				
NITROGÊNIO	$6,8581 \times N_{1,3m} + 33,2438 \times N_{1m}$	0,9929	8,48	701,99
FÓSFORO	$27,2632 \times P_{base} + 30,9341 \times P_{1,3m}$	0,8721	21,71	31,19
POTÁSSIO	$13,5624 \times K_{1m}$	0,9922	9,36	1149,01
CÁLCIO	$15,3568 \times Ca_{1m}$	0,9823	14,18	500,16
MAGNÉSIO	$54,2122 \times Mg_{1,3m}$	0,9874	11,97	702,80

O erro padrão da estimativa dos modelos utilizados para estimar os conteúdos de nutrientes no alburno apresentaram, aos três anos de idade os valores mais altos, 17,88% e 17,71%, para o cálcio e magnésio, respectivamente. Para os demais (nitrogênio, fósforo e potássio) esses valores situaram-se abaixo de 14,83%. Aos 5 anos de idade a tendência foi a mesma, destacando-se o

fósforo, com $S_{xy}\%$ de 16,70% e o cálcio com $S_{xy}\%$ de 23,89%. Aos sete anos a determinação dos conteúdos de nutrientes é mais precisa, com destaque para o fósforo que apresentou um erro padrão da estimativa $S_{xy}\%$ de 21,71%. Nas três idades, os valores baixos apresentados pelo erros padrões da estimativa expressam confiabilidade aos modelos.

Todos os modelos foram significativos aos nível de $p < 0,01\%$ e a distribuição gráfica dos resíduos não apresentou tendenciosidade na sua distribuição.

Na tabela 11, encontram-se os segmentos do alburno cujos conteúdos de nutrientes foram determinados, para comporem as variáveis independentes dos modelos.

TABELA 11. Segmentos do alburno utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no alburno, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

NUTRIENTES		Segmento da casca		
		aos 3 anos	aos 5 anos	aos 7 anos
NITROGÊNIO	N	1,0 - 1,3 m	1,0 - 1,3 m	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m
FÓSFORO	P	1,3 - 2,0 m	1,3 - 2,0 m	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m
POTÁSSIO	K	1,3 - 2,0 m	1,0 - 1,3 m	1,0 - 1,3 m
CÁLCIO	Ca	base - 1,0 m	base - 1,0 m	1,3 - 2,0 m
MAGNÉSIO	Mg	1,3 - 20 m	1,3 - 2,0 m	1,0 - 1,3 m

Analisando-se de forma conjunta os valores R^2 e de $S_{xy}\%$, dos modelos que estimam os conteúdos de cálcio, potássio, nitrogênio e magnésio no alburno

Tabela 10, observa-se que os coeficientes de determinação aumentaram e os erros padrões da estimativa diminuíram do 3º para o 7º ano.

Este fato pode estar associado ao acúmulo de nutrientes nas árvores, ao longo da rotação, pois, o acúmulo de nutrientes no tronco, a semelhança da biomassa, é máximo aos sete anos. Além disso, os parâmetros determinam a confiabilidade dos modelos foram maiores à medida que a quantidade de nutrientes na biomassa aproximou-se do valor máximo acumulado em uma rotação de sete anos.

4.9 Conteúdo de nutrientes e biomassa no alburno

Observa-se na Tabela 12, que o alburno representa 88,50%, 58,24% e 56,44% da biomassa total do tronco, respectivamente aos 3, 5 e 7 anos de idade, e que a proporção da biomassa tronco:alburno aumentou com a idade, notadamente entre o 3º e 5º ano, fato que pode ser atribuído ao incremento da biomassa do cerne.

TABELA 12 Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, no alburno, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

Idade/anos	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa
3	30,31	3,22	32,03	11,83	5,41	35714,89
5	38,44	5,96	35,97	11,66	10,77	51719,89
7	41,31	9,19	43,37	14,43	7,79	60280,28

Os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio foram maiores no alburno (Tabela 12) do que na casca (Tabela 9). O acúmulo de nitrogênio no alburno, aos três, cinco e sete anos, foi respectivamente 2,14; 1,64 e 1,95 vezes maior do que na casca. O potássio acumulou-se no alburno 2,7 vezes a mais no terceiro ano e 2,1 vezes a mais no quinto e sétimo ano, do que na casca .

O nitrogênio acumulou-se continuamente ao longo da rotação (Figura 8), apresentando ótimos ajustes aos três, cinco e principalmente aos sete anos de idade quando o acúmulo foi máximo e o erro padrão da estimativa (Tabela 10) apresentou o menor valor (8,48 %).

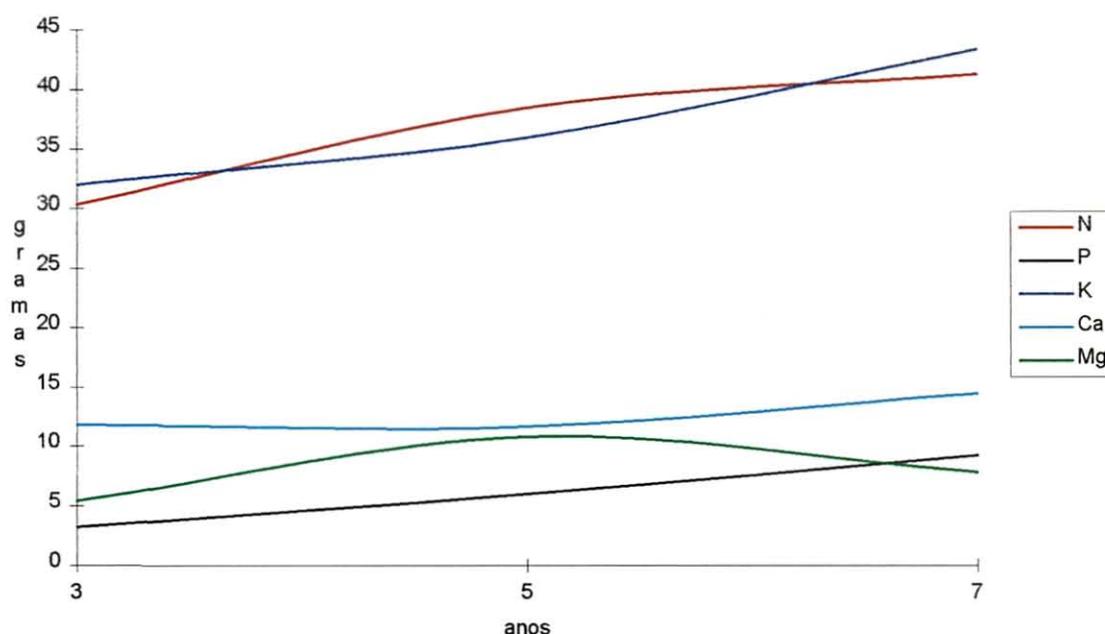


Figura 8. Acúmulo de nutrientes no alburno de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos de idade.

Os padrões de acúmulo de nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, observados neste estudo (Figura 8), foram contínuos do 3º para o 7º ano, e de maneira constante para o cálcio. O acúmulo do magnésio foi maior no quinto ano, decrescendo para o sétimo ano. Associe-se a ocorrência de acúmulos menores de nutrientes no 7º ano à formação do cerne que, nesta idade, atingiu 36% da biomassa do tronco e 63,96% da biomassa do alburno.

A análise do estado nutricional das árvores (Tabela 2) destaca que os níveis de potássio e magnésio nas folhas estão abaixo dos níveis considerados adequados para a espécie. No entanto, no alburno (Figura 8), o acúmulo de potássio é equivalente ao acúmulo de nitrogênio, um nutriente que, a nível foliar, encontra-se acima do nível adequado.

Segundo BOWEN & NAMBIAR (1984), a translocação dos nutrientes ocorre primeiramente no xilema, no sentido ascendente e posteriormente na floema, cujo sentido é bidirecional, pois folhas e frutos também são abastecidas de seiva elaborada. O potássio é um nutriente que tem grande mobilidade no floema, e aparece como um cátion predominante na seiva das folhas, com concentrações de 0,4 a 20 mg.ml⁻¹, superiores às concentrações de Ca, 0,2 mg.ml⁻¹ de cálcio e 0,05 a 2,2 mg.ml⁻¹ de Mg.

A presença de altas concentrações de potássio e cálcio na zona cambial também foi detectada por WILL (1965), que afirma que o suprimento de

potássio e cálcio no câmbio é alto, quando oferta do solo diminuí. Este mesmo autor afirma que o potássio pode contribuir para o crescimento das células dos traqueídeos da madeira juvenil, mas que o crescimento celular não pode ser explicado somente pelo fluxo de potássio nos traquídeos, pois altas concentrações de potássio são encontradas também nas zonas de diferenciação dos tecidos (formação de madeira tardia), o que não é explicado. BOWEN & NAMBIAR (1984) detectaram que árvores bem nutridas em K têm maior eficiência na absorção de água.

Estes fatos, associados à função de potássio como regulador osmótico e responsável pela turgescência das células guardas nos estômatos das folhas, levam à hipótese do potássio também possuir a função de facilitar o transporte de água e nutrientes nos tecidos do alburno. No caso de uma oferta ineficiente, apresenta deficiência nas folhas, e supostamente desloca o potássio das folhas para manutenção dos vasos dos canais condutores de seiva, para que em situações pós estresses, a árvore tenha condição de rapidamente absorver os nutrientes e água do solo e reiniciar a produção de assimilados para o crescimento.

4.10 Biomassa do Cerne

Observa-se na figura 9, que a biomassa do cerne produzida até o terceiro ano não é expressiva. As avaliações da biomassa do cerne, nesta idade, são significativas apenas nas árvores de maior diâmetros (DAP>13 cm) (BELLOTE et al. 1993). A partir do 5º ano a biomassa é proporcional à biomassa produzida pelo alburno, fato interessante, considerando às características do cerne, no tocante ao acúmulo de nutrientes.

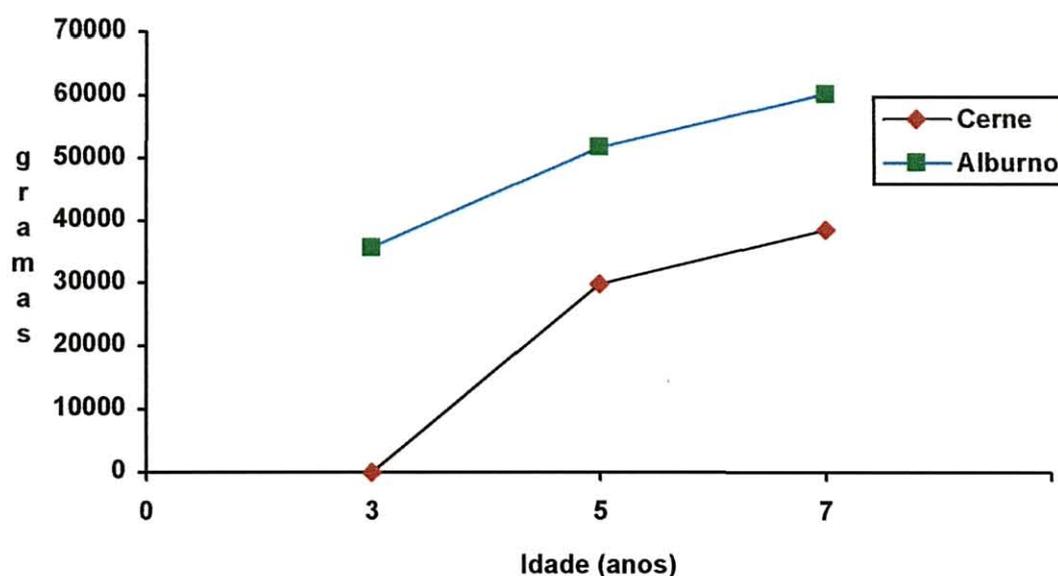


Figura 9. Acúmulo de biomassa no cerne e no alburno de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos de idade

4.11 Estimativa do conteúdo de nutrientes no cerne

Os modelos matemáticos que estimam os conteúdos totais de nutrientes no cerne de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos de idade, estão apresentados na Tabela 13. Nesta estimativa, os conteúdos totais de nutrientes do cerne foram determinados a partir dos conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio de um segmento do cerne especificado na Tabela 14.

TABELA 13. Equações para determinação indireta dos nutrientes acumulados no cerne das árvores de *E. grandis*, aos três anos de idade, e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{xy} %) e valores de F da análise de regressão.

Nutrientes/Equações		R^2	S_{xy} %	F
3 anos				
NITROGÊNIO	$4,6722 \times N_{1\ m}$	0,9738	17,03	373,08
FÓSFORO	$4,7796 \times P_{1,3\ m}$	0,9795	14,49	430,63
POTÁSSIO	$7,5584 \times K_{base} + 3,1887 \times K_{1,3\ m}$	0,9852	10,56	299,20
CÁLCIO	$4,4865 \times Ca_{1\ m}$	0,9626	18,00	258,52
MAGNÉSIO	$0,1705 \times Mg_{base} + 1,5451 \times Mg_{1\ m}$	0,9857	2,10	432,97
5 anos				
NITROGÊNIO	$33,2659 \times N_{1,3\ m}$	0,9924	9,27	1307,85
FÓSFORO	$33,4577 \times P_{1,3\ m}$	0,9935	8,91	1525,86
POTÁSSIO	$7,3175 \times K_{base}$	0,9844	15,35	632,96
CÁLCIO	$34,5843 \times Ca_{1,3\ m}$	0,9947	7,40	1510,36
MAGNÉSIO	$9,9419 \times Mg_{1\ m}$	0,9950	8,20	2003,15
7 anos				
NITROGÊNIO	$35,5906 \times N_{1,3\ m}$	0,9933	9,11	1481,94
FÓSFORO	$35,1882 \times P_{1,3\ m}$	0,9922	9,81	1275,65
POTÁSSIO	$-2,7928 \times K_{base} + 48,7976 \times K_{1\ m}$	0,9949	5,53	2367,63
CÁLCIO	$36,0385 \times Ca_{1,3\ m}$	0,9938	9,16	1603,88
MAGNÉSIO	$35,7885 \times Mg_{1,3\ m}$	0,9926	7,82	1338,00

Os erros padrões das estimativas ($S_{xy}\%$) dos conteúdos de nutrientes do cerne foram baixos para todos os nutrientes, principalmente no 5º e 7º anos. Destaca-se apenas o cálcio e o nitrogênio, na idade de três anos, que apresentaram $S_{xy}\%$ de 18% e 17,03 %, respectivamente e o potássio na idade de 5 anos, com $S_{xy}\%$ de 15,35%. O erro padrão da estimativa baixo e coeficiente de determinação alto, expressam confiabilidade aos modelos, que foram significativos ao nível de $p \leq 0,01$.

Na tabela 14, estão os segmentos do cerne que tiveram seus conteúdos de nutrientes determinados para comporem as variáveis independentes dos modelos.

TABELA 14. Segmentos do cerne utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no cerne nas idades de 3, 5 e 7 anos.

NUTRIENTES		Segmento do cerne		
		aos 3 anos	aos 5 anos	aos 7 anos
NITROGÊNIO	N	1,0 - 1,3 m	1,3 - 2,0 m	1,3 - 2,0 m
FÓSFORO	P	1,3 - 2,0 m	1,3 - 2,0 m	1,3 - 2,0 m
POTÁSSIO	K	base - 1,0 m e 1,3 - 2,0 m	base - 1,0 m	base - 1,0 m e 1,0-1,3 m
CÁLCIO	Ca	1,0 - 1,3 m	1,3 - 2,0 m	1,3 - 2,0 m
MAGNÉSIO	Mg	base - 1,0 e 1,0 - 1,3 m	1,0 - 1,3 m	1,3 - 2,0 m

Ressalta-se uma tendenciosidade na distribuição gráfica dos resíduos, onde a formação do cerne foi significativa.

Observou-se, que os R^2 possuem valores maiores nas idades de 5 e 7 anos, e que os valores de $S_{xy}\%$, nessas mesmas idades, são consequentemente

menores. Este fato possivelmente está associado ao conteúdo de nutrientes que é menor em função das características dos tecidos, isto é, já não apresentam ritmo de crescimento intenso, com conteúdo de nutrientes mais estáveis, conforme detectado por BELLOTE, (1979) e que os nutrientes mais moveis já se deslocaram para outros tecidos mais ativos, o que confere ao cerne uma estabilidade em termos de acúmulo, a partir do 5º ano.

4.12 Conteúdos de nutrientes e biomassa no cerne.

Observa-se na Tabela 15, que a biomassa do cerne produzida até o terceiro ano não é expressiva. As avaliações da biomassa do cerne, nesta idade, são significativas apenas nas árvores de maior diâmetros (DAP>13cm) (BELLOTE et al. 1993).

TABELA 15. Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, no cerne, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

Idade/Anos	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa
3	0,04	0,0007	0,018	0,02	0,007	51,22
5	16,65	0,58	2,8	11,17	3,91	29953,99
7	15,61	0,59	3,22	13,34	3,29	38559,01

A análise da quantidade de nutrientes acumulados no cerne (Tabela 15) e no alburno (Tabela 12), destaca que o cerne acumula em média, menos nutrientes do que o alburno chegando a 2,3 vezes menos nitrogênio e 2,75 e 2,37 vezes

menos magnésio, respectivamente no 5º e 7º ano. Observa-se, na Figura 9, que o cerne formado até o terceiro ano é inexpressivo, no entanto, a partir do quinto ano, a sua biomassa torna-se expressiva e representa 57,91% e 63,97% da biomassa do alburno, respectivamente, no 5º e 7º ano.

Este fato sugere que os nutrientes são deslocados para o alburno, por ocasião da formação do cerne. Pode-se supor que o nitrogênio, o fósforo e o potássio também deslocam-se da madeira convertida em cerne, como acontece nas folhas velhas e senescentes (MARSCHNER, 1995).

As maiores diferenças no acúmulo de nutrientes entre o cerne e o alburno estão nos conteúdos de potássio que são maiores no alburno (12,85 vezes no quinto ano e 13,47 vezes no sétimo ano), implicando em uma menor exportação de nutrientes no sítio, quando da exploração florestal. Observa-se que no sétimo ano o cerne representa 63,97% do volume do alburno, e o conteúdo de potássio é menor do que aquele presente no 5º ano.

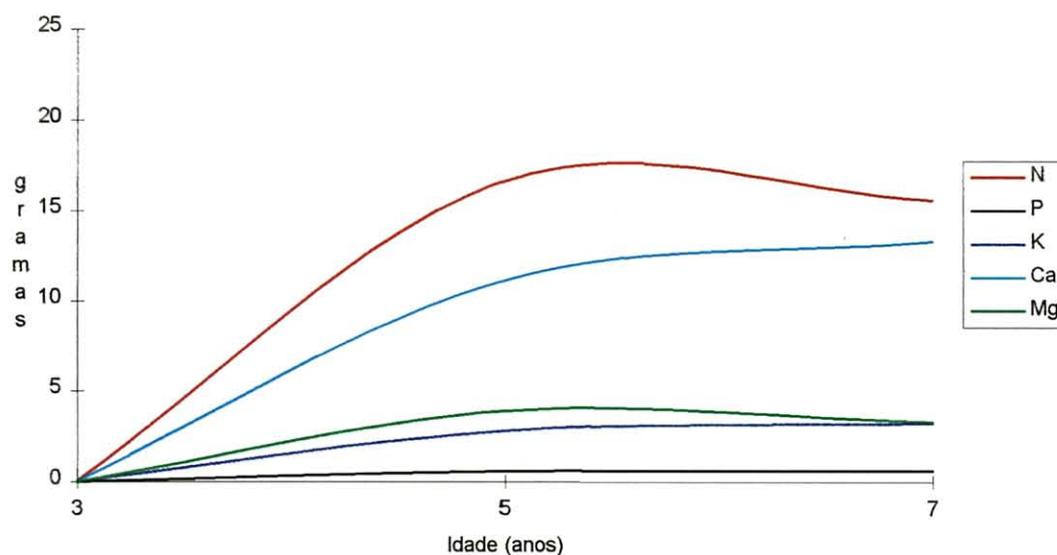


Figura 10. Acúmulo de nutrientes no cerne de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos de idade.

Destaca-se na Figura 10, que os nutrientes que apresentaram maiores quantidades no cerne, foram o nitrogênio, por ser um elemento com grande disponibilidade nos tecidos vegetais, não tendo necessidade de se translocar totalmente, e o cálcio que faz parte da estrutura dos tecidos e apresenta baixa mobilidade. Os demais nutrientes (fósforo, potássio e magnésio), praticamente são totalmente translocados. Observa-se também que à partir do 5º ano, o conteúdo de nutrientes no cerne estabilizou-se, apesar de ter ocorrido entre o 5º e o 7º ano, um incremento de 28,72% na sua biomassa.

A diferenciação dos tecidos, além da importância fisiológica afeta forma de acúmulo dos nutrientes. Destaca-se como transformação principal em relação ao acúmulo de nutrientes, as características do cerne e do alburno, que entre si

apresentam diferenças anatômicas (KOLLMANN & COTÊ, 1984) e nutricionais (FERREIRA et al. 1993).

O cerne representa 0,14%, 57,91% e 63,96% da biomassa do lenho, respectivamente aos 3, 5 e 7 ano. Com relação ao acúmulo de nutrientes, no sétimo ano o cerne acumula 15,61 g de nitrogênio; 0,59 g de fósforo; 3,22 g de potássio; 13,34 g de cálcio e 3,29 g de magnésio, enquanto que o alburno acumula 41,31 g de nitrogênio; 9,19 g de fósforo; 43,37 g de potássio; 14,43 g de Cálcio e 7,79 g de magnésio, o que nos leva a deduzir que árvores com cerne desenvolvidos contribuem menos com a exportação de nutrientes. Este decréscimo, está associado à translocação interna dos nutrientes, pois o cerne, é um tecido de baixa atividade fisiológica e à medida que perde esta função, transloca os nutrientes mais móveis para os tecidos mais ativos. O cálcio, por participar na formação parede celular, e por possuir mobilidade baixa nos tecidos vegetais, apresenta no alburno, praticamente a mesma quantidade de nutrientes do que o cerne.

Em uma análise do acúmulo de nutrientes nos compartimentos do tronco, podemos destacar que a casca, aos sete anos, representa 7,46% do peso do tronco, e acumula 21,22 g de nitrogênio; 8,61 g de fósforo; 20,48 g de potássio; 77,14 g de cálcio e 12,08 g de magnésio, que representa um acúmulo maior de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio do que nos galhos e no cerne. Destaca-se que a casca do *E.grandis* é um compartimento acumulador de cálcio armazenando

maiores quantidades do que no alburno, apesar de representar 7,46% da biomassa do tronco, este fato já havia sido destacado por SILVA, (1983).

Tanto na casca como no cerne os conteúdos de nitrogênio e magnésio aumentaram do 3º para o 5º ano e diminuíram do 5º para o 7º ano, estes decréscimos podem estar associados a um aumento da ciclagem interna, que no caso do cerne ocorre em função da diferenciação do alburno/cerne, e na casca, pelo aumento da proporção de tecido morto.

Assim, reconhecendo a importância dos nutrientes para a manutenção da produtividade do sítio, devemos observar que a exploração de árvores com cerne mais desenvolvidos e a permanência da casca no campo, em muito contribuirão para a manutenção do sítio em condições de produzir, pois a grande quantidade de nutrientes, que normalmente seriam exportados com a casca permanecerão na camada orgânica do solo.

4.13 Biomassa na copa

A copa e, principalmente, as folhas caracterizam-se como o mais importante sítio de metabolismo das árvores. A distribuição e o conteúdo total de nutrientes na copa das árvores são afetados principalmente por alterações na quantidade de biomassa e por diferenças que ocorrem com a idade, tanto da árvore como das folhas em seus diferentes estágios fisiológicos. Sob este aspecto, nas árvores jovens, a biomassa das folhas e galhos contribuem com uma parcela maior no total

de biomassa da árvore. À medida que as árvores tornam-se adultas, este processo se inverte, cabendo ao tronco a maior parte do total de biomassa da árvore. Assim, aos três anos de idade, o peso seco do tronco foi 4,75 vezes maior do que o peso seco das folhas e galhos. Aos sete anos de idade, seu peso foi 14,60 vezes maior, comparativamente ao peso seco da copa, composto das folhas e galhos (Figura 11).

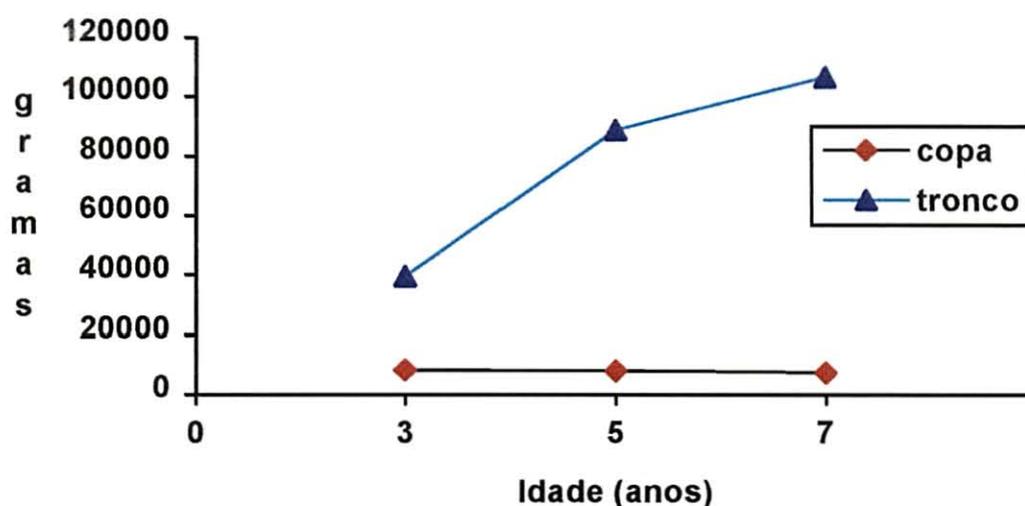


Figura 11. Biomassa na copa e no tronco de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos

Os galhos, principalmente os ramos jovens, também são importantes sítios de armazenamento de nutrientes. Considera-se aqui os aspectos relacionados à redistribuição dos nutrientes minerais na copa, onde aqueles armazenados nos galhos suprem o desenvolvimento inicial das folhas e ramos. Assim, parte dos nutrientes armazenados nos galhos são translocados para o desenvolvimento de folhas e ramos novos e parte dos nutrientes presentes nas folhas retornam aos galhos, nos períodos que antecedem a abscisão (DRIESSCHE, 1974).

Segundo este mesmo autor, a concentração de nutrientes nos galhos e ramos novos é alta, sugerindo a existência de uma reserva local de nutrientes a ser utilizada em condições de expansão da copa, crescimento de novos ramos e folhas. Neste estudo, os autores citam que nos ramos novos das folhosas os conteúdos de nutrientes são comparáveis aos das folhas. Comparam também a quantidade de ácidos fosfonucleícos das folhas maduras e senescentes, concluindo que a quantidade destes ácidos nos ramos novos foram sempre mais abundantes.

Os nutrientes móveis contidos nos tecidos mais velhos das copas podem ser considerados como um estoque estratégico, a ser utilizado na promoção do crescimento de qualquer outra parte da árvore.

Quantitativamente, o total de nutrientes nas folhas podem ser superior a 30% do total de nutrientes contido nas árvores. Com relação aos galhos o conteúdo de nutrientes nitrogênio, potássio e cálcio está próximo dos 5%, sendo que o Fósforo nos galhos corresponde a 3%, do estoque total da árvore.

Na análise da copa como estoque estratégico de nutrientes, pode-se observar que o armazenamento acontece em função do fornecimento externo abundante ou por fatores que favoreçam a sua absorção. Este estoque, normalmente acontece em dois níveis, o primeiro representado por uma absorção

recente, e inclui o acúmulo estacional temporário e o segundo consiste no armazenamento dos nutrientes mais móveis, em locais onde possam ser facilmente utilizados no caso de interrupção no fornecimento, como por exemplo o nitrogênio e fósforo armazenados no tronco e raízes, fósforo, potássio e magnésio nos ramos novos e até nas folhas mais velhas como observado por BOWEN & NAMBIAR (1982), em *Quercus corccinea* e FIFE & NAMBIAR (1982), em *P.radiata*.

Este processo é denominado redistribuição e é resultado do desenvolvimento de estratégias que são fundamentais para o desenvolvimento de novos ramos e folhas, principalmente após um período de repouso vegetativo ou de fornecimento escasso (MARSCHNER, 1995).

A capacidade das árvores em redistribuir os nutrientes das folhas para os galhos e vice-versa pode servir como instrumento de redução substancial das perdas associadas com a queda de folhas e estresses provocados por fornecimento inadequado, além de atuar como reserva de nutrientes. Segundo FIFE & NAMBIAR (1982), para os crescimentos no período de verão, a redistribuição pode suprir 86%, 48% e 59%, respectivamente de todo fósforo, nitrogênio e potássio necessários.

Nas folhas, a retranslocação é facilmente observada, pelas diferenças encontradas nas concentrações, principalmente de nitrogênio e fósforo, que são mais baixas nas folhas velhas no período imediatamente anterior à abscisão.

Segundo BOWEN (1984), a retranslocação de nutrientes nas folhas de *Quercus* foi a seguinte: 78% do nitrogênio, 54% do fósforo, 53% do potássio e 8% do cálcio. No caso de *Eucalyptus*, 70 a 80% do fósforo pode ser removido antes da queda das folhas.

Desta forma, o conhecimento do conteúdo de nutrientes na copa, como estoque estratégico, pode explicar o rápido crescimento do eucalipto em situações pós estresses.

4.13.1 Biomassa de galhos

Observa-se na Figura 12, que o peso dos galhos diminuiu do terceiro para o quinto ano, isto provavelmente ocorre em função do aumento da competição por luz, que induz a uma dominância apical e provoca derrama dos ramos inferiores, já inativos. A redução da copa do terceiro para o quinto ano foi de 7,21%, e do terceiro para o sétimo foi de 22,15%, demonstrando uma diminuição maior do quinto para o sétimo ano.

Os galhos participam com 50,38% aos três anos e 52,71% no quinto e no sétimo ano, do peso total da copa de *E. grandis*.

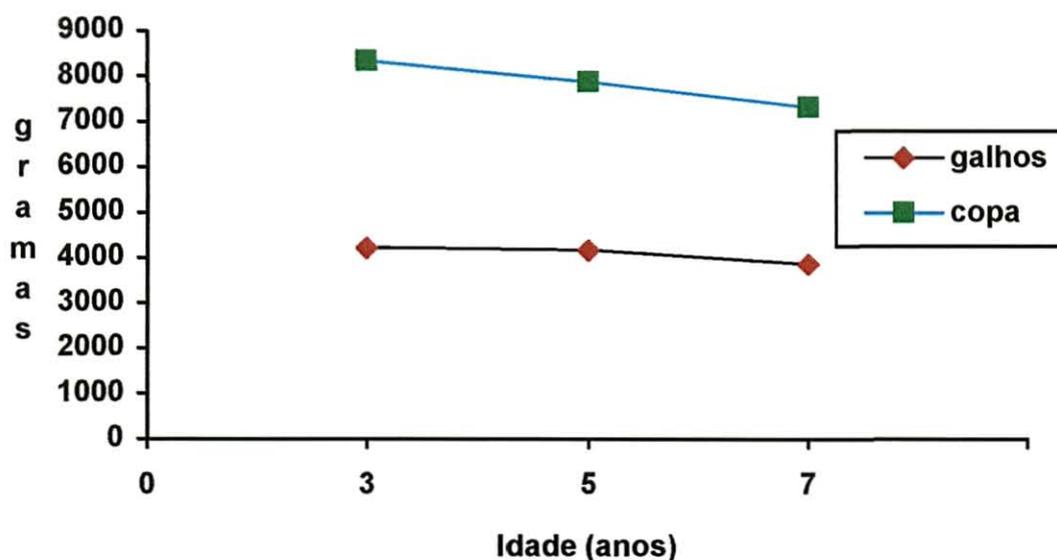


Figura 12. Peso da copa e de galhos de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos de idade

4.13.2 Estimativa do conteúdo de nutrientes nos galhos

Os modelos matemáticos que estimam o conteúdo de nutrientes nos galhos de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos, estão apresentados na Tabela 16.

Na estimativa dos conteúdos totais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nos galhos aos 3 e 5 anos de idade (Tabela 16), foram utilizados os conteúdos totais a partir do nitrogênio total de um segmento da casca. Os conteúdos de nutrientes nos galhos, aos 7 anos, foram estimados a partir do conteúdo de potássio e cálcio de um segmento do alburno, conforme demonstrado na tabela 17.

A amostragem dos galhos não considerou, neste estudo, as diferenciações que existem nos galhos, como por exemplo a separação do material lenhoso dos ramos mais novos, que ainda possuem coloração verde e com capacidade de realizar fotossíntese. Mesmo assim, os modelos ajustados para as estimativas dos conteúdos de nutrientes nos galhos (Tabela 16) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) altos, com valores mínimos de 0,9310, para determinação de fósforo aos 3 anos; 0,9440 para a determinação de nitrogênio, aos 5 anos e 0,9277 para a determinação do fósforo, aos 7 anos de idade.

TABELA 16. Equações para estimativas dos nutrientes acumulados nos galhos das árvores de *E. grandis*, aos três, cinco e sete anos de idade, e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) e valores do teste de F da análise de regressão.

NUTRIENTES/EQUAÇÕES		R^2	$S_{xy}\%$	Erro
3 anos				
NITROGÊNIO	$12,3752 \times N_{1m}$	0,9351	27,30	144,96
FÓSFORO	$8,5665 \times P_{1m} + 9,8738 \times P_{1,3m}$	0,9310	28,40	135,96
POTÁSSIO	$31,1128 \times K_{1,3m}$	0,9409	25,73	160,22
CÁLCIO	$8,6639 \times N_{1m}$	0,9879	12,15	817,70
MAGNÉSIO	$1,8068 \times N_{1m}$	0,9702	18,99	326,28
5 anos				
NITROGÊNIO	$43,5138 \times N_{1,3m}$	0,9440	19,55	135,67
FÓSFORO	$5,0798 \times N_{1,3m}$	0,9887	15,31	873,26
POTÁSSIO	$24,8159 \times N_{1,3m}$	0,9836	17,49	598,79
CÁLCIO	$41,6645 \times N_{1,3m}$	0,9481	14,34	165,35
MAGNÉSIO	$10,9200 \times N_{1,3m}$	0,9482	19,20	147,48
7 anos				
NITROGÊNIO	$9,0651 \times K_{1m} - 16,6053 \times Ca_{1m}$	0,9785	15,77	205,58
FÓSFORO	$1,8309 \times K_{1m} - 3,4909 \times Ca_{1m}$	0,9277	14,97	51,82
POTÁSSIO	$7,2184 \times K_{1m} - 12,5143 \times Ca_{1m}$	0,9806	14,94	228,25
CÁLCIO	$9,9073 \times K_{1m} - 18,8904 \times Ca_{1m}$	0,9410	26,61	72,79
MAGNÉSIO	$2,5334 \times K_{1m} - 4,8304 \times Ca_{1m}$	0,9887	12,08	787,63

O erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$), na determinação dos conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio foi alto para todos os nutrientes e idades analisadas. Este fato pode estar relacionado à amostragem, em função da não separação da casca do material lenhoso e dos ramos ainda verdes. Deduz-se que as diferenças nas concentrações de nutrientes entre estes tecidos é grande, o que aumenta a variação das concentrações entre as amostras analisadas, e conseqüentemente o erro.

TABELA 17. Segmentos da casca, aos 3 e 5 anos e do alburno aos 7 anos utilizados para a estimativa dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos galhos.

NUTRIENTES	Segmento da Casca		Segmento do Alburno			
	Aos 3 anos		Aos 5 anos			
NITROGÊNIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	K	1,0 - 1,3 e Ca = 1,0 - 1,3 m
FÓSFORO	N	1,0 - 1,3 e 1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m	K	1,0 - 1,3 e Ca = 1,0 - 1,3 m
POTÁSSIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	K	1,0 - 1,3 e Ca = 1,0 - 1,3 m
CÁLCIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	K	1,0 - 1,3 e Ca = 1,0 - 1,3 m
MAGNÉSIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	K	1,0 - 1,3 e Ca = 1,0 - 1,3 m

Os modelos escolhidos foram significativos ao nível de $p < 0,01$. No entanto, a distribuição gráfica dos resíduos não foi considerada adequada, apresentando tendências clássicas discutidas por KLEINDAUM (1988).

4.13.3 Acúmulo de nutrientes nos galhos.

Observa-se na Tabela 18, que o peso dos galhos diminuiu do terceiro para o quinto ano, isto provavelmente deveu-se ao aumento da competição por luz, que induz a uma dominância apical e provoca derrama dos ramos inferiores, já inativos. A redução da copa do terceiro para o quinto ano foi de 2%, e do terceiro para o sétimo foi de 8,8%, demonstrando uma diminuição maior do quinto para o sétimo ano.

Com relação ao peso da copa, os galhos participam com 50,38 %, do total aos três anos e 52,71% no quinto e no sétimo ano.

TABELA 18 Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, nos galhos, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

Idade/Anos	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa
3	14,15	2,25	11,81	33,07	6,27	4232,35
5	21,72	2,33	11,94	22,22	5,2	4156,39
7	12,36	2,3	10,25	12,76	3,2	3860,18

Aos cinco anos, o nitrogênio apresentou maior acúmulo nos galhos do que nas idades de 3 e 7 anos, e o cálcio acumulou quantidades decrescentes do 3º para o 7º ano, demonstrando estar diretamente correlacionado à diminuição do peso dos galhos. Nota-se que, aos três anos, o cálcio acumulou-se nos galhos (Tabela 18), na mesma quantidade que na casca (Tabela 9), e aproximadamente

três vezes mais do que no alburno (Tabela 12). Isto provavelmente está ligado ao decréscimo no peso de galhos observados do 3º para o 7º.

Na figura 13, pode-se observar o padrão de acúmulo de nutrientes nos galhos de *E. grandis*. Os conteúdos de potássio, magnésio e fósforo, praticamente se mantiveram constantes durante todo o período avaliado. No entanto, o cálcio apresentou uma queda do 3º para o 7º ano, proporcional, à diminuição observada na biomassa, e o nitrogênio, acrescentou maior acúmulo no 5º ano, provavelmente em função da maior proporção de ramos verdes nesta idade, quando a competição e a desrama de galhos ainda não tinham atingido o ponto máximo, como no 7º ano.

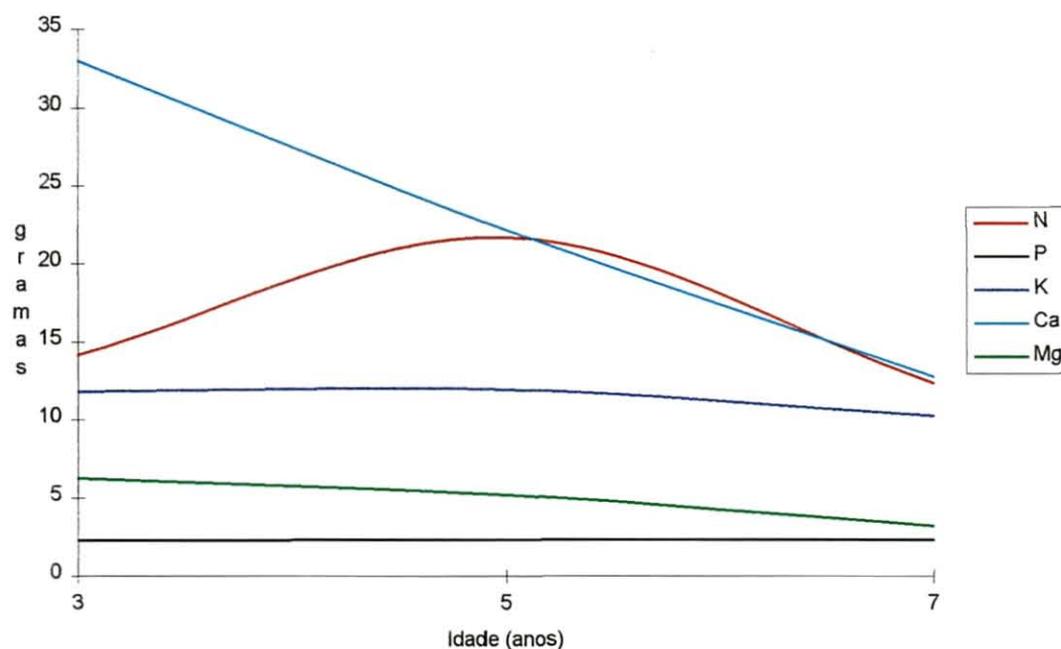


Figura 13. Acúmulo de nutrientes nos galhos de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos de idade.

4.13.4 Biomassa nas folhas

As análises dos pesos produzidos nos diferentes compartimentos de *Eucalyptus grandis*, aos 3, 5 e 7 anos, revelam que as folhas, os galhos e a casca (Tabelas 9, 18 e 21) apresentam baixo peso comparativamente ao lenho, no entanto, são responsáveis por quase a totalidade dos nutrientes acumulados. Ainda nas tabelas 18 e 21, podemos observar que a copa das árvores de *E. grandis*, contém, em média, 71,91 % ; 65,87 % e 49,49 % dos nutrientes das árvores, respectivamente aos 3 , 5 e 7 anos. O decréscimo na quantidade de nutrientes acumulados nas folhas (tabela 21), observado do 5º para o 7º ano, deveu-se principalmente à diminuição na relação copa/tronco, com um aumento significativo no peso do tronco, e também uma diminuição do peso de folhas e galhos.

Observa-se na Figura 14, que o peso das folhas diminui do terceiro para o sétimo ano, no entanto esta diminuição esta relacionada à diminuição do peso da copa, sendo que as folhas participam com 49,61%, 47,29% e 47,24% do peso da copa, respectivamente no terceiro, quinto e sétimo ano. Este fato, provavelmente deve-se ao aumento da competição por luz, que provoca a derrama das folhas que não recebem luz suficiente, perdem a sua função, tornando-se inativas e caem.

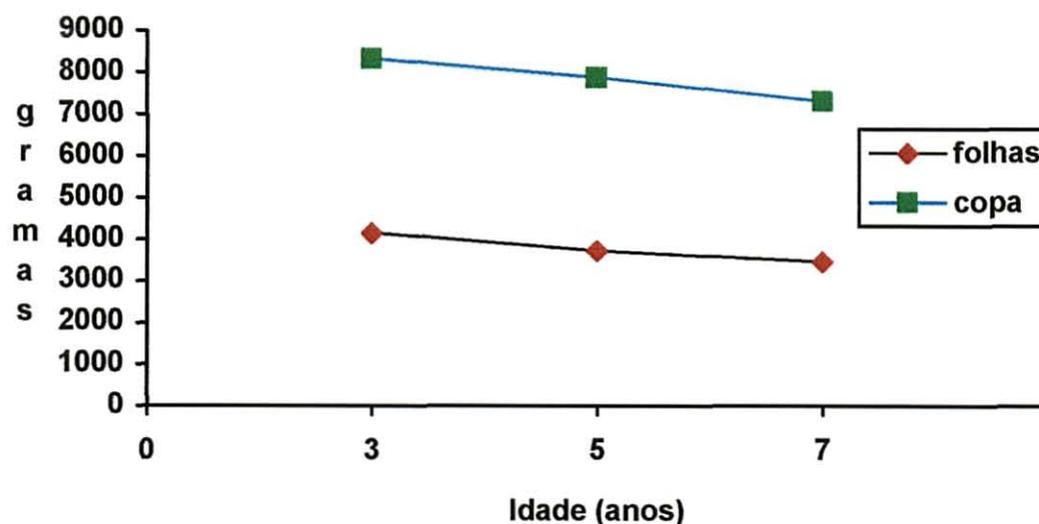


Figura 14. Peso da copa e folhas de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos de idade.

4.13.5 Estimativa do conteúdo de nutrientes nas folhas

Os modelos matemáticos que estimam os conteúdos nas folhas de *E. grandis* aos 3, 5 e 7 anos, estão apresentados na Tabela 19. Estes modelos apresentam coeficientes de determinações altos para todas as idades estudadas, com valores mínimos de R^2 0,8366 para o magnésio aos sete anos, os demais coeficientes de determinações foram superiores a 0,96 para todos os nutrientes e em todas as idades.

TABELA 19. Equações para determinação indireta dos nutrientes acumulados nas folhas das árvores de *E. grandis*, aos três, cinco e sete anos de idade, e respectivos coeficientes de determinação (R^2), erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) e valores do teste de F da análise de regressão

Nutrientes/equações		R^2	$S_{xy}\%$	F
3 anos				
NITROGÊNIO	$73,1512 * N_{1m}$	0,9807	14,72	508,16
FÓSFORO	$4,8428 * N_{1m}$	0,9689	19,06	312,80
POTÁSSIO	$58,7191 * K_{1,3m}$	0,9728	17,36	258,23
CÁLCIO	$14,1387 * N_{1m}$	0,9719	17,29	247,00
MAGNÉSIO	$7,3272 * N_{1m}$	0,9677	19,59	300,72
5 anos				
NITROGÊNIO	$194,5636 * N_{1,3m}$	0,9774	16,47	432,80
FÓSFORO	$11,2588 * N_{1,3m}$	0,9704	19,33	328,94
POTÁSSIO	$40,3091 * N_{1,3m}$	0,9752	18,17	353,79
CÁLCIO	$42,2732 * N_{1,3m}$	0,9645	20,29	272,96
MAGNÉSIO	$25,0116 * N_{1,3m}$	0,9744	17,77	382,36
7 anos				
NITROGÊNIO	$160,6768 * N_{1,3m}$	0,9764	18,11	415,09
FÓSFORO	$12,6935 * N_{1,3m}$	0,9618	24,04	262,66
POTÁSSIO	$45,1020 * N_{1,3m}$	0,9731	19,35	363,29
CÁLCIO	$39,3015 * N_{1,3m}$	0,9641	22,74	269,95
MAGNÉSIO	$6,8551 * N_{1,3m}$	0,8366	23,50	52,19

Observa-se na tabela 19 que os erros padrões das estimativas ($S_{xy}\%$) apresentaram valores próximos ao limite pré-estabelecido neste estudo, principalmente no terceiro e quinto anos. Erros maiores do que o limite pré-estabelecido foram detectados para fósforo, cálcio e magnésio, respectivamente, 24,04%, 22,74% e 23,50%.

Os modelos foram significativos ao nível de $p \leq 0,01$. No entanto, a distribuição gráfica dos resíduos não foi considerada adequada.

Os conteúdos totais de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio foram estimados da seguinte forma: o potássio total das folhas, aos três anos foi determinado utilizando-se o conteúdo de potássio de um segmento da casca e os demais, nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, a partir do conteúdo total de nitrogênio de um segmento da casca. Aos cinco e sete anos os conteúdos totais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nas folhas, foram estimados a partir do conteúdo de nitrogênio em um segmento da casca (Tabela 20).

TABELA 20. Segmentos da casca, aos 3, 5 e 7 anos, utilizados para as estimativas dos conteúdos totais dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas.

NUTRIENTES		Segmento do Casca				
		aos 3 anos		aos 5 anos		aos 7 anos
NITROGÊNIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m
FÓSFORO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m
POTÁSSIO	K	1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m
CÁLCIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m
MAGNÉSIO	N	1,0 - 1,3 m	N	1,3 - 2,0 m	N	1,3 - 2,0 m

4.13.6 Acúmulo de nutrientes nas folhas

A diminuição do peso da biomassa das folhas do terceiro para o sétimo ano, (Tabela 21), é semelhante a dos galhos (Tabela 18), e deve-se provavelmente ao aumento da competição por luz, que induz a uma derrama das folhas fisiologicamente inativas, pois à medida que o povoamento cresce, aumenta o grau de sombreamento nas partes mais baixas da copa.

O conteúdo de nitrogênio nas folhas (Tabela 21), à semelhança da biomassa das folhas, também decresce com o aumento da idade. Apesar do peso das folhas apresentar um decréscimo do terceiro para o sétimo, o conteúdo dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio não seguiu a mesma tendência (Figura 16), mesmo com o decréscimo da biomassa. Este fato pode estar ligado à ciclagem interna, onde os elementos nutrientes são transferido dos tecidos senescentes para aqueles fisiologicamente ativos.

TABELA 21 Acúmulo de nutrientes(g) e peso da biomassa(g) por árvore, nas folhas de *E.grandis*, nas idades de 3, 5 e 7 anos.

Idade/anos	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa
3	99,79	6,5	19,86	19,32	9,76	4167,57
5	77,68	4,45	16,36	17,74	9,98	3729,52
7	63,92	4,92	18,14	15,6	7,84	3457,18

O conteúdo de nitrogênio, no entanto, apresentou um decréscimo proporcional ao decréscimo da biomassa, esta tendência também foi observada no estado nutricional das árvores que apresentavam níveis ótimos no que se refere ao nitrogênio, e também devido a abundância deste nutrientes no ambiente, observa-se aqui a possível captação do nitrogênio diretamente da água da chuva, conforme observado por BELLOTE et al. (1993). Por estas razões, provavelmente as folhas não necessitam ser eficientes na ciclagem interna do nitrogênio.

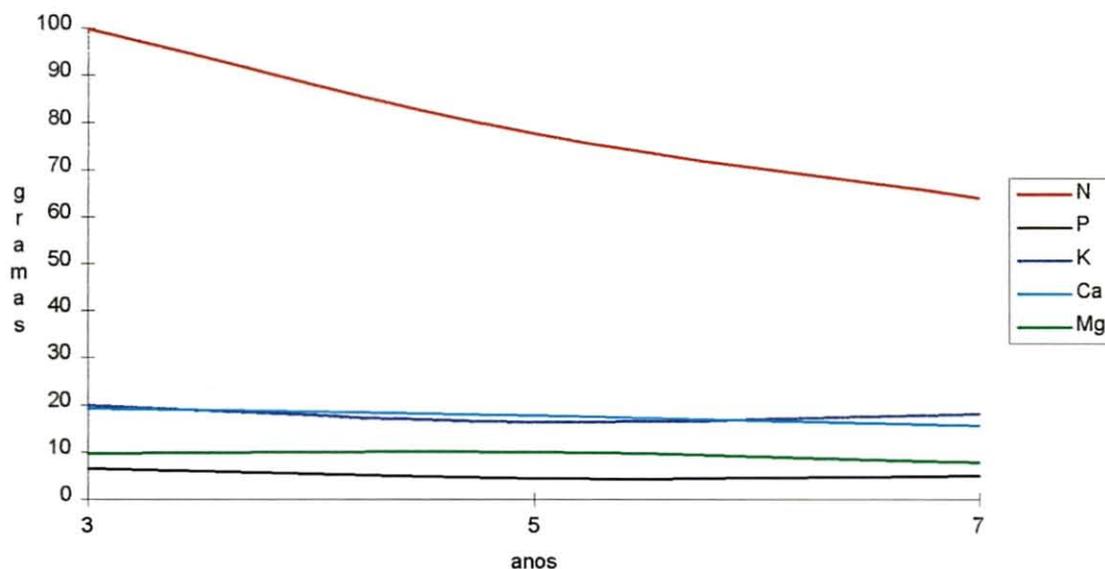


Figura 15. Acúmulo de nutrientes nas folhas de *E. grandis*, aos 3, 5 e 7 anos de idade.

4.14 Considerações sobre o acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos

Em uma análise do acúmulo de nutrientes nos compartimentos da copa e do tronco, podemos destacar que:

No terceiro ano, as folhas (tabela 21) apesar de possuírem pesos de biomassa menores (Tabela 19) do que alburno, acumularam as maiores quantidades de nitrogênio, fósforo e cálcio, e aproximadamente a mesma quantidade de magnésio do que o alburno (Tabela 12).

Observa-se, também, que o fósforo no quinto e no sétimo ano acumulou-se em maior quantidade no alburno, indicando que o acúmulo está diretamente ligado à produção de biomassa.

Caracterizando os diferentes compartimentos da árvore de *E. grandis* em função da sua importância como sítio armazenamento, observamos nas Tabelas 9, 12, 15, 18 e 21, que o compartimento das folhas, classifica-se como o melhor sítio de armazenamento para fósforo, potássio e magnésio. (SILVA, 1983 e BELLOTE, 1979).

Este fato é importante, na orientação das práticas de manejo a serem adotadas em plantios de *E. grandis*, principalmente no que se refere a exploração, ressaltando a importância da permanência dos resíduos da exploração no campo, pois as folhas, em árvores de 7 anos, contém apenas 3,2% do peso total do tronco e acumulou 81.80% do nitrogênio, 26.75% do fósforo, 27.04% do potássio, 14.46% do cálcio e 33.85% do magnésio, acumulados no tronco da árvore.

O mesmo raciocínio aplica-se aos galhos (Tabela 19), que é o segundo maior sítio de armazenamento de cálcio e a casca (Tabela 9), que é o maior sítio de armazenamento de cálcio e magnésio, notadamente no quinto e sétimo ano, onde representa respectivamente 3,6% e 7,46% do peso do tronco, esta

característica da casca em acumular cálcio, também foi detectada por SILVA, (1983).

Em uma análise global do acúmulo de nutrientes na copa das árvores de *E. grandis* (Tabelas 18 e 21), podemos constatar que: a análise do conteúdo de nutrientes e do peso da biomassa produzida nos diferentes compartimentos, revelam que a copa, composta dos galhos e das folhas, apresenta peso baixo comparativamente ao peso do tronco, composto da casca, alburno e cerne, no entanto, são responsáveis por quase a totalidade dos nutrientes acumulados na árvore.

Observa-se que a copa das árvores de *E. grandis* contém em média 71,91%, 65,84% e 49% dos nutrientes das árvores, respectivamente aos 3, 5 e 7 anos. Este decréscimo no percentual, observados nas árvores mais velhas, deve-se ao aumento significativo da biomassa do cerne e também à diminuição da copa.

Estes aspectos, ligados ao acúmulo de nutrientes por compartimentos das árvores devem ser considerados quando analisamos os efeitos das práticas de manejo na exportação de nutrientes, recomendando que as folhas e os galhos permaneçam no campo, em função da quantidade de nutrientes que possuem e pelo fato das folhas e dos galhos, respectivamente não apresentam mais do que 3,24% e 3,6% do peso do tronco.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos concluiu-se que:

1. A metodologia de amostragem mostrou-se eficiente para o estabelecimento de modelos matemáticos que estimam os volumes, pesos e conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores de *E. grandis*;
2. A coleta de amostras em um segmento do tronco, mostrou-se precisa na determinação dos conteúdos de nutrientes nos diferentes compartimentos do tronco (casca, alburno e cerne), e nas folhas e galhos;
3. A metodologia de amostragem estabelecida neste trabalho, preconiza a coleta de amostras para a estimativa dos conteúdos de nutrientes, no tronco e de forma não destrutiva;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, S. A mathematical expression of stem form for looblolly line in southern Brazil. Oklahoma, 1980. Tese (Mestrado) - Oklahoma State University.
- AKACHUKA, A. E. Estimation of volume and weight growth in Gmelina arborea with X-ray densitometer. In: YOUNG, H. E., ed. Kyoto biomass studies. Orono: University of Maine. School of Forest Resources. Complete Tree Institute, 1981. p.106-113.
- ALBERSHEIM, P. Concerning the structure and biosynthesis of the primary walls of plants. Int. Ver. Biochemistry 16. p.127-150, 1978.
- ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in Eucalyptus obliqua (L'Herit.) forest. III Growth, biomass, and net primary production. Australian Journal of Botany, Melbourne, v.27, n.4, p. 439-458, 1979.
- BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de. Relação solo-eucalipto. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 330p.
- BATAGLIA, O.C; DECHEN,A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1.,1986; Campinas. Anais.. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.115.
- BAUCH, J. Mineralelementversorgung von Nadelbäumen und ihre Bedeutung für das Wachstum. Mitteilungen der Bundestorschungsanstalt für Forst - und Hozwirtschtt. n.172, p. 75-84, 1993.

- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C.A; ANDRADE, G. DE C.; SILVA; H.D.da; MORO, L.; DINIZ, S.; ZEN, S. Implicações ecológicas e silviculturais do uso de cinzas de *Eucalyptus grandis*. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1993. 45p. não publicado.
- BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em função da idade. Piracicaba, 1979. Tese (Mestrado) - ESALQ, Universidade de São Paulo.
- BELLOTE, A.F.J. Nährelementversorgung und wuchsleistung von gedüngten *Eucalyptus grandis* - plantagen in Cerrado son São Paulo (Brasilien). Freiburg, 1990. 160p. Tese (Doutorado) - Albert-Ludwigs-Universität.
- BINKLEY, D. Forest nutrition management. New York: J.Willey, 1986. 290p.
- BOWEN B. D; NAMBIAR, E.K.S. Nutrition of plantation forests. London: Academic Press, 1984. 516p.
- BOWERSOX, T.W; WARD, W.W. Seasonal variation in foliar nutrient concentrations of black cherry. Forest Science, Washington, V.23, n.4, p.429-432, 1977b.
- BOWERSOX, T.W; WARD. W.W. Soil fertility, growth, and yield of young hybrid poplar plantations in Central Pennsylvania. Forest Science, Washington, V.23, n.4, p.463-469, 1977a.
- BRITO, J.O de; BARRICHELO, L.E.G.; COUTO, H.T.Z. do; MENDES, C.J.; REZENDE, G.C. de. Estudo do comportamento de madeiras de eucalipto frente ao processo de destilação seca. Brasil Florestal : Boletim Técnico, Brasília, n.8, p.5-36, ago. 1984.

BROWN, H.P.; PANSIN, A.J.; FORSAIT, C.C. Textbook of wood technology
McGraw-Hill, 1949.v.1, p.27-39.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. Anatomia da madeira. São Paulo: nobel, 1991.
p.154.

CARPANEZZI, A.A. Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucalipto no interior do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1980. Tese (Mestrado) - ESALQ; Universidade de São Paulo.

COLE, D.W. Nutrient cycling in world forests. In: GESSELL, S.P., ed. Forest site and productivity. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p.103-105.

CUNIA, T. Cluster sampling and tree biomass tables construction. In: YOUNG, H.E., ed. Kyoto biomass studies. Orono: University of Maine. School of Forest Resources. Complete Tree Institute, 1981. p.3-15.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. The stepwise regression procedure. In: _____. Applied regression analysis. New York: J. Wiley, p.307-311, 1966.

DRIESSCHE, R. Van Den. Prediction of mineral status of trees by foliar analysis. The Botanical Review. New York, p.347-394, 1974.

DÜNISCH, O.; BAUCH, J. Influence of soil substrate and drought t on wood formation of spruce (Picea abies L.Karst.) under controlled conditions. Holzforschung, Berlin, v.48, n.6, p.447-457, 1994.

EVANS, J. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of Gmelina arborea. Plant and soil, The Hague, v.52, n.4, p.547-552, 1979.

EVENHUIS, B.; WAARD, P.W.F. Principles and practices in plant analysis. FAO. Soils Bulletin, Roma, v.38, n.1, p.152-163, 1980.

FERREIRA, C.A.; BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. da. Concentração de nutrientes minerais no lenho de Eucalyptus saligna e sua relação com a aplicação de fertilizantes. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRA, 7., 1993, Curitiba. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1993. v.1, p.227-230.

FERREIRA, M. das G.M. An analysis of the future productivity of Eucalyptus grandis plantations in the "Cerrado" region in Brazil: a nutrient cycling approach. /S.I./, 1984. Tese (Doutorado em Filosofia) - Faculty of Forestry, University of British Columbia.

GUIMARÃES, D.F. Estimativa do volume de Eucalyptus spp. através de posições absolutas no tronco. Curitiba, 1985. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná.

HAAG, H.P. ; MELO, F. A. F. ; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ACORSI, W.R.; MALAVOLT, E.; ARZOLLA, S. Estudo sobre a alimentação mineral do Eucalyptus. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DO EUCALIPTO, 2., 1961, São Paulo. Relatório e documentos. São Paulo: FAO, 1961. v.2 , p.926-932.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. Forest products and wood science: an introduction. Ames: Iowa State University Press, 1982. 495p.

KIMMINS, J.P. Forest ecology. New York: McMillan, 1987. p.531.

- LAMB, D. Variations in the foliar concentrations of macro and micro elements in a fast-growing tropical eucalypt. Plant and Soil, The Hague, v.45, n.2, p.477-492, 1976.
- LAVENDER, D. P.; CARMICHAEL, R.L. Effect of three variables on mineral concentrations in douglas-fir needles. Forest Science, Washington, v.12, n.4, p.441-446, 1966.
- LEAF, A. L. P. Plant analysis as an aid in fertilizing forest. In: WALSH, L.M; BEATON, J.D. , ed. Soil testing and plant analysis. Madison: Soil science Society of America, 1973. p.427-454.
- LEAL, P.G.L. Produção de biomassa e distribuição de nutrientes em Eucalyptus grandis influenciadas pela aplicação de fosfato natural em solos de cerrado. Viçosa, 1988. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- LEMOINE, B.; RANGER, J.; GELPE, J. Interprétation et modélisation de la distribution des éléments nutritifs dans les différents compartiments de la biomasse d' un jeune peuplement de pin maritime. Annales des Sciences Forestieres, Paris, v.47, n.2, p.101-115 , 1990.
- LEMOINE, B; RANGER, J.; GELPE, J. Distributions qualitative des elements nutritifs dans un jeune peuplement de Pin maritime. Annales des Sciences Forestieres; Paris; v. 45, n.2, p.95-116, 1988.
- LIMA, W.P. O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais. São Paulo: Artpress, 1987. 114p.

- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: Mortvedt, J.L.; GIORDANO, P.M.&LINDSAY, W.L.(Eds) *Micronutrients in agriculture*.Madison: Soil Scienc Society of America, 1972. p.41-47.
- MADGWICK, H.A. I. Above-ground weight of forest plots - comparison of estimation. New Zeland Journal of Forestry Science, Rotorua, v.13, n.1, p.100-107, 1983.
- MARSCHNER , H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARSCHNER.H. Mineral nutrition in higher plants. Dordrecht: Academic Press/Harcourt Brace Jovanovich, 1986. 676p.
- MILLER, H.G. Forest fertilization: some guiding concepts. Forestry, Oxford, v.54, n.2, p.157-167, 1981.
- MITCHELL, C.P.; PROE, M.F.; MACBRAYNE , U.K. Biomass tables for young conifer stands in Britain. In: YOUNG, H.E.,ed. Kyoto biomass studies. Orono: University of Maine. School of Forest Resources. Complete Tree Institute, 1981. P.45-50.
- MORAES, E.P. Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, 1988. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- OLSEN, S.R. Micronutrient Interactions. In MORTUEDT, J.L. GIORDANO, P.M. &

- LINDSAY, W.L. (Eds.) Micronutrient in agriculture. Madson: Soil Science Society of America, 1972, p.243-264.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.de; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.C.dos S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. Floresta, Curitiba, v.15, n.1/2, p.8-16, 1984b.
- PEREIRA, A.R.; BARROS, N.F.; ANDRADE, D.C.; CAMPOS, P.T.A. Concentração e distribuição de nutrientes em *E. grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. Brasil Florestal, Brasília, n.59, p.27-37, 1984^a.
- PITMAN, M.G; MOWAT.J.; NAIR, H. Interactions of processes for accumulation of salt and sugar in barley plants. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, v.24, p.619-631, 1971.
- POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems, silvicultural implications. IPEF, Piracicaba, n.31, p.31-40, 1985.
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. do; SUITER FILHO, W. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. IPEF, Piracicaba, N.23, P.37-42, 1983.
- PRITCHETT, W.L. Site preparation and fertilization of slash pine on wet savana soil. Southern Journal of Applied Forestry, Washington, v.3. n. 3, p.86-90, 1979.
- QUADROS, R.M.B. de. Avaliação nutricional em plantios de *Eucalyptus grandis*, em diferentes solos, no Estado de São Paulo. Curitiba, 1996. Tese (Mestrado). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142 p.
- REISSMANN, C. B. Variação anual dos nutrientes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em função da época de amostragem. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1976. Tese Mestrado.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56p.
- SCHÖNAU, A .P.G.; BODEN, D.I. Preliminary biomass studies in young eucalypts. South African Forestry Journal, Pretoria, n.120, p.24-28, 1982.
- SCHÖNAU, A P.G.; HERBERT, M.A Relationship between growth rate and foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium for *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal, Pretoria, n.120, p.19-23, 1982.
- SCHÖNAU, A.P.G. Seasonal changes in foliar nutrient content of Eucalyptus grandis. South African Forestry Journal, Pretoria, n.119, p.1-4, 1981.
- SCOLFORO, J.R.; MELLO, J.M.de; ALMEIDA LIMA, C.S.de. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. Cerne, Lavras, v.1, n.1, p.123-134, 1994.
- SILVA, H.D. Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do genero Eucalyptus, plantados em solo de baixa fertilidade. Piracicaba, 1983. Tese (Mestrado). ESALQ, Universidade de São Paulo.
- SMITH, H. Applied regression analysis. 2 ed. New York: J.Wiley, 1981. p.307-311.

- SMITH, P. F. Mineral Analysis of plant tissue. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, v.13, p.81-108, 1962.
- SOARES, R.V.; HOSOKAWA, R.T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracatinga. Brasil Florestal: Boletim Técnico, Brasília, n.8, p.37-48, ago.1984.
- SOULTANPOUR, P.N. Effect of nitrogen, phosphorus and zinc placement on yield and composition of potatoes. Agron. J. Madison. v.61, n-2, 1969.
- SWITZER, G.L. and NELSON, L.E. (1972). Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.36, n.1, p.143-147, 1972.
The Botanical Review, New York, 1974, v.4, n.3, p.347-394, 1974.
- TISDALE, S.L. Soil fertility and fertilizers. 5th ed New York: Macmillan, 1993. p.634.
- TURNER, J.; LAMBERT, M.J. Nutrient cycling within a 27 year-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v.6, n.2, p.155-168, 1983.
- VALERI, S.V. Efeitos do fósforo e do cálcio no desenvolvimento de *E. grandis*. Jaboticabal, 1983. Tese (Mestrado) - UNESP.
- WESTERMARK, U. Calcium promoted phenolic coupling by superoxide radical - a possible lignification reaction in wood. Wood Science and Technology, New York, v.16,n.1, p.71-78.
- WILL, G.M. Increased phosphorus uptake by radiata pine in riverhead forest following superphosphate applications. New Zealand Journal of Forestry, Rotorua, v.10, n.1, p.33-42, 1965.

- WISE, P.K.; PITMAN, M.G. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. Australian Forestry, Canberra, v.44, n.3, p.142-152, 1981.
- WRITE, D.P., Variation in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pines needles with season, crown position and samples treatment. Proceedings of Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.18, n.3, p.326-330, 1954.
- ZEN, S.; POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *E. saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais. Piracicaba: IPEF, 1981. 7p. (IPEF.Circular Técnica, 136).
- ZÖTTL, H.W.; TSCHINKEL, H. Nutricion y fertilizacion forestal: una guia pratica. Medellin: Universidad Nacional de Colombia. Dep. Recursos Forestales, 1971.