**EFEITO DO POTÁSSIO NO CRESCIMENTO, NAS
CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES E NAS
CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA JUVENIL DE PROGÊNIES
DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden CULTIVADAS EM
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

RONALDO LUIZ VAZ DE ARRUDA SILVEIRA

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Fevereiro - 2000

ERRATA

- 1) No texto em vez de ler Stape et al. (1992), leia Stape (1992).
- 2) No texto em vez de ler Bellote et al. (1979), leia Bellote (1979).
- 3) Na página 1, em vez de ler ANFPC (1996), leia ANFPC (1995).
- 4) Na página 36, segunda linha: em vez de ler somente 5 ml de ácido perclórico, leia 5 ml de ácido perclórico 5%.
- 5) No item referência bibliográficas, incluir:
ANFPC – **A política de desenvolvimento do complexo celulose-papel: 1995-2005, sumário executivo**, São Paulo, 1995. 92p.
DELL, B. Copper nutrition of *Eucalyptus maculata* Hook. seedlings: requirements for growth, distribution of copper and the diagnosis of copper deficiency. **Plant and Soil**, v.16, n.2, p.181-187, 1994.
TURNBULL, C.R.A.; BEADLE, C.L.; WEST, P.W.; CROMER, R.N. Copper deficiency a probable cause of stem deformity in fertilised *Eucalyptus nitens*. **Canadian Journal of Forest Research**, V.24, n.7, p.1434-1439, 1994.
GONÇALVES, J.L.M. Recomendação de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, n.15, p.1-23, 1995.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Silveira, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda

Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva / Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira. - - Piracicaba, 2000.
169 p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Eucalipto 2. Madeira juvenil 3. Nutrição vegetal 4. Potássio 5. Progenie vegetal 6. Propriedade físico-química 7. Química do solo 8. Solução nutritiva I. Título

CDD 634.9734

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eurípedes Malavolta, pela orientação, paciência e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP) pela oportunidade da realização deste trabalho.

À FAPESP (Proc. 97/066626-4) pelos recursos financeiros fornecidos para realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) pela concessão da bolsa.

A Cleusa Pereira Cabral pelo auxílio e ensinamento nas análises químicas e amizade.

A Companhia Suzano de Papel e Celulose na pessoa do Eng. Shinitiro Oda e Eng. Eduardo José de Mello pelo fornecimento do material genético.

Aos amigos Alberto Laranjeiro, Edward Fagundes Branco, Klaus Barreto, Mônica Brito, Renata Evangelista, Rubens Louzada, Vanderlei Benedetti, Vítor Fessel e Zezé.

Aos mais que amigos e companheiros de trabalho Marco Antonio Camargo, Juliana Bouchardet, Fábio Sgarbi, Telúira Andrade, Caio Zanardo, Ricardo Cassamassimo, Prof. Antonio Natal Gonçalves e Prof. Hilton Thadeu Zarate do Couto.

Aos mais que amigos Dri, Fer, Pedro, Eliana, Mirian, Airton, Gláucia e Lúcia.

Aos parceiros de trabalho e acima de tudo, amigos Edson Namita Higashi e Adônis Moreira.

Aos colegas de pós graduação João Alberto, Reges e Ricardo pelo incentivo e amizade.

Ao professor Francides Gomes, Regina Buch e Udemilson Luis Cerebelli do Departamento de Ciências Florestais pelo auxílio na interpretação das análises de madeira.

Ao professor Fernando Broetto, professora Giuseppina Pace Pereira Lima e Vânia Aparecida de Oliveira do Departamento de Bioquímica da Unesp/Botucatu pelo auxílio nas análises de poliaminas e açúcares.

Ao professor José Raimundo Passos e a professora Lician Vaz de Arruda Silveira Chalita do Departamento de Bioestatística da Unesp/Botucatu pelo auxílio nas análises estatísticas.

A professora Siu Mui Tsai do CENA/USP pelo uso de liofilizador.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

OFEREÇO:

A meu grande pai “Ronaldão” em todos os sentidos, a minha querida mãe Luizoca, a minha irmã “Li”. Em especial a minha sempre e querida “Preta” (Má), sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos meus queridos sobrinhos
Letícia, Larissa, Bianca,
Vivian, Thalissa, Rafael e
Bruno pela felicidade
proporcionada.

DEDICO.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
SUMMARY	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Funções do potássio na planta.....	3
2.2 Sintomas de deficiência de potássio	5
2.3 Soluções nutritivas usadas no cultivo de <i>Eucalyptus</i>	5
2.4 Exigências nutricionais do <i>Eucalyptus</i> em relação ao potássio	7
2.4.1 Conteúdo e eficiência de utilização de potássio	7
2.4.2 Concentração de potássio e outros nutrientes nas partes da planta	11
2.4.3 Faixas adequadas e deficientes dos nutrientes.....	13
2.4.4 Interações entre potássio e outros nutrientes.....	16
2.5 Interações entre sulfato, cloreto e nitrato	17
2.6 Resposta do <i>Eucalyptus</i> à aplicação de potássio.....	17
2.7 Relação entre o potássio e a putrescina, espermidina, espermina.....	20
2.8 Efeitos da adubação e do estado nutricional sobre as características físicas, anatômicas e químicas da madeira	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Local	31
3.2 Escolha das progênes de <i>Eucalyptus grandis</i>	31
3.3 Obtenção e avaliação das mudas.....	31
3.4 Cultivo das plantas em solução nutritiva	32
3.5 Avaliações, colheita e preparo de material para a análise química	34
3.6 Análise química do tecido vegetal	35
3.7 Análise bioquímica das folhas	35
3.7.1 Poliaminas	35

3.7.1.1 Extração	36
3.7.1.2 Dansilação direta	36
3.7.1.3 Separação das poliaminas por cromatografia de camada delgada	36
3.7.1.4 Análise quantitativa de poliaminas separadas na cromatografia de camada delgada.....	37
3.7.2 Açúcares solúveis totais	37
3.8. Características da madeira	37
3.8.1 Análise química	37
3.8.2 Análise física	38
3.8.3 Análise anatômica.....	39
3.9 Delineamento estatístico.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Caracterização das mudas das progênies de <i>Eucalyptus grandis</i>	41
4.1.1 Produção de matéria seca	41
4.1.2 Concentração dos macro e micronutrientes.....	42
4.2 Sintomas visuais.....	45
4.2.1 Deficiência de potássio	45
4.2.2 Clorose das folhas na dose de 526,5 mg de K L ⁻¹	47
4.3 Desenvolvimento das plantas.....	48
4.3.1 Altura	48
4.3.2 Diâmetro.....	49
4.3.3 Produção de matéria seca	51
4.4 Estado nutricional das progênies de <i>Eucalyptus grandis</i>	59
4.4.1 Concentração dos macronutrientes em função das progênies	59
4.4.2 Efeito das doses de potássio sobre a concentração dos macronutrientes	64
4.4.3 Concentração dos micronutrientes em função das progênies.....	71
4.4.4 Efeito das doses de potássio sobre a concentração dos micronutrientes	73
4.4.5 Relação entre a concentração de potássio nos tecidos vegetais e a produção de matéria seca lenhosa e total.....	75

4.4.6 Relação entre N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e a produção de matéria seca lenhosa.....	83
4.5 Acúmulo de nutrientes nas progênies de <i>Eucalyptus grandis</i>	89
4.5.1 Acúmulo dos macronutrientes em função das progênies.....	89
4.5.2 Acúmulo dos macronutrientes em função das doses de potássio	92
4.5.3 Acúmulo dos micronutrientes em função das progênies.....	94
4.5.4 Acúmulo dos micronutrientes em função das doses de potássio.....	96
4.6 Eficiência de utilização de K pelas progênies de <i>Eucalyptus grandis</i>	98
4.6.1 Produção de matéria seca total e lenhosa.....	98
4.6.2 Produção de holocelulose.....	100
4.7 Putrescina e poliaminas	102
4.8 Açúcares solúveis totais.....	108
4.9 Qualidade da madeira.....	110
4.9.1 Densidade básica.....	110
4.9.1.1 Efeito das progênies e das doses de potássio	110
4.9.1.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho	115
4.9.1.3 Efeito das relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho.....	117
4.9.2 Parâmetros anatômicos.....	118
4.9.2.1 Comprimento e largura das fibras	118
4.9.2.1.1 Efeito das progênies e das doses de potássio.....	118
4.9.2.1.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho.....	121
4.9.2.1.3 Efeito das relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho.....	123
4.9.2.2 Diâmetro do lume, espessura e fração parede.....	127
4.9.2.2.1 Efeito das progênies e das doses de potássio.....	127
4.9.2.2.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho.....	131

**EFEITO DO POTÁSSIO NO CRESCIMENTO, NAS
CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES E NAS
CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA JUVENIL DE PROGÊNIES
DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden CULTIVADAS EM
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Autor: Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

RESUMO

O estudo teve por objetivo determinar os efeitos do potássio sobre o crescimento, concentração dos nutrientes, açúcares solúveis totais, diamina putrescina e as poliaminas espermina e espermidina e as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de quatro progênies de *Eucalyptus grandis*, bem como avaliar os genótipos quanto a eficiência de utilização de potássio.

As plantas foram cultivadas até 67 dias após o transplante em solução nutritiva contendo 175,5 mg de K L⁻¹. A partir dessa idade, iniciou-se o cultivo das progênies em quatro doses de potássio (0, 58,5, 175,5 e 526,5 mg L⁻¹). As soluções nutritivas foram trocadas quinzenalmente. As plantas foram mensuradas mensalmente em altura e diâmetro. Aos 9 meses de cultivo nas doses de potássio, fez-se uma amostragem das folhas diagnóstico (5ª e 6ª folha a partir do ápice dos ramos) para a determinação da concentração de açúcares solúveis totais, putrescina, espermidina e espermina. Passado dez meses de cultivo nas doses de potássio, as plantas foram colhidas e separadas em folhas novas, folhas diagnóstico, folhas velhas, ramos, casca e lenho. Posteriormente, cada parte da planta foi colocada em saco de papel identificado e levada para secagem em estufa até atingir peso constante. Após a moagem foram determinadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn e Zn.

Nas amostras do lenho foram realizadas análises anatômicas para a quantificação do comprimento, largura, diâmetro do lume, espessura e fração parede das fibras. Análises químicas foram feitas para determinar a concentração de holocelulose, extrativos e lignina. Determinou-se também a densidade básica do lenho em três posições do caule (ápice, meio e base).

Nas condições experimentais as principais conclusões foram que para a produção de lenho, os materiais genéticos de *E. grandis* responderam de maneira diferenciada a aplicação de potássio, sendo as progênies 2 e 3 consideradas responsivas e as progênies 1 e 4 não responsivas. A faixa adequada de K nas folhas usadas para diagnose variou em função do material genético analisado. As progênies apresentaram respostas diferenciadas quanto a utilização de potássio para a produção de lenho e holocelulose. A progênie 2 foi considerada a menos eficiente. A deficiência de K acarretou num acúmulo tóxico de putrescina nas folhas diagnóstico de todas as progênies. Nas progênies 1 e 3, o aumento da dose de K na solução proporcionou decréscimos na concentração de açúcares nas folhas diagnóstico. As progênies tiveram comportamentos diferenciados para a densidade básica do lenho conforme variou-se a dose de potássio na solução nutritiva. As maiores doses de potássio na solução proporcionaram aumento no comprimento e na largura das fibras dos genótipos, com exceção da progênie 1. Na mesma progênie, houve decréscimo na espessura da parede com o aumento da dose de potássio. Nas progênies 2 e 3, as doses de potássio na solução nutritiva causaram aumento do diâmetro do lume das fibras. Houve redução da fração parede das fibras das progênies 1, 2 e 3 com o aumento da dose de potássio. A adição de potássio aumentou a concentração de holocelulose nas progênies 1 e 2. As progênies tiveram comportamentos distintos para a quantidade de holocelulose em função da dose de K na solução nutritiva, sendo a progênie 3 considerada mais responsiva.

EFFECT OF POTASSIUM ON GROWTH, CONCENTRATION OF NUTRIENTS AND ON THE CHARACTERISTICS OF THE JUVENILE WOOD OF *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden PROGENIES GROWN IN NUTRITIVE SOLUTION

Author: Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira

Adviser: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effects of potassium on growth, concentration of nutrients, total soluble sugars, diamine putrescine and polyamines spermine and spermidine, and physical, chemical and anatomical characteristics of the wood from four *Eucalyptus grandis* progenies. The efficiency of K use was also estimated.

The plants were grown during 67 days after the transplanting in nutritious solution with 175,5 mg K L⁻¹. From then on the plants were given four K doses (0; 58.5; 175.5 and 526.5 mg L⁻¹). The nutritious solutions were changed fortnightly. Height and diameter were measured monthly. After nine months of plants growth on different K doses diagnostic leaves were sampled (5th and 6th leaf starting from the apex of the branches) to determine the concentration of total soluble sugars, putrescine, spermidine and spermine. After ten months of plants growth on different K doses, the plants were harvested and split into new leaves, diagnostic leaves, old leaves, branches, bark and log. Each part of the plant was placed in identified paper packs and dried until constant weight. After grinding of the dry matter the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn and Zn were determined.

Samples of the log were used for accomplished anatomical analyses to quantify the length, width, the diameter of the lumen, thickness and fiber's wall fraction. Chemical analyses were made to determine the holocellulose concentration, extractive and lignin. Basic density of the log in three positions of the stem (apex, half and base) was also determined.

It was conclude under the experimental conditions that the genetic material of *E. grandis* responded differently in log production due to the K application. The progenies one and four were not responsive and progeny two and three were responsive in function of the increasing in K doses. The adequate level of K concentration in the leaves used for diagnosis varied in function of the genetic material. The progenies also presented differentiated behavior as to the K use for cellulose production. The progeny two was considered the least efficient. The deficiency of K did to accumulation of putrescine in the leaves of all progenies. In the progenies one and three, the increase of K doses in the substrate caused decrease in the concentration of sugars in the leaves used for diagnosis. The progenies showed different behavior for the log basic density in function of K doses variation in the nutrition solution. The largest K doses caused increase on the length of width and fibers of the genotypes, except the progeny one. In the same progeny, wall thickness decreased with the increase of K doses. In the progenies two and three, the K doses in the nutritious solution caused increase of the lumen diameter of the fibers. The fiber's wall fraction was reduced for progenies one, two and three with the increase of K doses in the nutritious solution. K addition increased the holocellulose concentration in the progenies one and two. The progenies showed different behaviors for the holocellulose in function of the K dose in the nutritious solution, progeny three being the more responsive in holocelullose production.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, da família da Myrtaceae, é originário da Austrália e Indonésia, de onde foi introduzido no Brasil devido ao seu alto potencial produtivo em madeira. Com isso, a indústria de base florestal representada pelos importantes setores de papel e celulose, carvão para siderurgia, aglomerados, painéis, postes e dormentes, tem os reflorestamentos com eucalipto como principal fonte de matéria prima.

Pelas estimativas da Associação Nacional de Fabricantes de Papel e Celulose, o Brasil produz 5.700.000 t de celulose ano⁻¹, com cerca de 53% dessa produção destinada ao mercado externo (ANFPC, 1996). Já em relação a madeira sólida para painéis/aglomerados/laminados e serraria, a produção brasileira é de aproximadamente 650.000 e 2.000.000 m³ ano⁻¹, respectivamente. A área reflorestada que abastece esses setores mais os de postes, dormentes e outros produtos é de 4.800.000 ha, sendo que 62% dessa área é representada pelo gênero *Eucalyptus*. A cultura do eucalipto ocupa 2.970.000 ha, sendo que 51% e 19% dessa área está concentrada nos estados de Minas Gerais e São Paulo, respectivamente. Segundo previsões da ANFPC (1996) haverá aumento do consumo de produtos florestais brasileiros na ordem de 250% no ano de 2010, sendo com isso necessário aumentar a produção florestal brasileira. Vários caminhos podem ser adotados para aumentar a produção florestal brasileira como: aumento de rendimento dos processos fabris, da área reflorestada, da produtividade das florestas através da seleção de materiais genéticos mais adaptados e produtivos, de técnicas mais apropriadas de manejo como adubação, controle de plantas daninhas, preparo de solo e outras.

Neste contexto, a adubação constitui numa das principais práticas para o aumento da produtividade da cultura do *Eucalyptus*, devido a maioria dos plantios estarem localizados em solos arenosos de baixa fertilidade (Tokeshi et al., 1976; Barros et al., 1981 e 1992; Valeri et al., 1983 e 1991; Stape & Zani Filho, 1990; Stape et al., 1992; Fonseca et al., 1993; Galo, 1993 e Gava, 1996).

Um dos elementos que mais tem limitado a produtividade do *Eucalyptus* no Brasil é o potássio. Levantamentos nutricionais realizados na região de Itatinga/SP, Capão Bonito/SP e Lençóis Paulista/SP mostraram que independentemente do material genético, todas as florestas avaliadas apresentavam deficiência de K (Silveira et al., 1998 e 1999). Considerando que essas regiões são caracterizadas por extensos plantios de *Eucalyptus* spp, com área superior a 250.000 ha, sendo a maior parte constituída por solos arenosos álicos, onde a produtividade é baixa, torna-se necessário a seleção de genótipos que sejam mais eficientes na absorção e utilização de nutrientes, especialmente potássio.

As hipóteses do trabalho foram: o potássio altera as características físicas, químicas e anatômicas da madeira; as progênies respondem de forma diferenciada a aplicação desse nutriente influenciando o nível de poliamina e açúcares solúveis totais nas folhas; as progênies diferem em relação a eficiência de utilização de potássio; existe diferença entre os materiais genéticos para a concentração de poliaminas, açúcares solúveis totais e parâmetros físicos, químicos e anatômicos da madeira.

Os objetivos do presente estudo foram: determinar os efeitos do potássio e de genótipos de *E. grandis* sobre o crescimento, na concentração de açúcares solúveis totais, poliaminas e nas características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *E. grandis* e avaliar as progênies quanto a eficiência de utilização de potássio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Funções do potássio na planta

O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico, não desempenhando função estrutural na planta. Este macronutriente atua na ativação de aproximadamente 50 enzimas, destacando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases (Mengel & Kirkby, 1978; Marschner, 1995 e Malavolta et al., 1997). O potássio está ainda envolvido na síntese de proteínas, plantas com baixos teores de potássio apresentam redução na síntese, com acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas e nitratos.

O potássio atua no controle osmótico das células. Plantas deficientes em potássio apresentam menor turgor da célula, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular (Mengel & Kirkby, 1978 e Malavolta et al., 1997). Outro efeito atribuído ao K é que plantas bem nutridas são mais resistentes a secas e geadas, em razão da maior retenção de água.

O potássio está envolvido também nos mecanismos de defesa das plantas a pragas e doenças. As plantas bem nutridas em potássio apresentam redução na incidência, severidade e danos causados por insetos e fungos. A explicação seria que altas concentrações de K nos tecidos favorecem a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos, os quais atuam como inibidores de insetos e fungos (Huber & Amy, 1985, Perrenoud, 1990). Outra explicação seria que plantas deficientes apresentam tecidos menos enrijecidos, como consequência da menor espessura da cutícula e da parede celular, menor formação de tecidos esclerenquimatosos, menor lignificação e suberização (Ellet, 1973; Perrenoud, 1990). Além disso, na deficiência de potássio ocorre menor síntese de compostos de alto peso molecular (proteína, amido e celulose),

favorecendo o acúmulo de compostos de baixo peso molecular (açúcares solúveis, aminoácidos e N solúvel) como resultado do aumento da atividade de enzimas decompositoras (amilase, sacarase, glucosidase e protease). O acúmulo desses compostos altera o equilíbrio osmótico das células e sua concentração é aumentada nos exsudados liberados pelas plantas, favorecendo o desenvolvimento de pragas e doenças.

As plantas bem nutridas em potássio apresentam maior síntese de material para a formação da parede celular. Frequentemente, as paredes são mais espessas devido a maior deposição de celulose e compostos relativos, promovendo maior estabilidade e um aumento da resistência das plantas ao acamamento e as infestações de doenças e pragas (Pretty, 1982; Beringer & Nothdurft, 1985).

O potássio está envolvido na fotossíntese. Na carência de K, verifica-se redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar, e também maiores taxas de respiração. A combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (Pretty, 1982). Um suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO₂ nos cloroplastos, diminuindo consequentemente a taxa fotossintética.

O potássio atua no metabolismo (ativação da sintetase do amido, sintetase fosfato sacarose e outras enzimas) e transporte de carboidratos (Mengel & Kirkby, 1978; Malavolta, 1980; Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997). Normalmente, plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares hexoses e decréscimo de carboidratos de maior cadeia como amido e sacarose nas folhas (Evans & Sorger, 1966 citado por Huber, 1985), como consequência da menor atividade da sintetase fosfato sacarose. Segundo Marschner (1995), existe relação inversa entre a concentração de potássio e o conteúdo de açúcares nos tecidos.

O potássio assume papel importante no transporte da sacarose e dos fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento. Durante este caminho, os produtos assimilados passam por três sistemas: a) difusão no simplasto e espaço livre; b) transporte ativo através da membrana citoplasmática para o floema; c) fluxo passivo pelos tubos crivosos. O potássio influencia os três processos, em particular os dois últimos (Header, 1977 citado por Malavolta & Crocomo, 1982). Em relação ao último

processo, Marschner (1995) relata que a função do potássio é manter o pH alto nos tubos crivosos, facilitando assim o transporte da sacarose. Portanto, um suprimento adequado de potássio aumenta a síntese de carboidratos em razão da maior taxa fotossintética, bem como, a eficiência de translocação desses compostos.

2.2 Sintomas de deficiência de potássio

O potássio tem alta redistribuição nos tecidos, portanto, os sintomas de carência surgem nas folhas mais velhas (Malavolta et al., 1997). No estágio inicial da deficiência, aparecem manchas cloróticas, nos espaços entre as nervuras e espalhadas irregularmente por toda a superfície foliar. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (Will, 1961; Kaul et al., 1966, 1968, 1970a e 1970b; Rocha Filho et al., 1978; Dell et al., 1995; Silveira et al., 1996 e 1999). No estágio mais avançado, a presença de clorose e necrose ocorrem até nas folhas mais jovens, enquanto que as folhas velhas enrolam e secam (Figura 1A). As plantas também podem apresentar aumento das brotações laterais com a paralização do desenvolvimento vegetativo conforme verificado por Kaul et al. (1966) e Rocha Filho et al. (1978).

A Figura 1A-E, mostra os sintomas de deficiência de potássio em algumas espécies de *Eucalyptus*.

2.3 Soluções nutritivas usadas no cultivo de *Eucalyptus*

Os estudos visando determinar as doses adequadas de macro e micronutrientes em solução nutritiva para o crescimento do *Eucalyptus* são raros, normalmente os experimentos nessa condição tem utilizado a solução de Hoagland & Arnon (1950). No entanto, Cromer et al. (1984) estudaram o efeito de diferentes proporções da solução de Hoagland & Arnon/água destilada (1:4999; 1:499, 1:49, 1:4 e 1:0) no crescimento de *E. delegatensis*, *E. maculata* e *E. brockwayi*. Observaram que para *E. delegatensis* não houve diferença entre as proporções de 1:4 e 1:0, o contrário foi

verificado para *E. maculata* e *E. brockwayi*, os quais apresentaram maior produção de matéria seca quando as plantas foram cultivadas na solução com proporção de 1:0.

Figura 1. Sintomas de deficiência de potássio em espécies de *Eucalyptus*. A – Folhas de *E. pilularis* com clorose e necrose nas margens; B – Folhas de *E. urophylla* com clorose e avermelhamento marginal comparadas com folhas sem sintomas; C – Folhas de *E. grandis* com avermelhamento marginal; D - Progressão dos sintomas foliares em *E. urophylla* conforme posição das folhas nos ramos, E – Folhas de *E. citriodora* com avermelhamento e necrose marginal. A e E - fotografias tiradas no arboreto da Faculdade de Agronomia da Unesp, Botucatu (Silveira et al., 1999).

2.4 Exigências nutricionais do *Eucalyptus* em relação a potássio

2.4.1 Conteúdo e eficiência de utilização de potássio

Os plantios de *Eucalyptus* concentram-se normalmente em solos de baixa fertilidade (Tabela 1). A quantidade de potássio disponível nos primeiros 20 cm (31 kg ha⁻¹) da maioria dos solos florestais é insuficiente para atender uma demanda média de K pelo *Eucalyptus* com idade aproximadamente de 8 anos (261 kg ha⁻¹), conforme mostra a Tabela 3. Além disso, a eficiência da adubação potássica nesses solos é baixa, uma vez que apresentam significativa lixiviação, em razão de serem altamente intemperizados e de textura arenosa, com baixa CTC.

Tabela 1. Características químicas de alguns solos florestais na profundidade de 0-20 cm, no Estado de São Paulo.

Solo	Local	pH	MO	P	K	Ca	Mg	CTC	V	K/CTC	K
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%		kg ha ⁻¹
AQ ¹	Itatinga	3,7	12	9	0,5	3	1,5	37	13	1,3	39
AQ ¹	Lençóis Paulista	3,8	14	4	0,4	4	1,0	34	15	1,2	31
AQ ¹	Bofete	3,6	17	3	0,2	2	1,0	45	7	0,4	16
LVE álico ²	Lençóis Paulista	3,9	21	4	0,4	1	1,0	-	-	-	31
LR álico ³	Capão Bonito	3,8	38	4	0,3	2	1,0	101	3	0,3	23
LVA ⁴	Itatinga	3,4	19	5	0,6	3	2,0	70	9	0,9	47
Média		3,7	20	5	0,4	2,5	1,2	57	9,4	0,8	31

1 – areia quartzosa com teor de areia variando de 93 a 98 %; 2 – Latossolo vermelho escuro; 3 – Latossolo roxo; 4 – Latossolo vermelho amarelo.

Fonte: Silveira et al., 1995c.

A Tabela 2 mostra o conteúdo de potássio, a produção de matéria seca total e a eficiência de utilização de potássio em mudas de *E. grandis*. Em relação a eficiência nutricional, nota-se que Camargo (1997) encontrou diferença significativa entre os clones de *E. grandis*, sendo que o mais eficiente apresentou uma conversão de 114,7 mg de MS para cada mg de K, enquanto o menos eficiente, 87,7 mg de MS por mg de K.

Tabela 2. Produção de matéria seca total, conteúdo e eficiência de utilização de potássio em mudas de *Eucalyptus grandis*.

<i>E. grandis</i>	Idade (dias)	Local	K na planta				MST ¹	EKT ²	Referência
			mg/planta				g/planta	mg MST	
								mg ⁻¹ de K	
			Folhas	Caule	Raízes	Total			
Clone - Procedência Chisengu ³	62	casa-de- vegetação	88,1 (56) ⁴	30,9 (19)	39,4 (25)	158,4	11,4	72,0	Souza (1994)
Clone - Procedência Mechece ³	62	casa-de- vegetação	92,9 (54)	38,2 (22)	41,6 (24)	172,7	13,7	79,3	Souza (1994)
Clone - Procedência Penhalonga ³	62	casa-de- vegetação	94,9 (49)	46,9 (24)	52,6 (27)	194,4	14,7	75,6	Souza (1994)
Clone - Procedência Tilbury ³	62	casa-de- vegetação	109,1 (60)	39,6 (22)	33,7 (18)	182,4	13,9	76,2	Souza (1994)
Semente Procedência Bofete	97	viveiro	7,0 (47)	5,0 (33)	3,0 (20)	15,0	2,1	140,0	Silveira et al. (1995a)
Clone A7	90	viveiro	3,4 (45)	2,9 (39)	1,2 (16)	7,5	0,86	114,7	Camargo (1997)
Clone C4	90	viveiro	3,7 (38)	4,3 (44)	1,7 (18)	9,7	0,88	90,7	Camargo (1997)
Clone D19	90	viveiro	4,1 (42)	4,1 (42)	1,6 (16)	9,8	0,86	87,7	Camargo (1997)
Clone F40	90	viveiro	3,7 (52)	2,5 (35)	0,9 (13)	7,1	0,66	92,9	Camargo (1997)

1 – matéria seca total; 2 – eficiência de utilização de potássio; 3 – média de vários clones; 4 – percentual em relação ao conteúdo total de potássio.

Vários trabalhos mostram o conteúdo de potássio nas diferentes partes das plantas de várias espécies de *Eucalyptus* (Tabela 3). Nota-se uma grande variação do conteúdo em função da espécie, idade, fertilidade do solo, produtividade e local. Os valores médios mostraram que cerca de 24% do conteúdo total encontra-se nas folhas, 16% nos ramos, 20% na casca e 40% na madeira.

A eficiência de utilização de nutrientes é o quociente entre a matéria seca e o conteúdo de determinado nutriente na planta. Este índice é resultado da evolução das espécies frente a ambientes distintos. Barros et al. (1985) verificaram que não existe

necessariamente uma relação direta entre a produção de biomassa e a eficiência de utilização dos nutrientes

Cada material genético tem habilidade diferenciada de uso de um ou de outro nutriente absorvido. Além disso, considerando a vasta diversidade ambiental encontrada na região de origem das espécies de *Eucalyptus* (Barros et al., 1990), espera-se que ocorra grande diferenciação quanto a eficiência de absorção e utilização dos nutrientes pelos materiais genéticos de *Eucalyptus*. Neste sentido, Souza (1994) constatou diferença significativas entre 15 clones de *E. grandis* plantados na região de Quartel Geral/MG, sendo que as variações foram de 541 a 937 kg de MS de tronco produzida para cada kg de K absorvido. Teixeira et al. (1989) também constataram maior eficiência do *E. saligna* em relação ao *E. citriodora* para o uso do potássio, ou seja, 1715 kg de madeira para cada kg de K contra 1072 kg de madeira produzida para cada kg de K, respectivamente. Notaram ainda que o *E. saligna* foi muito mais eficiente na utilização de Ca e Mg (2575 kg de madeira para cada kg de Ca absorvido e 7500 kg de madeira para cada kg de Mg absorvido) para a produção de madeira quando comparado ao *E. citriodora* (478 kg de madeira para cada kg de Ca absorvido e 3374 kg de madeira para cada kg de Mg absorvido).

Leite et al. (1998) observaram que *E. grandis* com 31 meses de idade, na região de Santa Bárbara/MG, apresentava uma produção de 552 kg de MS de tronco para cada kg de potássio contido na planta. Para idades mais avançadas (9 anos), Pereira et al. (1984) encontraram valores de eficiência de utilização de K mais altos que os obtidos por Leite et al. (1998), 1667 kg de tronco para cada kg de K em *E. saligna* e 1005 kg de tronco para cada kg de K em *E. citriodora*. Resultados similares foram verificados por Galo (1993), sendo que o valor para a eficiência de utilização de potássio para *E. grandis* aos 78 meses de idade, na região de Itamarandiba/MG, foi de 1300 kg de tronco para cada kg de K absorvido.

Tabela 3. Produtividade de florestas de *Eucalyptus* e o conteúdo de potássio.

Espécie	Idade (anos)	Local	K na planta						Produtividade		Fonte
			Folhas	Ramos	Caule			Total	MS	Volume	
					Casca	Madeira	C + M				
<i>E. grandis</i>	6	Carbonita/MG	7 (22)*	4 (12)	10 (31)	11 (34)	21 (66)	32	33	-	Reis et al. (1987)
<i>E. grandis</i>	6	Bom	35 (19)	38 (20)	66 (35)	51 (27)	117 (61)	190	85	-	Reis et al. (1987)
<i>E. grandis</i>	6	Mogi	28 (11)	23 (9)	-	-	194 (79)	245	249	-	Belotte et al. (1979)
<i>E. grandis</i>	20	Austrália	108 (19)	103 (28)	92 (16)	271 (47)	363 (63)	574	-	-	Judd (1996)
<i>E. fastigata</i>	4	Nova	96 (39)	48 (19)	26 (11)	77 (31)	103 (42)	246	62	-	Madgwick et al. (1981)
<i>E. nitens</i>	4	Nova	82 (27)	53 (17)	52 (17)	120 (39)	172 (56)	306	82	-	Madgwick et al. (1981)
<i>E. saligna</i>	8	Austrália	54 (18)	50 (16)	62 (20)	137 (45)	199 (66)	303	130	211	Frederick et al. (1985)
<i>E. saligna</i>	9	Curvelo/MG	28 (20)	23 (16)	29 (21)	61 (43)	90 (64)	141	-	289	Pereira et al. (1984)
<i>E.citriodora</i>	9	Curvelo/MG	141 (42)	25 (7)	78 (23)	102 (27)	165 (51)	335	-	195	Pereira et al. (1994)
Média	8		64 (24)	41 (16)	52 (20)	104 (40)	156 (60)	261		-	-

* - entre parênteses estão os valores percentuais em relação ao total.

Silva et al. (1983) estudando a eficiência de utilização de K em 5 espécies de *Eucalyptus*, verificaram que o *E. grandis* foi a espécie mais eficiente, seguida em ordem decrescente pelo *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. propinqua* e *E. robusta*. Poggiani et al. (1984) também verificaram que o *E. grandis* era menos exigente e o mais eficiente no uso de nutrientes quando comparado com *E. saligna* e *E. urophylla*.

Morais et al. (1990) encontraram variações na produção de MS e na extração de nutrientes pelo *E. grandis* com oito anos de idade em duas regiões bioclimáticas estudadas. Verificaram que na região de Viçosa/MG houve maior produção de MS, bem como, a extração de nutrientes quando comparada a região de Paraopeba/MG, isto ocorreu devido as condições edafoclimáticas de Viçosa assemelharem-se mais as do

local de origem dessa espécie, ou seja, maior disponibilidade de água e nutrientes quando comparadas as de Paraopeba. As extrações totais de nutrientes em kg ha^{-1} para Viçosa e Paraopeba foram, respectivamente: 1.313 de N e 458 de N; 56 de P e 30 de P; 753 de K e 208 de K; 775 de Ca e 309 de Ca; 344 de Mg e 81 de Mg. Nota-se que o potássio foi o terceiro nutriente em quantidade extraída, ficando abaixo do nitrogênio e do cálcio. Resultados semelhantes foram obtidos por Bellote (1979) para *E. grandis* aos 6 anos de idade, na região de Mogi Guaçu/SP, verificando que o K foi também o terceiro nutriente em quantidade extraída. A quantidade de nutriente em kg ha^{-1} contida na parte aérea foi de 473 de N, 32 de P, 245 de K, 555 de Ca, 126 de Mg e 159 de S. Neste estudo, a quantidade percentual de N, P, K, Ca, Mg e S presentes no caule (lenho + casca) em relação ao total foi de 73, 73, 79, 72, 84 e 86, respectivamente. Em outro estudo, nas regiões de Carbonita e Bom Despacho, a extração de potássio pelo *E. grandis* foi inferior somente a de nitrogênio. Para a região mais produtiva (Bom Despacho), a quantidade de N, P, K, Ca e Mg alocada na parte aérea em kg ha^{-1} foi de 323, 24, 190, 150 e 44, respectivamente. A percentagem dos nutrientes presentes na madeira em relação ao total foi de: 46 para N; 27 para P; 26 para K; 19 para Ca e 25 para Mg (Reis et al., 1987).

Um dos poucos trabalhos em relação a quantidade extraída de micronutrientes pelo *E. grandis* foi realizado por Bellote (1979). Este autor verificou que a quantidade contida na parte aérea e no caule em kg ha^{-1} foi de: 1,5 de B, 1,3 de B; 0,9 de Cu, 0,8 de Cu; 5,4 de Fe, 3,9 de Fe, 18,9 de Mn, 15,3 de Mn; 0,5 de Zn e 0,4 kg de Zn, respectivamente.

2.4.2 Concentração de potássio e outros nutrientes nas partes da planta

Haag et al. (1976) estudaram a composição mineral das folhas de 5 espécies de *Eucalyptus* na condição de campo, e encontraram diferenças na concentração dos nutrientes, principalmente, para os macronutrientes. De maneira geral, as maiores concentrações foram observadas no *E. grandis* quando comparada com as outras espécies. Em relação ao potássio, houveram variações significativas, as quais obedeceram a seguinte ordem decrescente de concentração nas folhas: *E. grandis* (21,2 g

$\text{kg}^{-1}) > E. saligna (17,7 \text{ g kg}^{-1}) > E. robusta (15,1 \text{ g kg}^{-1}) = E. microcorys (14,6 \text{ g kg}^{-1}) = E. resinifera (14,1 \text{ g kg}^{-1})$. Porém, no estudo realizado por Silva et al. (1983), não houve efeito significativo das espécies de *Eucalyptus* sobre as concentrações foliares de potássio. As concentrações de potássio encontradas nas diversas espécies foram inferiores as obtidas por Haag et al. (1976). As concentrações de potássio em g kg^{-1} foram de 8,38, 8,34, 8,32, 8,29 e 7,4 para *E. robusta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua* e *E. dunnii*, respectivamente. Ao contrário das folhas, verificaram-se diferenças entre os materiais genéticos para a concentração de potássio nos ramos, casca e lenho. Nos ramos, as concentrações variaram de $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ (*E. robusta*) a $3,2 \text{ g kg}^{-1}$ (*E. propinqua*), enquanto que na casca e lenho, $4,1 \text{ g kg}^{-1}$ (*E. dunnii*) a $2,2 \text{ g kg}^{-1}$ (*E. propinqua*) e $1,3 \text{ g kg}^{-1}$ (*E. propinqua*) a $0,6 \text{ g kg}^{-1}$ (*E. grandis*), respectivamente. Ao comparar as espécies em relação a concentração de potássio, observaram que o *E. propinqua* apresentava maior concentração nos ramos e no lenho e menor na casca em relação as demais espécies.

Judd (1996) relata as concentrações médias de N, P, K, Ca e Mg em g kg^{-1} nas partes da planta de espécies de *Eucalyptus* pertencentes ao sub-gênero *Symphyomyrtus*. Para o N, 17,5 nas folhas, 4,0 nos ramos, 3,5 na casca e 1,2 no lenho; para o P, 1,2 nas folhas, 0,4 nos ramos e na casca e 0,05 no lenho; para o K, 7,0 nas folhas, 3,5 nos ramos, 3,2 na casca e 1,2 no lenho; para o Ca, 7,0 nas folhas, 7,5 nos ramos, 24,0 na casca, 1,0 no lenho; para o Mg, 3,0 nas folhas, 1,5 nos ramos, 1,9 na casca e 0,3 no lenho. Leite et al. (1998) encontraram as seguintes concentrações de N, P, K, Ca e Mg em g kg^{-1} nos órgãos de *E. grandis* com 31 meses de idade: para o N, 19,2 nas folhas, 2,4 na casca, 3,4 nos ramos e 0,7 no lenho; para o P, 1,1 nas folhas, 0,3 nos ramos, 0,4 na casca, 0,1 no lenho; para o K, 7,5 nas folhas, 2,5 nos ramos, 5,8 na casca e 1,4 no lenho; para o Ca, 4,4 nas folhas, 3,0 nos ramos, 8,6 na casca e 0,7 no lenho; para o Mg, 1,9 nas folhas, 0,4 nos ramos, 1,6 na casca e 0,2 no lenho.

Kaul et al. (1968) verificaram em *E. grandis* com aproximadamente 8 meses de idade, concentrações de potássio nas folhas de $8,0$ e $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ quando cultivado na presença e ausência de K na solução nutritiva. Em estudo similar, com *E. globulus*, os valores foram de $10,5$ e $4,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Kaul et al., 1970a).

2.4.3 Faixas adequadas e deficientes dos nutrientes

Malavolta et al. (1997) citam os teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) associados a altas produtividades de *E. grandis*: N = 21 a 23; P = 1,3 a 1,4; K = 9 a 10; Ca = 5 a 6; Mg = 2,5 a 3; S = 1,5 a 2,5; B = 25 a 30; Cu = 7 a 10; Fe = 100 a 140; Mn = 300 a 400 e Zn = 12 a 17.

As faixas adequadas e deficientes dos macro e micronutrientes nas folhas de *Eucalyptus* de acordo com vários autores são apresentadas na Tabela 4.

A Tabela 5 apresenta a faixa deficiente e adequada de potássio nas folhas de várias espécies de *Eucalyptus* no estágio adulto e juvenil. Nota-se que existe grande variação na concentração adequada de potássio em função do material genético. Por exemplo, para o *E. grandis* na fase juvenil, segundo Novais et al. (1980), a faixa adequada estava compreendida entre 3,3 e 8,1 g de K kg^{-1} , enquanto que para *E. urophylla*, de 15 a 18 g de K kg^{-1} conforme Dell et al. (1995).

Bellote (1990) encontrou em *E. grandis* cultivado no cerrado de São Paulo, correlações significativas entre potássio no solo e nas folhas e entre estes e a altura das plantas. Silveira et al. (1999) também verificaram relação linear entre a concentração foliar de K e o volume de madeira para *E. grandis* com 2 anos de idade, na região de Capão Bonito/SP.

Bellotte & Ferreira (1993) realizaram levantamento do estado nutricional e da fertilidade do solo em plantios de *E. grandis* aos 3 anos de idade, em 5 locais do estado de São Paulo (Mogi-Guaçu, Casa Branca, Itirapina, Itatinga e Angatuba) e constatarem correlações positivas entre o teor de K e Mg nas folhas com a altura das plantas. Consideraram ainda que árvores com concentrações de 2,6 a 3,2 g de Mg kg^{-1} e maior ou igual a 7,5 g de K kg^{-1} , estavam adequadamente nutridas desses elementos. Silveira et al. (1995d) também constatarem que o potássio juntamente com o boro foram os nutrientes mais limitantes ao crescimento de *E. grandis* na região de Itatinga/SP.

Herbert (1996) encontrou que a relação foliar N/K e K/P nas folhas considerada ótima para o crescimento do *E. grandis* foi de 3,5 e 5, respectivamente. Silveira et al. (1999) também citam que as maiores produtividades de *E. grandis* (75 a

95 st ha⁻¹ ano⁻¹), com 2 anos de idade, na região de Lençóis Paulista/SP, estavam associadas a razões foliares de K/Ca na faixa de 1,3 a 1,8, sendo que para relações menores que 1,0, ocorriam quedas significativas na produtividade.

Tabela 4. Interpretação dos dados de análise de folhas para o *Eucalyptus*.

Elementos	Faixa adequada				Faixa deficiente		
	Boardman	Dell	Gonçalves	Silveira	Malavolta	Boardman	Silveira
	et al. (1997) ¹	et al. (1995) ¹	(1995) ²	et al. (1999) ¹	(1987) ²	et al. (1997) ³	et al. (1999) ¹
g kg ⁻¹							
N	16-29	18 - 34	13,5 - 18	22 - 27	8 - 13	< 15	< 16
P	1-3	1,0 - 2,2	0,9 - 1,3	1,7 - 2,2	0,4 - 0,8	< 0,7	< 1,1
K	6-18	9 - 18	9 - 13	8,5 - 9,0	6 - 8	< 5	< 7,0
Ca	2-4	3 - 6	6 - 10	7,1 - 11	2 - 4	< 1	< 5,5
Mg	1-3	1,1 - 2,1	3,5 - 5	2,5 - 2,8	1,5 - 2,0	< 0,6	< 2,1
S	1,5-2,0	1,5 - 2,3	1,5 - 2	1,5 - 2,1	0,8 - 1,2	< 1	< 1,3
mg kg ⁻¹							
B	15-100	15 - 27	30 - 50	34 - 44	15 - 20	< 8	< 21
Cu	4-12	2 - 7,4	7 - 10	6 - 7	4 - 6	< 2	< 4
Fe	50-156	63 - 128	150 - 200	65 - 125	75 - 100	-	-
Mn	190-700	193 - 547	400 - 600	200 - 840	< 100	-	-
Zn	15-46	17 - 42	35 - 50	15 - 20	20 - 30	< 7	< 7

1 - dados referentes a *E. grandis* no estágio adulto; 2 - referentes a *Eucalyptus* spp; 3 - referentes a *E. grandis* no estágio juvenil.

Tabela 5. Faixa deficiente e adequada das concentrações de potássio nas folhas recém maduras de espécies de *Eucalyptus* no estágio juvenil e adulto.

Espécie	Faixa		Autor
	Deficiente	Adequada	
	g kg ⁻¹		
Estádio juvenil			
<i>E. globulus</i>	4-5	10-15	Dell et al. (1995)
<i>E. globulus</i>	< 4	8-12	Boardman et al. (1997)
<i>E. grandis</i>	-	3,3-8,1	Novais et al. (1980)
<i>E. grandis</i>	< 5	12-14	Dell et al. (1995)
<i>E. cloeziana</i>		7,0-13,8	Novais et al. (1980)
<i>E. pellita</i>	3-4	9-15	Dell et al. (1995)
<i>E. urophylla</i>	3-5	15-18	Dell et al. (1995)
<i>E. urophylla</i>	-	8-14	Huoran & Wenlong (1996)
<i>E. nitens</i>	< 4	8	Turnbull et al. (1994)
<i>E. pilularis</i>	< 3	3,5-5	Cromer et al. (1981)
<i>E. saligna</i>	-	11	Yost et al. (1987)
<i>E. camaldulensis</i>	-	6-10	Boardman et al. (1997)
<i>E. maculata</i>	< 4	10-17	Dell et al. (1996)
Estádio adulto			
<i>E. saligna</i>	< 6	8,5-10	Silveira et al. (1998)
<i>E. grandis</i>	< 7	8-10	Silveira et al. (1998)
<i>E. grandis</i>	5-6	9-18	Dell et al. (1995)
<i>E. grandis</i>	< 5	6-18	Boardman et al. (1997)
<i>E. globulus</i>	< 4,5	5-12	Boardman et al. (1997)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	2-6	9-15	Dell et al. (1995)
<i>Eucalyptus</i> spp	6-8	10-12	Malavolta (1987)
<i>E. globulus</i>	4-7	9-11	Dell et al. (1995)
<i>E. camaldulensis</i>	< 6	6-8	Boardman et al. (1997)
<i>E. urophylla</i>	-	8-14	Dell et al. (1995)
<i>E. dunnii</i>	-	8-15	Boardman et al. (1997)
Variação	2-7	3,5-18	-

2.4.4 Interações entre potássio e outros nutrientes

Os efeitos interiônicos entre K, Ca e Mg ocorrem na forma de inibição competitiva, normalmente ao nível de membrana celular (Epstein, 1975). Segundo Malavolta (1980), esse processo ocorre quando dois elementos se combinam pelo mesmo sítio ativo do carregador. Um exemplo clássico é dado pelas altas doses de potássio no meio, inibindo a absorção de Ca e Mg, chegando muitas vezes a causar a deficiência desses dois nutrientes com queda de produção. Marschner (1995) também relata que cátions como o potássio podem atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, deprimindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg. A absorção preferencial do íon K^+ ocorre por ser monovalente e de menor grau de hidratação quando comparado aos divalentes (Kabata Pendias & Pendias, 1984).

Schonau (1981) ao estudar o efeito da aplicação de fertilizantes sobre os teores foliares dos nutrientes em *E. grandis*, verificou que a aplicação de K reduzia os teores de Ca, Zn e Fe e não afetava os de Mg, enquanto que a fertilização fosfatada e a aplicação de calcário diminuía os teores de K nas folhas. Schmidt (1995) avaliou o crescimento e a absorção de K, Ca e Mg por mudas de *E. camaldulensis* e *E. grandis* em resposta à aplicação de K no solo (0, 30, 90, 180 e 270 mg kg⁻¹) e a adição de corretivos com diferentes relações Ca/Mg. Verificou que a dose de K para obter 90 % da produção máxima foi de 60,7 e 50,7 mg de K kg⁻¹, na presença de corretivo, para *E. camaldulensis* e *E. grandis*, respectivamente. Constatou ainda que com o aumento do nível de corretivo, uma maior quantidade de K foi necessária para manter o balanço catiônico e proporcionar uma maior produção de matéria seca.

Em *E. fatigata* com 3 anos de idade, Knight (1988) verificou correlações significativas e negativas entre a concentração de potássio e a de cálcio ($r = -0,70$) e a de magnésio nas folhas ($r = -0,84$).

2.5 Interações entre sulfato, cloreto e nitrato

Malavolta et al. (1997) citam que os efeitos do íon Cl^- sobre absorção do SO_4^{2-} e NO_3^- ocorrem na forma de inibição competitiva, ou seja, esses ânions competem pelo mesmo sítio ativo do carregador. Os mesmos autores comentam ainda que para o cloro exercer suas funções na planta, em geral, não são necessários mais do que 100 mg kg^{-1} de MS. Entretanto, o tecido vegetal pode apresentar valores de 20-200 vezes maior, sendo isto um indicativo de que o cloro não chega a ser tóxico em concentrações relativamente altas.

Boardman et al. (1997) citam que a faixa adequada de cloro nas folhas de *E. globulus* juvenil e *E. saligna* adulto está em torno de 3,3 a 6,0 e 1,0 a 4,5 g kg^{-1} , mostrando que os materiais genéticos de *Eucalyptus* podem responder diferenciadamente ao cloro. Para *E. grandis*, na fase juvenil, os valores acima de 4,0 g kg^{-1} são considerados altos. Na fase adulta, a faixa compreendida entre 5,0 a 10,0 g kg^{-1} é alta, e para valores acima destes é considerada tóxica.

2.6 Resposta do *Eucalyptus* à aplicação de potássio

O *Eucalyptus* tem apresentado resposta à aplicação de K em solos com teor de 0,2 até 1,0 $\text{mmol}_c \text{ de K dm}^{-3}$ de solo, conforme verificados por Barros et al. (1981), Barros & Novais (1990, 1996), Stape & Zani Filho (1990), Galo (1993), Scatolini et al. (1996), Valeri et al. (1996) e Gava (1997). Nos solos com valores acima de 1,0 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, os resultados têm sido contraditórios, sendo que na maioria das vezes não se encontram respostas à aplicação deste nutriente e quando ocorre são justificadas pela estreita relação Ca:Mg (< 1 unidade) ou pelos elevados valores de Ca+Mg no solo (> 8 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Novais et al. (1980) verificaram que *E. grandis*, na fase de muda, não respondeu a aplicação de potássio, o contrário foi observado para *E. cloeziana*. Os autores ainda sugerem que o nível crítico de K no solo para *E. grandis*, na fase inicial do crescimento, está abaixo de 0,23 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (extrator Mehlich 1), quando o solo é pobre em Ca e Mg. Para *E. cloeziana*, os valores estavam na faixa de 0,28 a 0,79 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que os valores mais altos foram obtidos para solos que receberam calagem. Ainda

em relação ao nível crítico de K no solo para o crescimento de mudas de *E. grandis*, Prezotti (1985) verificou que os níveis para obtenção de 90 % da produção máxima foram de 1,20 a 1,33 mmol_c dm⁻³ para solos de textura média a arenosa e 1,87 a 2,18 mmol_c dm⁻³ para os de textura argilosa. Estes valores foram mais altos que os encontrados por Novais et al. (1980), sendo justificados em razão do pequeno volume de solo (400 cm³) que foi utilizado para a produção das mudas.

Resultados semelhantes aos encontrados por Novais et al. (1980) também foram verificados por Sgarbi et al. (1997), que não constataram redução no crescimento de *E. grandis* x *E. urophylla* quando cultivado na ausência de potássio em relação ao tratamento completo.

Valeri et al. (1991) estudaram o efeito de doses de N (0, 33 e 66 kg ha⁻¹), P₂O₅ (0, 100 e 200 kg ha⁻¹) e K₂O (0, 33 e 66 kg ha⁻¹) e calcário dolomítico (0 e 2 t ha⁻¹) na produção de *E. grandis* plantado em areia quartzosa, na região de Luís Antônio/SP. Não verificaram aumentos na produção de madeira com a aplicação de nitrogênio e fósforo. Em relação ao potássio, ocorreu efeito quadrático, sendo que a máxima produção (86 st ha⁻¹) foi obtida com a dose estimada de 61 kg K₂O ha⁻¹. O *E. grandis* também respondeu a aplicação de calcário, com aumento de 13 % no volume de madeira em relação aos tratamentos que não receberam calagem. Valeri et al. (1996) estudaram o efeito do parcelamento e de doses de potássio (0, 50 e 100 kg de K₂O ha⁻¹) nos 5 primeiros anos após o plantio, em areia quartzosa e latossolo vermelho escuro álico. Concluíram que no latossolo, o maior incremento em volume foi obtido com a aplicação de 50 kg de K₂O ha⁻¹, parcelada nos 4 ou 5 primeiros anos, enquanto que na areia quartzosa, com aplicação de 100 kg de K₂O ha⁻¹, parcelada em doses iguais nos cinco primeiros anos ou em doses crescentes nos 4 primeiros anos.

Barros & Novais (1990) relataram que a necessidade de potássio aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade do *Eucalyptus*. De acordo com os resultados de Barros & Novais (1990), Rocha Filho et al. (1978) cultivando mudas de *E. urophylla* para obtenção de sintomas de deficiência dos macronutrientes, boro e ferro, constataram que os sintomas de carência de potássio foram os últimos a aparecer. Plantas jovens requerem pouco potássio e solos com níveis de K em torno de 0,51

mmol_c dm⁻³ (20 mg kg⁻¹) são suficientes para o crescimento inicial das mudas segundo Barros & Novais (1990). Entretanto, Barros et al. (1981) encontraram respostas à aplicação de potássio no plantio (27 g K₂O planta⁻¹) para *E. saligna* cultivado em solo com 0,67 mmol_c de K dm⁻³, ocorrendo incrementos de 67 % no volume de madeira aos 78 meses de idade. Resultados semelhantes foram obtidos quando estudaram o efeito da aplicação de potássio (0, 60, 120, 180 e 240 kg de K₂O ha⁻¹) sobre a produção de biomassa de *E. grandis* cultivado em solo com 0,54 mmol_c de K dm⁻³. Verificaram que a produção máxima aos 6,5 anos foi obtida com a dose de 179 kg de K₂O ha⁻¹, a qual aumentou em 63 % a produção quando comparada com a ausência de K na adubação (Barros et al., 1992). Esses resultados são concordantes com os obtidos por Gava (1997), ao estudar o efeito da aplicação de K (0; 60; 120; 180; 240 e 360 kg de K₂O ha⁻¹) em *E. grandis* sob condição de 2^a rotação, plantados em dois solos, um com teor de 0,35 (podzólico vermelho amarelo, distrófico, textura arenosa/média localizado em Angatuba/SP) e outro com 1,7 mmol_c de K dm⁻³ (podzólico vermelho amarelo, textura média arenosa/argilosa localizado em São Miguel Arcanjo/SP). Observou resposta à aplicação de K até 256 kg de K₂O ha⁻¹, no solo mais pobre em potássio, com aumento de 118 % em volume de madeira em relação a testemunha. A dose de K₂O para a obtenção de 90 % da produção máxima foi de 145 kg ha⁻¹. No entanto, para o solo com nível mais elevado de potássio, a resposta à adição desse macronutriente foi nula. Scatolini et al. (1996) também obtiveram resultados similares para povoamentos de *E. grandis* localizados em solos com baixo teor de K trocável (0,7 mmol_c dm⁻³), na região do Vale do Paraíba, ocorrendo respostas até 206 kg de K₂O ha⁻¹ no podzólico vermelho amarelo textura argilosa e 240 kg de K₂O ha⁻¹ no latossolo vermelho amarelo textura média. Em outro estudo, Galo (1993) encontrou que a dose para se alcançar 90 % da produção máxima de madeira para *E. grandis* aos 6,5 anos de idade, foi de 108 kg de K₂O ha⁻¹, em solos cerrado de Itamarandiba/MG, cujo o teor original de K era de 0,59 mmol_c dm⁻³. Neste estudo, os ganhos de produtividade com a aplicação de potássio foram de 92 % quando comparou-se a dose de 200 kg de K₂O ha⁻¹ em relação a testemunha.

Stape & Benedetti (1997) constataram respostas de *E. grandis*, em 2ª rotação na região de Itirapina/SP, à aplicação de NK, principalmente o potássio, conforme já verificado por Gava (1997) para *E. grandis* na região sul do estado de São Paulo.

2.7 Relação entre o potássio e a putrescina, espermidina e espermina

A diamina putrescina e as poliaminas espermidina e espermina são de ocorrência comum nas plantas superiores. A putrescina é sintetizada a partir dos aminoácidos arginina e ornitina, pelas enzimas arginina descarboxilase e ornitina descarboxilase, respectivamente. De acordo com Galston (1989) e Smith (1985) a putrescina é convertida em espermidina e espermina, por sucessivas transferências de 1 ou 2 grupos aminopropil via descarboxilação do S-adenosil (Figura 2).

As poliaminas estão envolvidas no processo da divisão celular (Maki et al., 1991), nos processos de desenvolvimento e crescimento (Smith, 1985 e Evans & Malmberg, 1989), na senescência (Smith, 1985 e Galston & Kaur-Sawhney, 1990) e na regulação do metabolismo dos ácidos nucleicos (Kaur-Sawhney & Galston, 1991).

As plantas nutricionalmente estressadas apresentam aumento na intensidade da biossíntese de di e poliaminas, principalmente putrescina. Em diversas plantas, verificou-se que a carência de potássio induziu o acúmulo da amina putrescina nas folhas conforme relatado pelo trabalho pioneiro de Richards & Coleman (1952) em cevada, por Crocomo et al. (1974b) em *Phaseolus vulgaris*, Crocomo & Basso (1974a) em *Sesamum*, Zaidan et al. (1999) em *Musa* sp. O acúmulo de putrescina na deficiência de potássio, pode ser explicado pelo mecanismo proposto por Coleman & Richards (1956), admitindo-se que a falta de potássio altera o balanço interno entre cátions e ânions inorgânico, esperaria-se um aumento da acidez do suco celular, o que não ocorre. Portanto, esses autores sugeriram que o acúmulo de putrescina operaria como um mecanismo interno de compensação para manter o pH a um valor fisiologicamente adequado. De acordo com Murty et al. (1971) e Smith (1984), até 30 % do déficit de cátion devido a deficiência de K poderia ser balanceado pela putrescina. Portanto, o efeito da putrescina na manutenção do pH celular é um dos mecanismos propostos da

sua atuação, sendo um fator relevante nos estudos de nutrição mineral, especialmente com potássio.

ADC (arginina descarboxilase); ODC (ornitina descarboxilase); DFMA (α -difluorometilarginina); DFMO (α -difluorometilornitina); MGBG (metilglutaril-bis-guanilhidrazona); ACC (1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico).

Figura 2. Esquema da biossíntese de poliaminas em plantas superiores (Galston, 1989).

Poucos estudos mostram a relação entre o potássio e a putrescina em espécies florestais. O nível de poliaminas tem sido investigado em algumas espécies de coníferas durante épocas do ano, uma vez que a quantidade das aminas parece estar relacionada com o início e o final da brotação, bem como, com a atividade cambial (Königshofer, 1989, 1990 e 1991). Sarjala & Kaunisto (1993) verificaram que ocorria paralização do acúmulo de putrescina em *Pinus sylvestris* quando a concentração de potássio nas acículas estava acima de 5,5 g kg⁻¹ no verão e 5,0 g kg⁻¹ no inverno. Observaram ainda, que conforme a concentração de potássio nas acículas diminuía para valores abaixo de 4,3 g kg⁻¹ no verão e 3,5 g kg⁻¹ no inverno, ocorria um aumento exponencial da concentração de putrescina. Sarjala & Kaunisto (1996) também

estudaram a variação sazonal das poliaminas (putrescina, espermidina e espermina) e a concentração de potássio nas acículas de *Pinus sylvestris* em resposta à aplicação de potássio. Observaram que a concentração de putrescina nas acículas foi maior no inverno e na ausência de adubação potássica e, que a relação putrescina/espermidina inferior a 5 indicava concentração adequada de potássio nas acículas, independente da época do ano.

Em *Picea abies*, Kaunisto & Sarjala (1997) encontraram correlação negativa entre a concentração de K nas folhas e o nível de putrescina, com relação linear para valores até 4,2 g de K kg⁻¹. Lauchert & Wild (1995) também obtiveram uma correlação linear negativa entre a concentração de putrescina e o teor de potássio nas folhas de *Picea abies* (spruce). Porém, esta correlação estendia-se para valores de K nas folhas acima do limite da faixa de deficiência, contrário ao observado por Kaunisto & Sarjala (1997).

Houman et al. (1991) estudaram o efeito do potássio (0; 11,7 e 117 mg de K L⁻¹) e do fósforo (0; 1,55 e 15,5 mg de P L⁻¹), em solução nutritiva, sobre o nível de putrescina, espermidina e espermina nas folhas e raízes de *Populus maximowiczii*. Na falta de potássio, a concentração de putrescina nas raízes e folhas foi 80 e 25 vezes maior que a encontrada na dose de 117 mg K L⁻¹, respectivamente.

Em relação a espermidina e espermina, Sarjala & Kaunisto (1993, 1996) encontraram um leve decréscimo dessas aminas em acículas de *Pinus sylvestris* com baixa concentração de potássio, porém, não significativo estatisticamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Sarjala (1996) em mudas de *Pinus sylvestris*, onde baixos níveis de espermidina e espermina foram obtidos em condições de deficiência de potássio. Entretanto, incrementos de espermina nas acículas de *Picea abies* foram encontrados na deficiência de potássio (Kaunisto & Sarjala, 1997), indicando que a resposta da espermina as concentrações de potássio em *Picea abies* parece ser diferente a observada em *Pinus sylvestris* por Sarjala e Kaunisto (1993, 1996) e Sarjala (1996).

Richards & Coleman (1952) verificaram que o máximo acúmulo de putrescina coincidia com o aparecimento de severos sintomas visuais de deficiência de K (necrose dos tecidos). Smith (1963) relata que em tecidos necrosados o teor de putrescina pode atingir até $140 \mu\text{mol g}^{-1}$ de MS.

2.8 Efeitos da adubação e do estado nutricional sobre as características físicas, anatômicas e químicas da madeira

Em razão dos plantios de *Eucalyptus* concentrarem em solos arenosos de baixa fertilidade natural, a adubação tem-se sido imprescindível para aumento e manutenção da produtividade. Como mostra os trabalhos com a aplicação de fósforo tanto no sulco como na cova de plantio (Barros et al., 1981; Valeri et al., 1983), potássio em cobertura nos povoamentos de 1ª e 2ª rotação (Valeri et al., 1991; Galo, 1993 e Gava, 1996) e boro em solos arenosos com períodos de déficit hídrico durante o ano (Tokeshi et al., 1976; Barros et al., 1992; Stape, et al., 1992; Fonseca et al., 1993). Embora os estudos mostrem que a adubação promove ganhos de produtividade, pouco se conhece sobre os seus efeitos na qualidade química, física e anatômica da madeira de *Eucalyptus*. Alguns trabalhos foram realizados mostrando o efeito da adubação sobre as propriedades da madeira de coníferas de clima temperado (Siddiqui, 1973; Cutter & Murphy, 1978; Shepard & Shottafer, 1979; Brix & Mitchell, 1980; Lindstrom, 1996; Dunisch et al., 1998), de *Eucalyptus* (Melo, 1968; Higgs & Rudman, 1973; Bamber et al., 1982; Andrade et al., 1994; Sgarbi et al., 1999), e *Pinus* (Malavolta et al., 1966; Gray & Zeeuw, 1975; Downes & Turvey, 1986; Yang et al., 1988). A maioria desses estudos tiveram como objetivo verificar o efeito da aplicação conjunta de NPK ou de fertilizantes nitrogenados, sem a preocupação de determinar os efeitos isolados ou das interações entre os nutrientes sobre a qualidade da madeira. Portanto, não se tem uma avaliação concreta da influência dos nutrientes na formação e nas características físicas e químicas da madeira.

Segundo Barrichelo & Shimoyama (1994), a formação da madeira e suas características são dependentes da atividade cambial e da diferenciação dos xilemas, os

quais são controlados pela produção de hormônios nas gemas apicais e o transporte de carboidratos das folhas para o câmbio. Deficiências e desequilíbrios nutricionais reduzem a biomassa foliar das árvores, e conseqüentemente a eficiência fotossintética e a atividade das gemas apicais, proporcionando um menor suprimento de carboidratos e hormônios para a região cambial (Brix, 1971). Um trabalho mais recente mostra que a quantidade de sacarose e ácido indol acético (AIA) nos tecidos do câmbio foi maior nas árvores com alta taxa de crescimento quando comparadas com as de baixa. Porém, não houve relação entre a concentração de AIA e sacarose na região cambial e a produção de traqueídeos (Sundberg et al., 1993). No entanto, outros estudos mostraram que essas substâncias regulam a divisão das células do câmbio e a formação da madeira em *Pinus sylvestris* (Sundberg et al., 1991 citado por Sundberg et al., 1993) e que a aplicação exógena desses compostos estimula a produção de traqueídeos em *Pinus sylvestris* (Zjaczkowski, 1973 e Little & Savidge, 1987).

Provavelmente, o primeiro trabalho realizado no Brasil referente aos efeitos dos nutrientes na qualidade da madeira foi feito por Malavolta et al. (1966). Os autores não observaram efeito das doses de N, P e K na solução nutritiva sobre a concentração de celulose em *Pinus elliotii* com 18 meses de idade. Entretanto, constataram que nos maiores níveis de nitrogênio ocorriam decréscimos do comprimento e da espessura da parede celular dos traqueídeos. Os efeitos do fósforo e potássio não ficaram evidentes para as características anatômicas.

Linnartz & Thompson (1964) citados por Malavolta et al. (1966), verificaram que o comprimento dos traqueídeos de *Pinus* com 5 anos de idade aumentava linearmente em função das doses de N e K.

Estudando o efeito de 5 tratamentos de adubação (testemunha, N, P, NP e NPK + micronutrientes) sobre os componentes químicos da madeira de *E. urophylla* com 9 anos de idade, Jian Ju et al. (1998) notaram que a adubação não influenciou a concentração de celulose e lignina. No entanto, aumentou significativamente a concentração de extrativos e pentosanas da madeira quando comparada com a testemunha.

Downes & Turvey (1986) verificaram que as aplicações de altas doses de N e de P reduziram o conteúdo de lignina da parede celular dos traqueídeos de *Pinus radiata*.

A densidade básica é o índice mais utilizado para avaliar a qualidade da madeira em razão da facilidade de determinação. Ela é influenciada por vários fatores como: espessura da parede celular, quantidade de vasos e de parênquima, dimensões das fibras e teor de extrativos. Ela varia significativamente em função da taxa de crescimento, nível de produtividade, densidade populacional, idade, condições edafoclimáticas, espécie, procedência, progênes, e ainda dentro da mesma árvore no sentido base-topo e medula-casca (Brasil, 1972; Foelkel, 1975; Ferreira & Kageyama, 1978; Rocha et al., 1983; Migliorini, 1986; Souza et al., 1986; Moraes, 1987; Tomazello Filho, 1985; Sturion et al., 1987; Vale et al., 1995).

Williams & Hamilton (1961) estudaram o efeito de 4 tratamentos de adubação (testemunha, sulfato de amônio, superfosfato triplo, sulfato de amônio + superfosfato triplo) sobre as características da madeira de *Pinus elliotti* e concluíram que nenhuma diferença foi encontrada para espessura da parede dos traqueídeos entre os tratamentos e que houve redução da densidade básica na seguinte ordem: sulfato de amônio > sulfato de amônio + superfosfato > superfosfato.

A aplicação de uréia (448 kg de N ha⁻¹) proporcionou menor porcentagem de madeira tardia e da espessura da parede dos traqueídeos da madeira tardia de *Pseudotsuga menziensis*, com 24 anos de idade (Brix & Mitchell, 1980). Efeitos similares em relação a porcentagem de madeira tardia, foram constatados por Weetman (1971) em *Picea mariana*, com 65 anos de idade, mediante a fertilização nitrogenada. Jozsa & Brix (1989) verificaram que a aplicação de N reduzia a densidade básica da madeira de *Pseudotsuga menziensis*. Resultados semelhantes foram obtidos com a aplicação de NPK em *Eucalyptus regnans* (Higgs & Rudman, 1973), nitrogênio em *Picea rubens* (Shepard & Shottafer, 1979) e em *Pinus radiata* (Woollons et al., 1995). Entretanto, Yordanov & Skova (1989) ao estudarem a aplicação de nitrogênio (0, 150 e 300 kg ha⁻¹), fósforo e potássio (0, 75 e 150 kg ha⁻¹) em *Pinus sylvestris*, constataram que a fertilização nitrogenada proporcionou aumento de diâmetros sem reduzir a densidade básica da madeira.

Balloni (1984) estudou o efeito de doses isoladas e combinadas de N, P, K e Ca sobre a qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, com 13 anos de idade. Os principais resultados foram que: a aplicação de calcário causou redução na densidade básica da madeira, devido ao maior ritmo de crescimento das árvores, ou seja, um aumento de 34% em volume quando comparado com a testemunha; a fertilização potássica promoveu ganhos de 9% em volume, por sua vez, teve a densidade básica reduzida somente em 4,5%. Com base nesses resultados, o autor sugere que talvez o potássio atue diretamente sobre a densidade básica da madeira, independente do ritmo de crescimento.

Estudando o efeito da aplicação de doses isoladas ou combinadas de N (168 kg ha⁻¹), de P (72 kg ha⁻¹) e de K (140 kg ha⁻¹) sobre a qualidade da madeira de *Picea rubens*, Shepard (1982) observou que somente a fertilização conjunta de NPK reduziu a densidade básica, em 5%.

Brito (1985) constatou que árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* adubadas com 60 kg de N ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹; 40 kg de K₂O ha⁻¹ e 3 t de calcário dolomítico ha⁻¹ (33 % CaO e 8 % MgO) tiveram a densidade básica reduzida em 23% quando comparadas com as árvores não adubadas.

Siddiqui (1972) estudou o efeito da fertilização sobre a qualidade da madeira e a produção de celulose em árvores de *Pseudotsuga menziesii* e *Pinus resinosa*, e constatou que a fertilização era responsável por: a) redução da porcentagem de madeira adulta; b) aumento da produção de celulose kraft; c) menor teor de extrativos; d) maior espessura da parede celular, especialmente da camada S₂ dos traqueídeos da madeira juvenil.

Gray & Zeeuw (1975) observaram que a aplicação de potássio reduziu a espessura e o diâmetro da parede celular dos traqueídeos radiais da madeira adulta e a porcentagem de madeira tardia de *Pinus radiata*. Efeitos contrários foram verificados para a espessura e o diâmetro dos traqueídeos da madeira juvenil. Ainda encontraram decréscimo da densidade básica da madeira juvenil e adulta mediante à aplicação de potássio. Cutter & Murphy (1978) também estudaram a influência do potássio (2 e 50 mg de K L⁻¹) sobre as características anatômicas da madeira, em híbrido de *Populus* (*P.*

maximowiczii com *P. berolinensis* Dipp). Constataram que os elementos de vasos, diâmetro e comprimento das fibras foram afetados pela concentração de potássio, bem como, a espessura da parede celular dos elementos de vasos. No entanto, não verificaram nenhuma influência do potássio sobre a espessura da parede celular das fibras.

Recentemente, Dunisch et al. (1998) observaram que o conteúdo de K e Ca durante a formação da madeira juvenil e adulta de *Picea abies*, afetou a formação da madeira juvenil. Durante a fase de alongação das células ocorreu um incremento do conteúdo de K do simplasto. Na fase de formação da parede celular aumentava-se o conteúdo de cálcio durante a diferenciação das células, entretanto, o conteúdo de cálcio da parede celular decresceu durante a sua lignificação. Os autores concluíram que o potássio é fundamental para a alongação e diferenciação dos traqueídeos, enquanto que o cálcio é essencial para a síntese da parede celular na fase secundária do desenvolvimento e no processo de lignificação.

Mello (1968) estudou o efeito da aplicação de N, P, K e calcário sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna*, e verificou que a densidade básica, a espessura e o comprimento das fibras não foram afetados pela aplicação dos macronutrientes primários, com exceção feita a aplicação de calcário (2 t ha^{-1}) que reduziu significativamente o comprimento das fibras. Em concordância, Andrade et al. (1994) constataram reduções significativas no comprimento das fibras e aumento no teor de extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* devido a aplicação de calcário calcítico (2 t ha^{-1}). Ainda os mesmos autores verificaram que a aplicação de gesso e fosfato reduziu a presença de extrativos na madeira. A função do cálcio como nutriente estrutural é mencionado por Malavolta (1980), uma vez que a lamela média é rica em cálcio, e que este é responsável pelo aumento da rigidez da parede celular, dificultando o aumento do volume celular. Epstein (1975) e Malavolta (1980) relatam que a deficiência de cálcio provoca alterações na composição química e na estrutura da lamela média, bem como, aumenta a permeabilidade da membrana celular. Eklund & Eliasson (1990) verificaram que altas concentrações de Ca no citoplasma de *Picea abies* estimulavam a

deposição de lignina e polissacarídeos não celulósico na parede, enquanto que a deposição de celulose era quase que totalmente inibida. Ainda em relação ao cálcio, Sgarbi et al. (1999) observaram que a deficiência deste macronutriente em *E. grandis* x *E. urophylla* proporcionava madeira com menor concentração de lignina e fibras mais curtas quando comparada com o tratamento completo e com as deficiências de N, P, K e Mg.

Bamber (1972), citado por Bevege (1984)¹, verificaram que o comprimento das fibras de *Pinus pinaster* com 10 anos de idade decrescia de 4 mm para 3,4 mm, mediante a aplicação de NPK. Porém, Gentle et al. (1968) não obtiveram respostas no comprimento das fibras de *Pinus radita* através da fertilização fosfatada. Resultados similares foram obtidos por Bamber et al. (1982) para *Eucalyptus grandis* com 2,5 anos de idade, uma vez que a aplicação de NPKS não teve efeito sobre o comprimento das fibras. Entretanto, para *Eucalyptus regnans*, a aplicação de NPK decresceu o comprimento das fibras e a densidade básica da madeira (Higgs & Rudman, 1973). Ainda em relação as características anatômicas da madeira, Subrahmanyam (1988) verificou que altas doses de nitrogênio proporcionavam fibras mais extensas em *Eucalyptus grandis*, contrário foi observado para o fósforo. O nitrogênio e o fósforo não afetaram o diâmetro das fibras. No entanto, a parede celular foi mais espessa nas plantas cultivadas em altas doses de P e baixas de N.

Yang et al. (1988) verificaram que o comprimento dos traqueídeos decresceu após a fertilização com N, P e S, sendo que altas doses de enxofre proporcionavam um maior decréscimo do comprimento dos traqueídeos de *Pinus contorta* var. *latifolia*. Ainda em relação ao enxofre, os resultados obtidos por Sgarbi et al. (1999) divergem dos encontrados por Yang et al. (1988), uma vez que ocorreu redução no comprimento das fibras e na densidade básica da madeira de *E. grandis* x

¹ - Bamber, R.K. (1972). In: The Australian Forest-Tree Nutrition Conference, 1971. Boardman, R. (Ed.), p.366-379.

E. urophylla quando cultivado na ausência de enxofre em relação ao tratamento completo.

Os efeitos da aplicação de doses e formas de nitrogênio (amônio, nitrato e uréia) sobre as propriedades da madeira de *Gmelina arborea* foram estudados por Ogbonnaya (1993). Não houve diferença entre as fontes para a densidade básica da madeira. As fibras mais longas foram encontradas na presença de nitrato, as mais estreitas na presença de uréia, enquanto que as mais curtas e espessas nas plantas adubadas com N na forma amoniacal. Em outro trabalho, Ogbonnaya (1994) estudou o efeito da aplicação de doses de N (0; 2,2; 4,4 e 6,6 g/vaso de 12,5 L) combinadas com doses de K (0; 5,7; 11,4 e 17,1 g /vaso de 12,5L) sobre o crescimento e as características físicas e histoquímicas da madeira de *Gmelina arborea*. Notou que o nitrogênio aumentou a densidade básica da madeira. As combinações NK também aumentaram o comprimento e a espessura das fibras, porém, sem efeitos na largura e no diâmetro do lume das fibras. Em relação a parte química, a concentração dos extrativos na madeira aumentou com as aplicações individuais de N e K.

A Tabela 6 resume os principais efeitos dos nutrientes e das adubações nas características químicas, físicas e anatômicas da madeira de espécies florestais.

Tabela 6. Efeito dos nutrientes e da adubação sobre as características da madeira.

Efeito	Espécie	Alterações da madeira	Fonte
<i>Eucalyptus</i>			
+ NPK	<i>E. regnans</i>	Redução da densidade básica e do comprimento das fibras	Higgs & Rudman (1973)
+ N + P + NP + NPK	<i>E. urophylla</i>	Aumento de extrativos e pentosanas	Jian Ju et al. (1998)
- Ca	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Menor teor de lignina e fibras mais curtas	Sgarbi et al. (1999)
+ Ca	<i>E. saligna</i> <i>E. grandis</i>	Redução do comprimento das fibras	Mello (1968) Andrade et al. (1994)
- S	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Redução da densidade básica, teor de lignina e comprimento das fibras	Sgarbi et al. (1999)
+ Cu	<i>E. maculata</i>	Maior taxa de lignificação	Dell (1994)
<i>Pinus</i>			
+ N	<i>P. elliotti</i>	Decréscimo do comprimento e da espessura da parede dos traqueídeos	Malavolta et al. (1966)
	<i>P. radiata</i>	Redução da densidade básica	Woollons et al. (1995)
+ K	<i>P. resinosa</i>	Redução da espessura da parede celular e diâmetro dos traqueídeos da madeira adulta, aumento da espessura da parede celular e do diâmetro dos traqueídeos da madeira juvenil, redução da densidade básica da madeira juvenil e adulta	Gray & Zeeuw (1975)
+ N + P	<i>P. radiata</i>	Menor conteúdo de lignina na parede celular dos traqueídeos	Downes & Turvey (1986)
	<i>P. elliotti</i>	Menor densidade básica	Willians & Hamilton (1961)
+ N + K	<i>Pinus</i> spp	Aumento do comprimento dos traqueídeos	Linnartz & Thompson (1964) citados por Malavolta et al. (1966)
+ NPK	<i>P. pinaster</i>	Fibras mais curtas	Bamber et al. (1972)
+ K + Ca	<i>P. caribaea</i>	Redução da densidade básica	Balloni (1984)
+ NPS	<i>P. contorta</i>	Decréscimo do comprimento dos traqueídeos, principalmente para S	Yang et al. (1988)
+ NPKCaMg	<i>P. caribaea</i>	Redução da densidade básica	Brito (1985)
<i>Picea</i>			
+ N	<i>P. abies</i>	Menor espessura da parede dos traqueídeos	Weetman (1971)
	<i>P. rubens</i>	Redução da densidade básica	Shepard & Shottafer (1979)
+ K	<i>P. abies</i>	Maior alongação e diferenciação dos traqueídeos	Dunisch et al. (1998)
+ Ca	<i>P. abies</i>	Maior deposição de lignina e polissacarídeos não celulósico	Eklund & Eliasson (1990)
	<i>P. abies</i>	Maior síntese de parede celular e lignificação na fase secundária	Dunisch et al. (1998)
+ NPK	<i>P. rubens</i>	Redução da densidade básica	Shepard (1982)
<i>Pseudotsuga</i>			
+ N	<i>P. menziensis</i>	Menor espessura da parede dos traqueídeos	Brix & Mitchell (1980)
	<i>P. menziensis</i> <i>P. menziensis</i> x <i>P. berolinensis</i>	Redução da densidade básica Maior diâmetro e comprimento das fibras	Jozsa & Brix (1989) Cutter & Murphy (1978)
<i>Gmelina</i>			
+ NK	<i>G. arborea</i>	Aumento no comprimento e na espessura das fibras bem como na concentração de extrativos	Ogbonnaya (1994)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi realizado sob condições de casa de vegetação no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP.

3.2 Escolha das progênies de *Eucalyptus grandis*

As progênies de *Eucalyptus grandis*, origem Coff's Harbour utilizadas foram provenientes do pomar de semente clonal, de 2ª geração, da Companhia Suzano de Papel e Celulose. Foram escolhidas 2 progênies consideradas não responsivas (Progênies 1 e 4) e 2 progênies responsivas a adubação (Progênies 2 e 3), com base nos resultados dos experimentos de adubação da empresa, localizados na região de Itatinga/SP, em solo areia quartzosa, latossolo vermelho amarelo e latossolo vermelho escuro.

3.3 Obtenção e avaliação das mudas

As mudas produzidas em tubete de polipropileno de 50 cm³ contendo substrato "Plantmax" (Tabela 7), foram fertirrigadas diariamente dos 60 aos 90 dias com uma solução contendo (mg L⁻¹): 210 de N, 31 de P, 234 de K, 200 de Ca, 48 de Mg, 64 de S, 0,5 de B, 0,1 de Cu, 3,0 de Fe, 1,0 de Mn e 0,2 de Zn. Quando as mudas atingiram 110 dias de idade foram selecionadas, avaliadas e transplantadas para os baldes plásticos de 15 L, contendo sílica moída. Antes do plantio, as mudas tiveram suas raízes lavadas com água para eliminar os resíduos do substrato.

Avaliou-se a biomassa e o estado nutricional das mudas antes da transferência para os baldes plásticos. Foram amostradas 10 mudas por progênie. As

mudas foram coletadas e separadas em folhas, ramos + caule e raízes, sendo cada parte colocada em saco de papel e levada para secagem em estufa até atingir peso constante. Logo após, determinou-se o peso seco de cada parte da muda, procedendo a moagem do material visando as determinações dos macro e micronutrientes nos tecidos vegetais.

Tabela 7. Características químicas do substrato utilizado na produção de mudas.

pH – CaCl ₂	5,1
MO (g dm ⁻³)	167
P resina (mg dm ⁻³)	232
S-SO ₄ (mg dm ⁻³)	57
K (mmol _c dm ⁻³)	7
Ca (mmol _c dm ⁻³)	130
Mg (mmol _c dm ⁻³)	100
Al (mmol _c dm ⁻³)	1
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	47
Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)	237
CTC (mmol _c dm ⁻³)	284
Saturação por bases (%)	83
Saturação por Al (%)	0
B (mg dm ⁻³)	3,6
Cu (mg dm ⁻³)	2,1
Fe (mg dm ⁻³)	57,6
Mn (mg dm ⁻³)	29,2
Zn (mg dm ⁻³)	22,8

3.4 Cultivo das plantas em solução nutritiva

As mudas, transplantadas nos baldes, foram irrigadas na primeira semana com uma solução nutritiva contendo (mg L⁻¹): 42 de N, 6,2 de P, 46,8 de K, 40 de Ca, 9,6 de Mg, 12,8 de S, 0,1 de B, 0,02 de Cu, 0,8 de Fe, 0,2 de Mn e 0,04 de Zn. No período de 14 até os 67 dias de idade, as mudas foram irrigadas diariamente com uma solução nutritiva contendo (mg.L⁻¹): 210 de N, 31 de P, 175 de K, 200 de Ca, 48 de Mg, 64 de S, 0,5 de B, 0,1 de Cu, 3,0 de Fe, 1,0 de Mn e 0,2 de Zn. A solução nutritiva foi renovada a cada 15 dias. Após esse período, foi realizada a lavagem do substrato com

água destilada para remover os nutrientes retidos na sílica. Em seguida, iniciou-se o cultivo das progênies em solução nutritiva contendo todos os nutrientes (N, P, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), com exceção do potássio, que foi testado nos níveis de (mg L^{-1}): 0, 58,5, 175,5 e 526,5 (Tabela 8). As plantas cultivadas na ausência de potássio foram inicialmente irrigadas com $19,5 \text{ mg de K L}^{-1}$. Entretanto, a avaliação de altura e diâmetro das mudas realizada aos 3 meses após o cultivo em doses de potássio, mostrou que não havia diferença significativa entre a dose de $19,5 \text{ mg de K L}^{-1}$ e as doses de 58,5 e $175,5 \text{ mg de K L}^{-1}$. Diante dos resultados, optou-se a partir dessa data pelo cultivo das mudas na ausência de potássio em vez de $19,5 \text{ mg de K L}^{-1}$. As plantas eram irrigadas uma vez ao dia, no período da manhã. A drenagem das soluções era feita através de orifícios no fundo de cada vaso ligados com tubos plásticos aos frascos coletores com capacidade de 1 litro (Figura 3). A renovação da solução foi feita a cada 15 dias, tomando-se o cuidado de verificar diariamente o nível da solução nos frascos coletores, completando o volume a um litro, pela adição de água destilada.

4 meses de idade

8 meses de idade

Figura 3. Visão geral do experimento.

Tabela 8. Composição química dos tratamentos que foram usados no experimento (mL L⁻¹).

Soluções		Tratamentos (mg de K L ⁻¹)			
Estoque		0	58,5	175,5	526,5
Ca(NO ₃) ₂ 4 H ₂ O	M ^A	5	5	5	5
MgSO ₄ 7H ₂ O	M	2	2	2	2
NH ₄ NO ₃	M	2	2	2	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	M	1	1	1	-
KCl	M	-	1,5	4,5	7,5
KNO ₃	M	-	-	-	5
KH ₂ PO ₄	M	-	-	-	1
Micronutrientes ^B		1	1	1	1
Fe-EDTA ^C		1	1	1	1

A – soluções molares; B - A solução de micronutrientes teve a seguinte composição (g L⁻¹): H₃BO₃ = 2,94; MnSO₄ H₂O = 2,43; CuSO₄ 5 H₂O = 0,07; ZnSO₄ 7 H₂O = 0,21; H₂MoO₄ 4 H₂O = 0,02; C – Foi dissolvido 26,1 g de EDTA dissódico em 286 ml de NaOH, misturou-se 24,9 g de FeSO₄ 7 H₂O. Arejou por uma noite e completou um litro com água destilada.

Os tratamentos 0, 58,5, 175,5 e 526,5 mg de K L⁻¹ apresentaram na sua composição doses de cloro que foram de 0, 53,2, 159,7 e 266,2 mg L⁻¹, respectivamente.

A composição das soluções nutritivas foi baseada em Sarruge (1975).

3.5 Avaliações, colheita e preparo de material para análise química

As plantas foram mensuradas através da altura e diâmetro basal a 10 cm no início e mensalmente até o final do experimento.

Os sintomas visuais de deficiência de potássio foram descritos e fotografados desde o estágio inicial até o mais avançado.

Aos 10 meses, após início dos tratamentos, as plantas foram coletadas e separadas em folhas novas (4 primeiras folhas localizadas nos ramos a partir do ápice), folhas diagnóstico (5^a e 6^a folha), folhas velhas (situadas abaixo da 6^a folha), ramos, casca e lenho. As partes das plantas foram submetidas a uma lavagem rápida com água destilada e postas para secagem ao ar livre. Em seguida, cada parte da planta foi colocada em sacos de papel e levada para secagem em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 65° C, até atingir peso constante. Posteriormente, determinou-se o peso seco de cada parte da planta e a produção de matéria seca total.

Após a determinação da matéria seca, procedeu-se a moagem do material em moinho tipo Willey de acordo com as instruções de Malavolta et al. (1997).

3.6 Análise química do tecido vegetal

As determinações dos macro e micronutrientes contidos no material vegetal foram realizadas no laboratório de análise foliar do Setor de Nutrição Mineral do CENA/USP.

As amostras secas e moídas das partes da planta, foram digeridas em ácido nítrico-perclórico (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) e sulfúrico (N) para a obtenção dos extratos, visando a determinação dos macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). A determinação de P foi realizada pelo método da colorimetria de molibdato-vanadato; K por fotometria de chama; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica; S por turbidimetria de suspensão de sulfato de bário; B por colorimetria de azometina. As determinações de nitrogênio foram feitas através do método micro Kjeldahl.

Nas folhas diagnóstico realizou-se a extração aquosa por agitação para obtenção de extratos, visando a determinação do cloro pelo método da titulometria do nitrato de prata, conforme Malavolta et al. (1997).

3.7 Análise bioquímica das folhas

Cerca de 30 dias antes do término do experimento (11 meses de idade), amostrou-se folhas diagnóstico (5ª e 6ª folha a partir do ápice) com o objetivo de realizar as análises de poliaminas e açúcares solúveis totais. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas até o liofilizador, onde permaneceram por 48 horas, a -50°C . Posteriormente, o material foi moído e mantido em dissecador durante aproximadamente 90 dias para ser analisado.

3.7.1 Poliaminas

Foram realizadas análises bioquímicas nas folhas usadas para a diagnose, visando determinar a concentração de putrescina, espermina e espermidina, de acordo com Flores & Galston (1982).

3.7.1.1 Extração

As folhas diagnóstico, na quantidade de 100 mg de material seco, foram maceradas em 5 mL de ácido perclórico, em uma bandeja contendo gelo. Em seguida, fez-se a centrifugação durante 10 minutos a 10.000 x g, a 4° C, sendo que o sobrenadante (extrato perclórico) foi coletado e estocado em freezer a -20°C.

3.7.1.2 Dansilação direta

O extrato perclórico foi pipetado na quantidade de 200µL e colocado em tubos de ensaio, juntamente com 200µL de uma solução saturada de carbonato de sódio (NaHCO₃) e 400µL de cloreto de dansil (5-[Dimetilamino]naftaleno 1-sulfonil cloreto) diluído em acetona (5mg mL⁻¹).

Após 30 segundos de agitação em Vortex, os tubos de ensaio foram mantidos no escuro, à temperatura ambiente por 16 horas. Logo após, adicionou-se 100µL de prolina (100 mg mL⁻¹) e incubou-se por 25 minutos para remover o excesso de dansil. A extração das poliaminas dansiladas foi realizada em 500µL de benzeno, após agitação durante 30 segundos em vortex, coletando-se a fase orgânica.

3.7.1.3 Separação das poliaminas por cromatografia de camada delgada

Foram usadas placas de vidro cromatográficas (20 x 20 cm) cobertas com silicagel 60 G-Merck (250 µm de espessura), as quais haviam sido ativadas a 180° C por 1 hora. Sobre as placas aplicou-se 5µL do extrato dansilado.

O cromatograma foi desenvolvido em cubas de vidro, utilizando-se clorofórmio:trietilamina (25:2, v/v) como fase móvel. A separação cromatográfica foi acompanhada de luz ultra-violeta (366 nm Original Hanau Quartzlampen GMBH). Padrões de putrescina, espermina e espermidina foram processados paralelamente nas mesmas condições experimentais, sendo aplicados na placa 7,5 µL (9 nmoles) de uma mistura contendo os três padrões das aminas, com 3 nmoles de cada.

3.7.1.4 Análise quantitativa de poliaminas separadas na cromatografia de camada delgada

As placas desenvolvidas na cromatografia foram secas e submetidas a leitura da intensidade de fluorescência utilizando-se um densitômetro (Cliniscan II – Helena Laboratories). Pela ativação dos compostos dansilados com a luz UV à 365 nm, mediu-se a intensidade de fluorescência das manchas à 507 nm. A interpretação e execução dos cálculos quantitativos foram feitas a partir dos resultados fornecidos pelo densitômetro ao sobrepor a integração dos picos referentes a cada amina das amostras, com aquelas integrações obtidas com os picos dos padrões de di e poliaminas.

3.7.2 Açúcares solúveis totais

As folhas diagnóstico na quantidade de 200 mg foram transferidas para Erlenmeyer de 100 mL, contendo 50 mL de água destilada e mantidas em banho-maria (60° C) durante 30 minutos. Em seguida, filtrou-se o extrato e completou o volume a 100 mL em balão volumétrico. Uma alíquota de 0,5 mL desse extrato foi transferida para tubo de ensaio, adicionando-se 0,5 mL de fenol 5 % e 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado, sendo essa solução homogeneizada em agitador mecânico (Vortex) e deixada em repouso durante 20 minutos. Posteriormente, realizou-se a leitura em espectrofotômetro Varian a 490 nm, utilizando-se glicose p.a. como padrão. A metodologia descrita está baseada em Dubois et al. (1956).

3.8 Características da madeira

3.8.1 Análise química

Foram realizadas análises químicas da madeira contida no lenho das plantas, para quantificação dos teores de extrativos em álcool-tolueno, álcool e água quente, lignina e holocelulose (celulose + hemicelulose). A determinação desses componentes foi feita de forma simultânea.

Pesou-se 1 g de serragem (mistura de lenho moído das porções basais, medianas e apicais) e transferiu-se para saquinhos de papel de filtro, colocando-se a amostra no corpo do extrator (Soxhlet). Em seguida, fez-se a extração com álcool-tolueno (1:2) e álcool 96° GL, durante 6 a 8 horas em cada solvente, deixando a amostra secar na temperatura ambiente. Após a secagem, toda a serragem dos saquinhos foi transferida para Erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 100 mL de água destilada e colocando em banho-maria. Após 3 horas, filtrou-se todo o extrato através de cadinho sinterizado tarado, transferindo toda a serragem do Erlenmeyer para cadinho. Posteriormente, lavou-se o cadinho com 250 mL de água quente (quase em ebulição), antes de levá-lo à estufa, e mantê-lo até atingir peso constante. A percentagem de extrativos foi calculada pela expressão: $\% \text{ Extrativos} = (1 - \text{peso seco da serragem}) \times 100$.

Utilizando-se a mesma serragem da determinação dos extrativos, transferiu-se para copo de 50 mL, adicionando-se 15 mL de H_2SO_4 72 %. O copo foi mantido no banho de água a 18-20° C, durante 2 horas. Em seguida, transferiu-se todo o material para Erlenmeyer de 1 litro, acrescentando 560 mL de água destilada. A solução em Erlenmeyer ficou em ebulição durante 4 horas, mantendo-se o nível de água mediante a adição periódica de água destilada. Após 4 horas, deixou-se a lignina sedimentar totalmente (durante 24 horas). No dia seguinte, filtrou-se em cadinho, transferindo toda a lignina do Erlenmeyer para o cadinho, sendo que o Erlenmeyer foi lavado várias vezes com água destilada quente (quase em ebulição). Logo após, lavou-se a lignina contida no cadinho com 250 mL de água quente destilada, levando-a para secagem em estufa até atingir peso constante. A percentagem de lignina foi calculada pela expressão: $\% \text{ Lignina} = \text{peso seco do resíduo} \times 100$.

A porcentagem de holocelulose foi determinada pela expressão: $\% \text{ de Holocelulose} = 100 - \% \text{ Extrativos} - \% \text{ Lignina}$.

3.8.2 Análise física

A densidade básica da madeira é a relação entre o seu peso (g) absolutamente seco e seu volume (cm^3) quando em estado de completa saturação com água.

A densidade básica foi determinada nas três porções do caule: basal a 10 cm de altura em relação a sílica; mediana a 30 % e apical a 60 % da altura das plantas. Pesou-se os corpos de prova com auxílio de uma balança hidrostática. Foi realizada uma pesagem ao ar e outra com o corpo de prova imerso em água. Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa com temperatura variando de $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ até atingir peso constante. A densidade foi calculada pela seguinte expressão: $d = (P/V)$, onde P = peso seco do corpo de prova em estufa; V = volume saturado.

3.8.3 Análise anatômica

Amostras de madeira contidas no lenho (base, meio e ápice) foram submetidas à análises anatômicas, onde foi determinado o comprimento, a largura, o diâmetro do lume e a espessura da parede de suas fibras após maceração pelo método do ácido nítrico-acético (Barrichelo & Foelkel, 1983).

Foram cortados pequenos palitos do lenho e colocados em tubo de ensaio, adicionando-se água destilada, para facilitar a difusão da solução macerante. Em seguida, retirou-se a água dos tubos e adicionou-se a solução macerante (5 partes de ácido acético para 1 parte de ácido nítrico; diluindo a mistura de ácidos em água destilada na proporção de 1:2), cobrindo todo o material. A maceração foi realizada em banho-maria, sob ebulição, dentro de capela com exaustor, durante 45-60 minutos. Logo após, esgotou-se a solução macerante e lavou-se várias vezes com água, com posterior armazenamento do material em água até o preparo das lâminas (Barrichelo & Foelkel, 1983).

Da suspensão dos constituintes anatômicos, obtida pelo processo de maceração, coletou-se material para análise com auxílio de agulha histológica, transferindo-o para uma lâmina de vidro. Em seguida, colocou-se uma gota de corante safranina na lâmina e misturou-se com a suspensão.

Após a montagem das lâminas, observou-se o material para avaliação do comprimento das fibras através da imagem projetada no balcão, pelo projetor de fibras e largura, espessura da parede e diâmetro do lume através de microscópio ótico.

A fração parede foi calculada pela seguinte expressão: $(EP \times 2/LF) \times 100$, onde EP = espessura da parede das fibras e LF = largura das fibras.

3.9 Delineamento estatístico

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4^2 (4 materiais genéticos de *Eucalyptus grandis* x 4 doses de K), com 5 repetições. Foram feitas análises de variância (Tabela 9), teste de comparação de médias (Tukey 5%), correlações e regressões entre: a) doses de K na solução nutritiva x diâmetro e produção de matéria seca; b) doses de K na solução nutritiva x concentração dos macro e micronutrientes nas partes da planta; c) doses de K na solução nutritiva x concentração de poliaminas e açúcares solúveis totais; d) doses de K na solução nutritiva x concentração de holocelulose, extrativos, lignina, comprimento, largura, espessura da parede, diâmetro do lume das fibras e densidade básica; e) concentração de potássio nas folhas diagnóstico x diâmetro, produção de matéria seca, concentração das poliaminas e açúcares solúveis totais; f) concentração de potássio nas folhas diagnóstico e no lenho x concentração de holocelulose, extrativos, lignina, comprimento, largura, espessura da parede, diâmetro do lume das fibras e densidade básica; g) relações entre o potássio e os macronutrientes nas folhas diagnóstico x produção de matéria seca; h) relações entre o potássio e os macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho x concentração de holocelulose, extrativos, lignina, comprimento, largura, espessura da parede, diâmetro do lume das fibras e densidade básica.

Tabela 9. Esquema da análise de variância

Causas de variação	Grau de Liberdade	
Progênies (a)	(i - 1)	3
Doses de K (b)	(k - 1)	3
a x b	(i - 1) x (k - 1)	9
(Tratamentos)	(Σ)	(15)
Resíduo	$[j^A \times (ik) - 1] - \Sigma$	64
Total	j x (ik) - 1	79

A – repetições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das mudas das progênies de *Eucalyptus grandis*

4.1.1 Produção de matéria seca

As mudas da progênie 2 apresentaram menor quantidade de MS (matéria seca) acumulada de folhas, caule + ramos, raízes e total quando comparada com as demais progênies (Tabela 10). A produção percentual em relação a total variou de 37 a 41% para as folhas, 31 a 41% para o caule + ramos e 22 a 28% para raízes em função do material genético. Silveira et al. (1995a) e Camargo (1997) também encontraram o menor conteúdo de MS nas raízes para mudas de *E. grandis* produzidas através de sementes e estacas, respectivamente. Silveira et al. (1995a) observaram valores inferiores para MS de folhas (0,58 g/muda), caule (0,41 g/muda) e raízes (0,29 g/muda) em mudas de *E. grandis* aos 97 dias, que os encontrados para as progênies 1, 3 e 4 (Tabela 10).

Tabela 10. Matéria seca produzida pelas mudas das progênies de *Eucalyptus grandis*, aos 110 dias de idade, na condição de tubete.

Material genético	Folhas	Caule + Ramos	Raízes	Total
		g/muda		
Progênie 1	0,73 (37)*	0,79 (41)	0,44 (22)	1,96
Progênie 2	0,51 (41)	0,45 (37)	0,28 (22)	1,24
Progênie 3	0,82 (41)	0,61 (31)	0,56 (28)	1,99
Progênie 4	0,65 (37)	0,67 (39)	0,42 (24)	1,74

* - valores entre parênteses referem-se ao percentual em relação ao total.

4.1.2 Concentração dos macro e micronutrientes

A concentração de N nas folhas das progênies 1, 3 e 4 encontrava-se abaixo da faixa considerada adequada para o crescimento de mudas de *E. grandis* (Dell, et al., 1995), que está compreendida entre 25 a 38 g de N kg⁻¹ (Tabela 11). Em relação ao fósforo, potássio, cálcio e enxofre, os valores obtidos foram considerados adequados com base em Dell et al. (1995), o qual a faixa varia de 1,5 a 2,2 g de P kg⁻¹, 9 a 18 g de K kg⁻¹, 5,0 a 8,0 g de Ca kg⁻¹ e 1,5 a 2,3 g de S kg⁻¹. Em relação ao magnésio, notou-se que as concentrações foliares em todos os materiais genéticos estavam muito acima da faixa considerada adequada (1,6 a 2,0 g de Mg kg⁻¹).

De maneira geral, a concentração dos macronutrientes nas mudas apresentaram a seguinte ordem: folhas > raízes > caule + ramos para o nitrogênio; caule + ramos > folhas ≥ raízes para fósforo; folhas > caule + ramos > raízes para potássio; folhas > raízes ≥ caule + ramos para cálcio; raízes > folhas > caule + ramos para magnésio e raízes ≥ folhas > caule + ramos para enxofre. Os resultados obtidos por Silveira et al. (1995a) e Camargo (1997), em relação a concentração dos macronutrientes, nas diferentes partes da planta foram semelhantes aos encontrados para nitrogênio, cálcio, magnésio e enxofre no presente estudo. No entanto, discordantes para o fósforo, uma vez que Silveira et al. (1995a) encontraram as maiores concentrações de fósforo nas raízes. Para o potássio, Silveira et al. (1995a) e Camargo (1997) notaram pequenas variações nas concentrações entre as partes da planta, enquanto os resultados obtidos mostraram que as raízes tinham praticamente a metade da concentração dos outros órgãos (Tabela 11).

Os materiais genéticos apresentaram elevadas concentrações de magnésio nas raízes, valores entre 6,3 a 10,9 g de Mg kg⁻¹ (Tabela 11). Camargo (1997) também encontrou altas concentrações desse macronutriente nas raízes de clones de *Eucalyptus* (13,9 a 21,3 g de Mg kg⁻¹). A explicação para o elevado teor de Mg poderia ser a presença de vermiculita (20 a 28% MgO, segundo Fassbender, 1980) em grandes quantidades no substrato utilizado na produção de mudas.

As concentrações foliares de boro variaram de 34 a 50 mg kg⁻¹ em função dos materiais genéticos (Tabela 12). Esses valores situam-se dentro ou próximo da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1987), a qual está compreendida entre 40 e 50 mg de B kg⁻¹. Os valores obtidos de 3 a 4 mg de Cu kg⁻¹ situavam-se na faixa considerada deficiente por Malavolta (1987), que considera teores adequados para o desenvolvimento do *Eucalyptus* entre 8 a 10 mg de Cu kg⁻¹. Para corrigir esta deficiência, 15 dias após o plantio das mudas, realizou-se uma pulverização foliar com 1,5 g de sulfato de cobre/L H₂O.

As concentrações foliares de ferro estavam acima das consideradas adequadas (150 a 200 mg Fe kg⁻¹), segundo Malavolta (1987) e Dell et al. (1995). As concentrações de Fe nas raízes estavam em torno de 10 vezes maior que as encontradas por Silveira et al. (1995b) em mudas de *E. grandis* com 97 dias (Tabela 12). A explicação seria o uso de vermiculita, que contém de 3 a 12 % de Fe₂O₃ (Fassbender, 1980), na composição do substrato.

As concentrações foliares de Mn encontravam-se dentro da faixa estabelecida como adequada por Malavolta (1987) e Dell et al. (1995), as quais variam de 500 a 600 mg de Mn kg⁻¹ para o gênero *Eucalyptus* e 193 a 547 mg de Mn kg⁻¹ para *E. grandis*, respectivamente (Tabela 12). Em relação ao zinco, as concentrações foliares foram consideradas adequadas com base em Dell et al. (1995), que consideram valores de suficiência entre 17 e 42 mg de Zn kg⁻¹.

De maneira geral, a concentração dos micronutrientes obedeceu a seguinte ordem: raízes ≥ folhas > caule + ramos para o boro; raízes > caule + ramos ≥ folhas para o cobre; raízes > folhas > ramos para o ferro e o zinco e folhas > raízes > caule + ramos para o manganês.

Tabela 11. Concentração dos macronutrientes nas mudas das progênies de *Eucalyptus grandis*, produzidas em tubetes, com 110 dias de idade.

Nutrientes (g kg ⁻¹)	Parte da planta	Materiais genéticos			
		Progênie 1	Progênie 2	Progênie 3	Progênie 4
Nitrogênio	Folhas	12,6	17,0	9,0	12,3
	Caule + Ramos	3,4	4,5	2,6	3,3
	Raízes	8,5	8,3	7,9	7,5
Fósforo	Folhas	1,8	1,8	2,0	2,4
	Caule + Ramos	3,2	3,8	3,8	4,0
	Raízes	1,5	1,8	1,6	2,1
Potássio	Folhas	9,8	10,4	10,4	11,8
	Caule + Ramos	8,7	10,5	9,6	9,4
	Raízes	5,0	5,0	5,2	6,2
Cálcio	Folhas	4,8	5,0	5,8	5,5
	Caule + Ramos	2,9	3,6	3,9	3,4
	Raízes	3,9	3,9	3,7	3,8
Magnésio	Folhas	4,6	5,1	6,0	4,8
	Caule + Ramos	0,8	1,5	1,4	1,1
	Raízes	6,3	10,9	7,2	9,8
Enxofre	Folhas	1,5	1,8	1,6	1,6
	Caule + Ramos	0,7	0,9	0,8	0,7
	Raízes	1,8	2,2	1,6	2,1

Tabela 12. Concentração dos micronutrientes nas mudas das progênies de *Eucalyptus grandis*, produzidas em tubetes, com 110 dias de idade.

Nutrientes (mg kg ⁻¹)	Parte da planta	Materiais genéticos			
		Progênie 1	Progênie 2	Progênie 3	Progênie 4
Boro	Folhas	34	46	50	36
	Caule + Ramos	28	33	27	28
	Raízes	45	52	48	59
Cobre	Folhas	4	3	3	3
	Caule + Ramos	3	4	3	3
	Raízes	13	16	12	16
Ferro	Folhas	443	609	680	495
	Caule + Ramos	197	228	201	305
	Raízes	3624	5121	2708	4009
Manganês	Folhas	294	350	351	310
	Caule + Ramos	104	114	87	99
	Raízes	205	320	287	262
Zinco	Folhas	29	29	34	37
	Caule + Ramos	28	26	25	25
	Raízes	182	246	134	239

4.2 Sintomas visuais

4.2.1 Deficiência de potássio

Os primeiros sintomas de deficiência de potássio surgiram em torno de 120 dias após o cultivo das plantas na dose de $19,5 \text{ mg de K L}^{-1}$ (90 dias) e 0 mg de K L^{-1} (30 dias). Foram caracterizados por pequenas manchas cloróticas entre as nervuras e espalhadas por todo o limbo das folhas mais velhas, porém, com maior concentração das manchas nas margens e na parte superior das folhas. Com a progressão dos sintomas, as manchas se expandiram dando origem a faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas (Figura 4). Posteriormente, ocorreu necrose das manchas e nervuras. No estágio final, verificou-se que nos ramos situados no terço inferior da copa, esses sintomas se manifestaram em todas folhas, porém, com maior intensidade nas folhas mais velhas (Figura 4).

A intensidade dos sintomas diferiu entre as progênies, somente na fase inicial. Após 120 dias de cultivo das plantas sob baixa/ausência de potássio na solução nutritiva, as progênies 2 e 3 apresentavam 60 e 80% das árvores com sintomas de deficiência bem definidos, enquanto que nas progênies 1 e 4, somente 20 e 40% das árvores. No final do experimento, as diferenças visuais em relação a intensidade dos sintomas, entre as progênies, não foram tão evidentes.

Os sintomas observados no presente estudo assemelham-se aos descritos por (Will, 1961; Kaul et al., 1966, 1968, 1970a e 1970b; Rocha Filho et al., 1978; Dell et al., 1995; Silveira et al., 1996 e Silveira et al., 1999). Porém, não foi constatado aumento das brotações laterais conforme verificados por Kaul et al. (1966) e Rocha Filho et al. (1978).

Progênie 1

Progênie 2

Progênie 3

Progênie 4

Figura 4. Sintomas de deficiência de potássio nas folhas das progênies de *Eucalyptus grandis*, quando cultivadas na ausência de potássio.

4.2.2 Clorose das folhas na dose de 526,5 mg de K L⁻¹

Na dose de 526,5 mg de K L⁻¹ verificou-se uma clorose generalizada das folhas novas e das folhas diagnóstico (Figura 5), após 3 meses de cultivo. As cloroses foram mais intensas nas progênies 3 e 4. Esses sintomas assemelham-se com a carência de enxofre descrita por Dell et al. (1995) e Silveira et al. (1996). Neste tratamento, cerca de 55 % do potássio foi fornecido na forma de cloreto de potássio, o que equivale ao fornecimento de 266,2 mg de Cl L⁻¹. A explicação para os sintomas de deficiência de enxofre foi que as altas doses de cloreto inibiram a absorção de sulfato, resultando em concentrações deficientes nas folhas (conforme será discutido no item 4.4.2).

Figura 5. Clorose generalizada das folhas recém maduras das progênies de *Eucalyptus grandis*, quando cultivadas na dose de 526,5 mg de K L⁻¹.

4.3 Desenvolvimento das plantas

4.3.1 Altura

Não houve efeito das doses de K e da interação dose de K x progênie na altura das plantas. Porém, constatou-se diferença entre as progênies 3 e 2, sendo que a progênie 3 apresentou uma superioridade de 10 % em altura em relação a progênie 2, não havendo diferença desta para as progênies 1 e 4 (Figura 6). Tais resultados estão de acordo com os obtidos por Sgarbi et al. (1997), que observaram que plantas de *E. grandis* x *E. urophylla* supridas inicialmente com potássio (0-9 meses de idade) e depois submetidas a omissão (10-26 meses) não apresentavam diferenças em altura quando comparadas com aquelas que receberam potássio durante todo o período de crescimento (0-26 meses). Resultados semelhantes também foram constatados por Novais et al. (1980), que não encontraram tendência de aumento na altura de mudas de *E. grandis* com 100 dias de idade, com o aumento do nível de potássio disponível no solo.

Figura 6. Média de altura das progênies de *Eucalyptus grandis* (letras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade).

4.3.2 Diâmetro

Houve diferença entre as doses de potássio para o diâmetro basal das plantas, independente do material genético (Tabela 13). Os maiores diâmetros foram observados nas doses de 58,5 e 175,5 mg de K L⁻¹, não havendo diferença entre essas duas doses. Na ausência e na dose mais elevada houve redução de aproximadamente 7% no diâmetro em relação as doses de 58,5 e 175,5 mg de K L⁻¹. Houve interação entre as doses de potássio e os materiais genéticos, sendo que na ausência de potássio ocorreram diferenças significativas entre as progênes. A progênie 2 apresentou menor diâmetro na falta de potássio em relação as demais, porém, diferindo estatisticamente somente da progênie 4.

Tabela 13. Diâmetro basal das progênes de *Eucalyptus grandis* nas diferentes doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
	mm				
Progênie 1	23,8 ab A	26,1 a A	25,0 a A	24,7 a A	24,9 a
Progênie 2	22,7 b B	25,1 a A	25,5 a A	23,7 a B	24,2 a
Progênie 3	24,4 ab AB	26,2 a AB	26,7 a A	23,6 a B	25,2 a
Progênie 4	25,3 a A	25,2 a A	25,6 a A	23,8 a B	25,0 a
Média	24,0 B	25,6 A	25,7 A	23,9 B	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Dentre os materiais genético estudados, observou-se relações quadráticas entre o diâmetro basal e as dose de potássio para as progênes 2, 3 e 4, enquanto que não houve relação significativa para a progênie 1 (Tabela 14). Nas progênes que responderam à adição de potássio, nota-se comportamentos bastante similares nas progênes 2 e 3 em comparação com a progênie 4. O nível de potássio na solução para a máxima produção da progênie 4 foi de 50 mg de K L⁻¹, sendo que para a progênie 2 e 3

foi de 275 mg de K L⁻¹ e 250 mg de K L⁻¹, respectivamente. Esses resultados confirmam as diferenças de respostas observadas para tais materiais genéticos em relação à aplicação de K, em condições de campo na região de Itatinga/SP¹, onde a progênie 1 e 4 não foram tão responsivas à aplicação de K.

Tabela 14. Equações de regressões para o diâmetro da região basal do caule das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	Equação	Máxima produção (mm)	K para máxima produção (mg L ⁻¹)
Progênie 1	Não significativo		
Progênie 2	$y = 23,1753 + 0,022x - 0,00004x^2$ $R^2=0,58^{**}$	26,2	275
Progênie 3	$y = 24,6587 + 0,020x - 0,00004x^2$ $R^2=0,49^{**}$	27,1	250
Progênie 4	$y = 25,1941 + 0,004x - 0,00001x^2$ $R^2=0,53^{**}$	25,4	50

Os efeitos da idade da planta no crescimento em diâmetro basal foram lineares, independente da dose de potássio aplicada, mostrando que mesmo na ausência de K não houve estabilização do crescimento (Figura 7). Observa-se ainda que as diferenças entre as doses de potássio para o diâmetro começaram a ficar mais nítidas a partir de 6 meses de cultivo.

¹ Comunicação pessoal do Engenheiro Shinitiro Oda da Companhia Suzano de Papel e Celulose.

Figura 7. Diâmetro da região basal do caule das progênies de *Eucalyptus grandis* em função do período de cultivo nas diferentes doses de potássio na solução nutritiva.

4.3.3 Produção de matéria seca

As correlações entre a produção de matéria seca total e a produção de matéria seca das partes da planta mostraram que as progênies 2, 3 e 4 tiveram comportamentos semelhantes, ou seja, aumentando-se a matéria seca das folhas, ramos, casca e lenho aumentava-se a matéria seca total (Tabela 15). Na progênie 1, houve correlação positiva entre a matéria seca das folhas, ramos e casca com a total, porém, não houve relação entre a produção de matéria seca de lenho e a matéria seca total.

Tabela 15. Coeficientes de correlações de Pearson entre a matéria seca total e a matéria seca das partes da planta das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Partes da planta			
	Folhas	Ramos	Casca	lenho
Progênie 1	0,75**	0,77**	0,49*	ns
Progênie 2	0,74**	0,76**	0,78**	0,70**
Progênie 3	0,88**	0,82**	0,94**	0,94**
Progênie 4	0,75**	0,51*	0,67**	0,89**

** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade e ns – não significativo.

Em relação a produção de folhas, independente da progênie, verificou-se que houve redução de 25 % na biomassa foliar na dose de 526,5 mg de K L⁻¹ quando comparada a dose de 175,5 mg L⁻¹ (Tabela 16). Os materiais genéticos responderam de maneira diferenciada em termos de produção de folhas. A progênie 3 foi menos produtiva quando comparada com as progênies 2 e 4. Houve interação entre as doses de potássio e os materiais genéticos. Na ausência de K, observou-se uma menor produção de folhas para progênie 3 em relação as demais, mesma tendência foi observada para a dose de 58,5 mg L⁻¹. Na dose de 175,5 mg L⁻¹, não houve diferença significativa entre as progênies, enquanto que na dose mais elevada houve redução drástica na produção de folhas da progênie 1. A maior produção de folhas foi encontrada nas plantas cultivadas na ausência de potássio para a progênie 1, 58,5 mg de K L⁻¹ para a progênie 2 e 175,5 mg L⁻¹ para as progênies 3 e 4.

Na produção de matéria seca dos ramos, constatou-se diferença significativa entre os materiais genéticos, sendo que a progênie 3 foi a que apresentou a menor produção (Tabela 16). Considerando todas as progênies, observou-se que a dose mais elevada de potássio chegou a reduzir mais a produção de ramos quando comparada com a sua ausência na solução. As maiores produções foram obtidas com a dose de 175,5 mg L⁻¹. Houve interação entre as doses e as progênies. Tanto na ausência como na dose de 58,5 mg de K L⁻¹, as menores produções ocorreram na progênie 3 quando comparadas com as demais. As progênies não diferiram quando foram cultivadas em 175,5 mg de K L⁻¹. Na dose mais alta de potássio, as progênies 3 e 4 apresentaram menor produção de ramos em relação as progênies 1 e 2.

A progênie 3 foi a que apresentou maior produção de casca e lenho (Tabela 16). Sem levar em consideração os materiais genéticos, verificou-se que a maior produção de casca e lenho foi encontrada nas plantas cultivadas na dose de $175,5 \text{ mg L}^{-1}$. Houve interação entre as doses e as progênies tanto para a MS de casca como de lenho. Para a casca, não houve diferença significativa entre os materiais genéticos na presença de $58,5 \text{ mg de K L}^{-1}$, e no lenho, na ausência de potássio. Tanto na dose de $58,5$ como na de $175,5 \text{ mg L}^{-1}$, a progênie 3 mostrou-se superior as demais. Não houve diferença entre os materiais genéticos para a produção de lenho na falta de potássio. Na ausência de K, a progênie 2 foi menos produtiva em termos de MS de casca, enquanto que na dose de $526,5 \text{ mg L}^{-1}$, foi a progênie 4.

Apesar de haver diferença significativa entre os materiais genéticos para a produção de MS das várias partes da planta, o mesmo não foi verificado quanto considerou-se a produção de MS total (Tabela 17). Sem levar em consideração o material genético utilizado, as maiores produções ocorreram nas doses de $58,5$ e $175,5 \text{ mg de K L}^{-1}$ (Tabela 17). Houve interação entre as doses e as progênies, sendo que na falta de potássio, as progênies 2 e 3 apresentaram menores produções quando comparadas com as progênies 1 e 4. Nas demais doses de potássio, não houve diferença significativa entre os genótipos.

A Tabela 18 mostra a porcentagem de cada parte da planta na produção de MS total, nota-se que a progênie 3 teve um comportamento diferenciado, apresentando maior participação do lenho na produção da MS total (37% do total) quando comparada as demais. Esta progênie também apresentou menor porcentagem de folhas em relação ao acúmulo total de MS. Considerando que os principais produtos florestais são a madeira serrada e a celulose para produção de papel, a progênie 3 poderia ser a mais interessante, do ponto de vista do melhoramento, devido a sua maior eficiência na produção de lenho em relação a MS total. No entanto, esses resultados são referentes a fase juvenil de crescimento, existindo a necessidade de estudos em condições de campo até a idade de corte (7 anos para celulose e > 15 anos para madeira serrada) para verificar a correlação entre a fase juvenil e a adulta.

Tabela 16. Matéria seca das folhas, ramos, casca e lenho das progêneses de *Eucalyptus grandis* nas diferentes doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				
	0	58,5	175,5	526,5	Média
Folhas (g/planta)					
Progênie 1	171 a A (166) ¹	145 ab A (141)	150 a A (146)	103 b B (100)	142 ab (114) ²
Progênie 2	142 a A (101)	172 a A (123)	155 a A (111)	140 a A (100)	152 a (122)
Progênie 3	111 b C (100)	130 b B (117)	143 a A (129)	117 ab BC (105)	125 b (100)
Progênie 4	147 a AB (109)	152 ab AB (112)	171 a A (126)	135 a B (100)	151 a (121)
Média	143 A (115) ³	150 A (121)	155 A (125)	124 B (100)	
Ramos (g/planta)					
Progênie 1	98 a A (111)	100 a A (114)	97 a AB (110)	88 a B (100)	96 a (117))
Progênie 2	87 ab B (100)	94 ab A (108)	96 a A (110)	90 a AB (103)	92 ab (112)
Progênie 3	78 b BC (111)	85 b AB (121)	94 a A (134)	70 b C (100)	82 c (100)
Progênie 4	89 ab A (117)	90 ab A (118)	92 a A (120)	76 b B (100)	87 bc (106)
Média	88 B (109)	92 AB (114)	95 A (117)	81 C (100)	
Casca (g/planta)					
Progênie 1	66 a A (100)	67 a A (101)	76 a A (115)	66 a A (100)	69 ab (114)
Progênie 2	55 b C (100)	67 a AB (122)	75 a A (136)	62 ab BC (113)	65 bc (107)
Progênie 3	65 a B (100)	74 a A (114)	76 a A (117)	68 a B (105)	71 a (117)
Progênie 4	61 ab AB (115)	67 a A (126)	60 b AB (113)	53 b B (100)	60 a (100)
Média	62 B (100)	69 A (111)	72 A (116)	62 B (100)	
Lenho (g/planta)					
Progênie 1	128 a A (100)	133 b A (104)	139 b A (108)	148 ab A (116)	137 b (101)
Progênie 2	124 a B (100)	139 b AB (112)	154 b A (124)	125 ab B (101)	135 b (100)
Progênie 3	131 a C (100)	179 a AB (137)	191 a A (146)	154 a BC (117)	164 a (121)
Progênie 4	152 a AB (126)	161 ab A (133)	161 b A (133)	121 b B (100)	149 a (110)
Média	134 C (100)	153 AB (117)	161 A (120)	137 BC (102)	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 1 - percentual em relação a menor produção de matéria seca para a dose de potássio dentro do fator progênie; 2 - percentual em relação a menor produção de matéria seca dentro do fator progênie; 3 - percentual em relação a menor produção de matéria seca dentro do fator dose de potássio.

Tabela 17. Matéria seca total produzida pelas progêneses de *Eucalyptus grandis* nas diferentes doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
g/planta					
Progênie 1	463 a A (114) ¹	445 a AB (110)	462 a A (114)	405 a B (100)	444 a
Progênie 2	408 b B (100)	472 a A (116)	480 a A (118)	417 a B (102)	444 a
Progênie 3	385 b B (100)	468 a A (121)	504 a A (131)	409 a B (106)	442 a
Progênie 4	449 a A (117)	470 a A (122)	484 a A (126)	385 a B (100)	447 a
Média	426,7 B (105) ²	463,2 A (114)	483,0 A (119)	406,5 B (100)	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 1 - percentual em relação a menor produção de matéria seca para a dose de potássio dentro do fator progênie; 2 - percentual em relação a menor produção de matéria seca dentro do fator dose de potássio.

Tabela 18. Porcentagem média de participação da matéria seca de cada parte da planta na produção de matéria seca total das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Folhas	Ramos	Casca	Lenho
		%		
Progênie 1	32,0	21,6	15,5	30,9
Progênie 2	34,2	20,7	14,6	30,5
Progênie 3	28,3	18,6	16,0	37,1
Progênie 4	33,8	19,5	13,4	33,3
Média	32,1	20,1	14,9	32,9

As equações de regressões relacionando as doses de potássio com a produção de MS das folhas, ramos e casca das progênies encontram-se na Tabela 19. As progênies apresentaram diferentes comportamentos, sendo que para a progênie 1, com o aumento do potássio na solução nutritiva ocorreu queda linear na produção de MS tanto de folhas como de ramos, enquanto que a relação entre a produção de casca e a dose de potássio não foi significativa. As progênies 3 e 4 apresentaram relações quadráticas para a produção de MS de folhas, ramos e casca. Na progênie 4, somente a maior dose de potássio ocasionou decréscimos na produção da MS. Já na progênie 3, as menores produções ocorreram tanto na ausência como na dose de 526,5 mg de K L⁻¹, mostrando que esse material genético foi mais responsivo à adição de potássio quando comparado com a progênie 4. Efeito similares aos obtidos para a progênie 3 foram encontrados na progênie 2, exceto para a produção de folhas, em que a relação entre a produção de MS e a dose de K não foi significativa.

Em relação a produção de lenho, o comportamento apresentado pelas progênies 2 e 3 em relação a dose de K foi parecido (Figura 8). Pelas equações de regressões estimaram-se as máximas produções de lenho, a qual foi obtida com a dose de 295,5 e 246,5 mg L⁻¹ para as progênies 3 e 2, respectivamente. Esses genótipos diferiram em relação aos ganhos de produtividade, uma vez que a progênie 3 apresentou diferença de 50 % quando comparou-se a máxima produção com a obtida na ausência de potássio, e enquanto a progênie 2, apenas 24 %. Tais resultados obtidos para essas progênies corroboram com os relatados por Barros et al. (1981), Valeri et al. (1991), Galo (1993) e Gava (1996), os quais obtiveram aumentos na produtividade do

Eucalyptus através da aplicação de potássio, em condições de campo. O único diferencial entre esses resultados e os do presente trabalho está no ganho obtido com a adição de potássio. Os aumentos de produção em volume de madeira alcançados com a adubação potássica variaram de 67% para *E. saligna* no cerrado de Minas Gerais no trabalho de Barros et al. (1991) até 118% para *E. grandis* no sul do Estado de São Paulo, conforme Gava (1996). Portanto, os aumentos de produtividade nas condições de campo foram maiores que os obtidos para as progênie 2 e 3 neste estudo. A explicação para isto, seria a diferença de idade entre as plantas do presente estudo (fase juvenil - 1 ano de idade) e as dos estudos de campo (5-7anos), sendo que a maior exigência de potássio ocorre na fase adulta do *Eucalyptus*, ou seja, com o aumento da idade, segundo Barros & Novais (1990).

Tabela 19. Equações de regressões para a produção de matéria seca das folhas, ramos e casca das progênie de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	Equação		Máxima produção (g/planta)	K para máxima produção (mg L ⁻¹)
Folhas				
Progênie 1	$y = 164,0667 - 0,115x$	$R^2=0,56^{**}$	164	0
Progênie 2	Não significativo			
Progênie 3	$y = 112,8425 + 0,2640x - 0,0005x^2$	$R^2=0,68^{**}$	148	264
Progênie 4	$y = 114,7090 + 0,2092x - 0,0004x^2$	$R^2=0,46^{**}$	172	261
Ramos				
Progênie 1	$y = 100,1333 - 0,0225x$	$R^2=0,44^{**}$	100	0
Progênie 2	$y = 88,5695 + 0,0700x - 0,0001x^2$	$R^2=0,47^{**}$	101	350
Progênie 3	$y = 77,8488 + 0,1430x - 0,0003x^2$	$R^2=0,68^{**}$	95	238
Progênie 4	$y = 88,7745 + 0,0333x - 0,0001x^2$	$R^2=0,46^{**}$	91	166
Casca				
Progênie 1	Não significativo			
Progênie 2	$y = 56,6471 + 0,1509x - 0,00026x^2$	$R^2=0,60^{**}$	78	290
Progênie 3	$y = 66,9274 + 0,0873x - 0,00016x^2$	$R^2=0,58^{**}$	79	273
Progênie 4	$y = 63,2694 + 0,0060x - 0,00002x^2$	$R^2=0,35^*$	91	150

* significativo a 5 % de probabilidade e ** - significativo a 1 % de probabilidade.

Em termos ainda de produção de MS lenhosa, a progênie 4 não foi considerada responsiva à adição de K no meio até a dose de 178,7 mg L⁻¹, sendo que acima desse nível, verificou quedas acentuadas na produção (Figura 8). Para a progênie 1, não houve grandes incrementos em MS lenhosa conforme aumentou-se a dose, mostrando que genótipo apresenta alta estabilidade tanto em condições de carência como excesso de potássio.

Em relação a MS total, os efeitos foram semelhantes aos obtidos para a MS lenhosa, com exceção da progênie 1 que apresentou decréscimo de produção com o aumento da dose de potássio.

As produções relativas de matéria seca total e lenhosa em função das doses de potássio são mostradas na Figura 10. Nota-se uma maior resposta da progênie 3 à aplicação de K em relação as demais.

Figura 8. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Figura 9. Produção de matéria seca total das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Figura 10. Produção relativa da matéria seca lenhosa e total das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.4 Estado nutricional das progênies de *Eucalyptus grandis*

4.4.1 Concentração dos macronutrientes em função das progênies

A Tabela 20 mostra a concentração dos macronutrientes nos diferentes tipos de folhas dos materiais genéticos de *E. grandis*. Independente do material genético, as maiores concentrações de N, P e K foram encontradas nas folhas novas seguidas pelas folhas diagnóstico e velhas. Esse gradiente de concentração ocorre em função da mobilidade dos nutrientes na planta, uma vez que estes três macronutrientes apresentam alta translocação dentro da planta (Malavolta et al., 1997). As progênies não diferiram em relação à concentração de cálcio nos três tipos de folhas amostradas (Tabela 20). Em relação ao nitrogênio e magnésio, constatou-se o efeito das progênies nas concentrações foliares. Para a folha nova, verificou-se que as maiores concentrações de N e Mg foram encontradas na progênie 3, a mesma tendência foi observada para a concentração de Mg nas folhas velhas. A concentração de N nas folhas velhas foi também maior na progênie 3, porém, não houve diferença entre esta e as progênies 2 e 4. Na folha diagnóstico, a maior concentração de Mg foi constatada na progênie 3, havendo diferença desta para as progênies 1 e 4. A única diferença observada para a concentração de N nas folhas diagnóstico foi entre as progênies 2 e 3, com maior concentração na última. Em relação ao fósforo, não ocorreu diferença entre as progênies para a concentração nas folhas novas e diagnóstico. O mesmo efeito foi observado para as concentrações de enxofre nas folhas velhas e potássio nas folhas velhas e diagnóstico. A única diferença em termos de concentração de P ocorreu entre as progênies 2 e 4 quando considerou-se as folhas velhas. Nas folhas novas, constatou-se que a progênie 3 apresentava maior concentração de K quando comparada com a progênie 1, bem como, maior concentração de S em relação as progênies 1 e 2.

Tais resultados corroboram com os obtidos por Haag et al. (1976) que encontraram diferenças significativas na composição mineral das folhas de cinco espécies de *Eucalyptus*. Boardman et al. (1997) também verificaram diferenças entre os materiais genéticos de *Eucalyptus* para a concentração dos nutrientes nas folhas.

Sem considerar os efeitos das doses de potássio sobre a concentração dos macronutrientes nas folhas diagnóstico, nota-se que todas progênies apresentaram concentrações de N, P e S dentro da faixa considerada adequada para *E. grandis* por Dell et al. (1995) e Boardman et al. (1997). Estas faixas variam de 16 a 29 g de N kg⁻¹, 18 a 34 g de N kg⁻¹, 1,0 a 3,0 g de P kg⁻¹, 1,0 a 2,2 g de P kg⁻¹, 1,5 a 2,0 g de S kg⁻¹ e 1,5 a 2,3 g de S kg⁻¹, segundo Boardman et al. (1997) e Dell et al. (1995), respectivamente. No entanto, de acordo com Silveira et al. (1999), os valores obtidos para o nitrogênio e o fósforo estavam próximos do limite inferior da faixa adequada, que está compreendida entre 22 a 27 g de N kg⁻¹ e 1,7 a 2,2 g de P kg⁻¹. Em relação ao cálcio, as concentrações obtidas para todos os materiais genéticos foram consideradas adequadas com base em Silveira et al. (1999), porém, bem acima da faixa proposta como adequada por Dell et al. (1995) e Boardman et al. (1997), que varia de 2 a 4 g de Ca kg⁻¹ e 3 a 6 g kg⁻¹, respectivamente. A similaridade dos resultados do presente experimento com os obtidos por Silveira et al. (1999), poderia estar no fato de que os plantios de *E. grandis* amostrados por Silveira et al. (1999), na região de Capão Bonito/SP, estavam deficientes em potássio como no presente estudo, levando, neste caso, a uma maior concentração de Ca nas plantas. As concentrações de Mg em todas as progênies estavam acima das consideradas adequadas por diversos autores (Dell et al., 1995; Boardman et al., 1997 e Silveira et al., 1999). As razões para as elevadas concentrações de Mg seriam que no presente estudo 25 % das plantas cresceram na carência de K, aumentando a absorção de Mg, cujos os valores chegaram até 9 g de Mg kg⁻¹ (Figura 14).

Tabela 20. Concentração de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
Folhas novas						
Progênie 1	21,8 b	1,7 a	10,5 b	10,0 a	5,2 b	2,2 bc
Progênie 2	23,1 b	1,6 a	11,4 ab	9,3 a	5,4 b	2,0 c
Progênie 3	27,0 a	1,8 a	12,5 a	9,3 a	6,3 a	2,7 a
Progênie 4	24,1 b	1,7 a	11,8 ab	9,7 a	5,5 b	2,5 ab
Média	24,0	1,7	11,5	9,6	5,6	2,3
Folhas velhas						
Progênie 1	15,0 b	1,3 ab	7,0 a	11,0 a	5,0 b	2,0 a
Progênie 2	15,4 ab	1,2 b	6,9 a	10,8 a	5,1 b	1,8 a
Progênie 3	16,7 a	1,3 ab	7,0 a	10,5 a	5,9 a	2,1 a
Progênie 4	15,9 ab	1,4 a	6,9 a	10,3 a	5,2 b	2,1 a
Média	15,75	1,3	6,95	10,6	5,3	2,0
Folhas diagnóstico						
Progênie 1	19,0 ab	1,6 a	8,5 a	8,4 a	4,8 b	2,1 ab
Progênie 2	18,0 b	1,4 a	8,3 a	8,7 a	5,1 ab	2,0 b
Progênie 3	21,2 a	1,5 a	8,3 a	8,1 a	5,6 a	2,3 ab
Progênie 4	20,0 ab	1,5 a	9,0 a	8,2 a	5,0 b	2,4 a
Média	19,5	1,5	8,5	8,3	5,1	2,2

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

As concentrações dos macronutrientes nos ramos, casca e lenho das progênes, independente das doses de potássio, são apresentadas na Tabela 21. Para os ramos, não constatou-se diferença entre os materiais genéticos para as concentrações de N, K e Ca. Para o fósforo, foram encontradas diferenças entre os materiais genéticos, sendo que a concentração de P nos ramos obedeceu a seguinte ordem: progênie 2 > progênie 1 > progênie 3 = progênie 4. Em relação ao magnésio, as maiores concentrações foram encontradas na progênie 4, a qual diferiu das demais. As progênes 3 e 4 apresentaram maiores concentrações de enxofre nos ramos em relação as outras duas. De maneira geral, as concentrações de N nos ramos estavam próximas da encontrada em *E. grandis* (3,4 g kg⁻¹) por Leite et al. (1998) e em várias espécies de *Eucalyptus* (4 g kg⁻¹) por Judd (1996). As concentrações de P estavam cerca de 2,5 vezes

maiores que a obtida por Leite et al. (1998) e Judd (1996). As maiores concentrações de P nos ramos poderiam ser explicadas pela idade das plantas, uma vez que Barros & Novais (1990) relatam que a exigência de fósforo pelo eucalipto diminui com o aumento da idade das plantas. As concentrações de Ca e Mg foram bem superiores as observadas por Judd (1996) e Leite et al. (1998), porém, esses autores não trabalharam com árvores submetidas a carência de potássio, que por sua vez favorece uma maior absorção desses macronutrientes.

Houve diferença entre as progênies para a concentração dos macronutrientes na casca, com exceção do N e Ca (Tabela 21). As maiores concentrações de P, S e Mg foram encontradas na progênie 4. Para o potássio, verificou-se que a progênie 1 apresentava menor concentração em comparação com as progênies 3 e 4. As concentrações de N na casca estavam próximas da obtida para *E. grandis* (2,4 g kg⁻¹) por Leite et al. (1998) e para várias espécies de *Eucalyptus* (3,5 g kg⁻¹) por Judd (1996). Conforme já observado para os ramos, a concentração de fósforo na casca foi cerca de 5 vezes maior que as relatadas por Judd (1996) e Leite et al. (1998). As concentrações de Ca na casca estavam acima da encontrada em *E. grandis* (8,6 g kg⁻¹) por Leite et al. (1998) e próxima da observada em espécies de *Eucalyptus* (24 g kg⁻¹) por Judd (1996). Em condições de campo, a concentração de Ca na casca do *Eucalyptus* também é alta (Bellote, 1979; Reis et al., 1987; Morais; 1990). Desta forma, torna-se necessário fazer o descascamento no campo, para diminuir a exportação do Ca pela madeira. As concentrações obtidas de Mg na casca estavam acima das encontradas por Judd (1996) e Leite et al. (1998), que foi de 1,9 e 1,6 g de Mg kg⁻¹, respectivamente.

Em relação as concentrações dos macronutrientes no lenho, verificou-se que para o fósforo e enxofre não ocorreu diferença entre os materiais genéticos, contrário ao constatado para a casca e os ramos (Tabela 21). As progênies diferiram em relação a concentração de N no lenho, sendo que o mesmo não foi observado quando analisou-se as concentrações de N na casca e nos ramos. A única diferença foi que a progênie 3 apresentou maior concentração de N na madeira em relação a progênie 4. Para o potássio, a diferença ocorreu entre as progênies 1 e 4, sendo que a progênie 1 apresentou maior concentração. Os resultados da concentração de Ca no lenho dos materiais

genéticos foram opostos aos encontrados para os ramos e casca, ou seja, houve diferença entre as progênies. A progênie 1 apresentou maior concentração de Ca em relação as progênies 3 e 4. A mesma tendência foi observada em relação ao magnésio, uma vez que a progênie 1 foi a que teve maior concentração. As concentrações dos macronutrientes no lenho foram superiores as observadas por Judd (1996) e Leite et al. (1998), exceto o nitrogênio, cujos os valores foram muito próximo do encontrado por Judd (1996) em várias espécies de *Eucalyptus*. As concentrações de P, K, Ca e Mg foram maiores que as encontradas por Judd (1996) e Leite et al. (1998) cerca de: 6 a 12 vezes para P; 1,8 a 2,2 vezes para K; 1,8 a 2,6 vezes para Ca e 2,3 a 5,0 vezes para Mg. As razões para a alta concentração dos macronutrientes no lenho poderiam ser devido a idade da planta, uma vez que plantas jovens apresentam maior atividade fisiológica, necessitando de maior quantidade de nutrientes.

Tabela 21. Concentração de N, P, K, Ca, Mg e S nos ramos, lenho e casca das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg^{-1}						
Ramos						
Progênie 1	3,0 a	1,2 b	2,3 a	11,6 a	3,5 b	0,5 b
Progênie 2	2,8 a	1,3 a	2,3 a	10,9 a	4,5 b	0,5 b
Progênie 3	3,1 a	1,0 c	2,4 a	11,1 a	4,3 b	0,7 a
Progênie 4	3,1 a	1,0 c	2,2 a	11,6 a	5,8 a	0,7 a
Média	3,0	1,1	2,3	11,3	4,5	0,6
Casca						
Progênie 1	2,8 a	2,2 ab	2,2 b	22,7 a	2,4 c	0,8 ab
Progênie 2	2,8 a	2,0 bc	2,3 ab	21,0 a	2,6 c	0,7 b
Progênie 3	2,7 a	2,0 c	2,4 a	21,1 a	3,0 b	0,8 ab
Progênie 4	2,6 a	2,3 a	2,4 a	20,6 a	3,4 a	0,9 a
Média	2,6	2,1	2,3	21,3	2,8	0,8
Lenho						
Progênie 1	1,2 ab	0,6 a	2,9 a	2,1 a	0,8 a	0,3 a
Progênie 2	1,2 ab	0,6 a	2,6 ab	1,8 ab	0,7 ab	0,3 a
Progênie 3	1,3 a	0,6 a	2,5 ab	1,7 b	0,7 ab	0,3 a
Progênie 4	1,1 b	0,5 a	2,4 b	1,6 b	0,6 b	0,3 a
Média	1,2	0,6	2,6	1,8	0,7	0,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.4.2 Efeito das doses de potássio sobre a concentração dos macronutrientes

Na Tabela 22 são apresentados os coeficientes de correlações de Pearson entre as doses de potássio na solução e a concentração dos macronutrientes nas diferentes partes das progênes. Como era de se esperar, o aumento das doses de potássio na solução nutritiva proporcionou aumentos nas concentrações de K nos tecidos vegetais de todas as progênes. No entanto, as folhas apresentaram comportamentos diferenciados em relação as demais partes da planta, uma vez que os efeitos das doses sobre a concentração de K se manifestaram de forma linear (Figuras 11), enquanto que para os ramos, casca e lenho, quadrática (Figura 12). Segundo Malavolta et al. (1997), o potássio é um elemento de alta redistribuição dentro da planta. Esta afirmação pode ser constatada ao comparar a concentração de K nos diferentes tipos de folhas das progênes, principalmente nas doses mais elevadas de K, onde ocorreu um gradiente de concentração na seguinte ordem: folhas novas > folhas diagnóstico > folhas velhas (Figura 11). Para as demais partes da planta, nota-se que a partir da dose de 175,5 mg de $K L^{-1}$, os aumentos de concentração de K nos tecidos foram decrescente, tendendo a uma estabilização (Figura 12).

As correlações mostraram que o aumento das doses de potássio proporcionou menor concentração de Ca e Mg nos três tipos de folhas dos materiais genéticos, sendo o efeito mais pronunciado no caso do cálcio, para as progênes 3 e 4 (Tabela 22). Para as outras partes da planta, as respostas na concentração de Ca e Mg ocorreram de forma diferenciada entre as progênes. Nos ramos, houve decréscimo na concentração de Ca e Mg com os aumentos da dose de K, apenas para a progênie 2. Em relação a casca, foram encontradas correlações negativas para todos os materiais, com exceção do Ca para a progênie 4 e Mg para a progênie 3. No lenho, correlação negativa entre as doses de K e a concentração de Ca foi observada apenas na progênie 3. Decréscimos na concentração de Mg no lenho com o maior fornecimento de potássio ocorreram para todos os genótipos, exceto para a progênie 4. Tais resultados mostram que o efeito do íon K sobre a absorção do Ca e Mg ocorrem na forma de inibição competitiva, uma vez que esses cátions se combinam pelo mesmo sítio ativo do carregador (Malavolta et al., 1997). Resultados semelhantes foram encontrados por

Knight (1988), que encontrou correlações negativas entre a concentração de potássio nas folhas e a de cálcio ($r = -0,70$) e a de magnésio ($r = -0,84$) para *E. fastigata* com 3 anos de idade. Schonau (1981) também verificou que a aplicação de K reduzia o teor de Ca, enquanto que a aplicação de calcário deprimia o teor de K em *E. grandis*.

Tabela 22. Coeficientes de correlações de Pearson entre as doses de potássio na solução nutritiva e a concentração dos macronutrientes nas diferentes partes das plantas das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material Genético	N	P	K	Ca	Mg	S
Folhas novas						
Progênie 1	ns	0,78**	0,95**	- 0,47*	- 0,74**	- 0,72**
Progênie 2	ns	ns	0,94**	- 0,72**	- 0,63**	- 0,66**
Progênie 3	- 0,67**	ns	0,99**	- 0,89**	- 0,62**	- 0,67**
Progênie 4	- 0,56**	ns	0,92**	- 0,83**	- 0,79**	- 0,51*
Todos	- 0,41*	ns	0,94**	- 0,71**	- 0,65**	- 0,60**
Folhas velhas						
Progênie 1	- 0,60**	ns	0,93**	- 0,65**	- 0,64**	ns
Progênie 2	ns	ns	0,91**	- 0,65**	- 0,67**	- 0,56**
Progênie 3	ns	ns	0,98**	- 0,85**	- 0,76**	- 0,63**
Progênie 4	ns	0,53*	0,96**	- 0,86**	- 0,84**	- 0,61**
Todos	ns	ns	0,94**	- 0,75**	- 0,71**	- 0,55**
Folhas diagnóstico						
Progênie 1	ns	0,56**	0,99**	- 0,60**	- 0,66**	- 0,74**
Progênie 2	- 0,58**	ns	0,90**	- 0,60**	- 0,74**	- 0,70**
Progênie 3	- 0,61**	ns	0,97**	- 0,78**	- 0,76**	- 0,72**
Progênie 4	- 0,53*	ns	0,95**	- 0,72**	- 0,77**	- 0,69**
Todos	- 0,40**	ns	0,95**	- 0,65**	- 0,71**	- 0,68**
Ramos						
Progênie 1	ns	0,87**	0,89**	ns	ns	ns
Progênie 2	- 0,45*	0,78**	0,87**	- 0,59**	- 0,77**	- 0,53**
Progênie 3	ns	0,54**	0,84**	ns	ns	ns
Progênie 4	- 0,61**	0,40*	0,95**	- 0,80**	ns	ns
Todos	ns	0,45**	0,89**	- 0,44**	- 0,40**	ns
Casca						
Progênie 1	ns	ns	0,85**	- 0,51*	- 0,72**	ns
Progênie 2	ns	ns	0,93**	- 0,61**	- 0,64**	- 0,42*
Progênie 3	ns	ns	0,91**	- 0,46*	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	0,86**	ns	- 0,48*	ns
Todos	ns	ns	0,88**	- 0,30**	- 0,46**	ns
Lenho						
Progênie 1	ns	ns	0,83**	ns	- 0,65**	- 0,97**
Progênie 2	ns	0,57**	0,83**	ns	- 0,60**	- 0,81**
Progênie 3	- 0,83**	ns	0,90**	- 0,65**	- 0,54**	- 0,86**
Progênie 4	- 0,73**	ns	0,91**	ns	ns	ns
Todos	- 0,48**	ns	0,84**	- 0,34*	- 0,50**	- 0,84**

** - significativo a 1 % de probabilidade: * - significativo a 5 % de probabilidade: ns - não significativo.

Figura 11. Concentração de potássio nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Figura 12. Concentração de potássio nos ramos, casca e lenho das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

As Figuras 13 e 14 mostram o efeito das doses de K sobre a concentração de Ca e Mg nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênies, respectivamente. As progênies 3 e 4 apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que a concentração de Ca nos diferentes tipos de folhas diminuiu linearmente com o aumento do fornecimento de potássio. Para as progênies 1 e 2, diminuiu linearmente até a dose de 175,5 mg L⁻¹, a partir da qual verificou-se uma tendência de estabilização da concentração desse macronutriente (Figura 13). Em relação as concentrações de Mg nas folhas, os dados revelam similaridade entre os materiais genéticos (Figura 14), com quedas acentuadas na concentração de Mg na medida em que se aumentou a dose de K

na solução até 175,5 mg L⁻¹, não havendo redução de Mg nas folhas entre esta dose e a de 526,5 mg L⁻¹.

Figura 13. Concentração de cálcio nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Figura 14. Concentração de magnésio nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Os dados de concentração dos macronutrientes nas várias partes da planta revelaram que a concentração de P nos ramos aumentou com o fornecimento de K na solução para todas as progênies, sendo os efeitos mais acentuados nas progênies 1 e 2 (Tabela 22). Constatou-se ainda, que as concentrações de N nas folhas diagnóstico diminuía com o aumento do K na solução, com exceção da progênie 1. Em relação ao enxofre, as concentrações nas folhas e no lenho decresciam com o maior suprimento de K. Tal fato é um efeito indireto do potássio, uma vez que com o aumento da dose de K na solução, uma maior quantidade de cloreto de potássio entrou na sua composição (Tabela 8). Portanto, os efeitos na inibição da absorção de sulfato ocorreram devido aos aumentos de cloreto na solução (Figura 15).

Efeito menos pronunciados ocorreram entre a concentração de cloro na solução e a de nitrogênio nas folhas diagnóstico, exceto para a progênie 1 (progênie 2 – $r = -0,53$; progênie 3 – $r = -0,63$ e progênie 4 – $r = -0,59$). Esses resultados são explicados pela inibição competitiva que ocorre entre o íon Cl^- e os íons SO_4^{2-} e NO_3^- (Malavolta et al., 1997). No presente estudo, as concentrações de cloro obtidas nas folhas diagnóstico nas doses mais elevadas foram consideradas altas com base em Boardman et al. (1997), que cita que valores acima de $4 \text{ g de Cl kg}^{-1}$ são elevados para *E. grandis* na fase juvenil.

Figura 15. Concentração de cloro e enxofre nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de cloro na solução nutritiva.

As concentrações de enxofre nas folhas diagnóstico encontradas na maior dose de Cl foram de 1,5, 1,1, 1,4 e 1,3 g kg^{-1} , respectivamente nas progênies 1, 2, 3 e 4 (Figura 15). Os valores obtidos para a progênie 2 foram considerados deficientes com

base em Malavolta (1987) e Silveira et al. (1999), os quais citam que a deficiência de S está associada a valores de 0,8 a 1,2 g kg⁻¹ e < 1,3 g kg⁻¹ nas folhas de eucalipto, respectivamente. Nas demais progênies, as concentrações de enxofre também não foram consideradas adequadas (1,5 a 2,3 g de S kg⁻¹) de acordo com Dell et al (1995), Gonçalves (1995), Boardman et al. (1997) e Silveira et al. (1999), com exceção da progênie 4, cujo os valores estavam no limite inferior da faixa adequada. As concentrações de enxofre nas folhas diagnóstico explicariam a clorose generalizada das folhas novas descritas no item 4.2.2.

4.4.3 Concentração dos micronutrientes em função das progênies

A Tabela 23 mostra a concentração dos micronutrientes nos diferentes tipos de folhas em função do material genético. Em relação a concentração de boro, não houve diferença significativa entre as progênies tanto para as folhas novas como velhas. A única diferença foi encontrada na folha diagnóstico, quando comparou-se a progênie 1 com a progênie 4. Nos três tipos de folhas ocorreram diferenças significativas entre as progênies para a concentração de cobre, principalmente nas folhas novas. Neste caso, a progênie 1 apresentou maior concentração quando comparada com as demais, sendo que a mesma tendência foi constatada para as folhas velhas e diagnóstico.

Os materiais genéticos também diferiram em relação a concentração de ferro nas folhas. Nas folhas novas, a maior concentração foi obtida na progênie 1, diferindo estatisticamente da progênie 3. Nas folhas velhas, verificou-se que a progênie 1 apresentou maior concentração de Fe quando comparada com as progênies 3 e 4. Para a folha diagnóstico, as diferenças ocorreram entre a progênie 4 e as progênies 2 e 3, sendo a maior concentração encontrada na primeira. Não houve diferença entre os genótipos para a concentração de Mn nas folhas diagnóstico. No entanto, observou-se maior concentração nas progênies 2 e 3 em relação as progênies 1 e 4, para as folhas novas, enquanto que nas folhas velhas a menor concentração foi encontrada na progênie 4.

Em relação ao zinco, as maiores concentrações nas folhas novas e velhas foram verificadas na progênie 1. Resultados diferentes foram verificados para as folhas

diagnóstico, uma vez que as maiores concentrações foram encontradas nas progênes 3 e 4.

De maneira geral, as concentrações de B, Cu, Mn e Zn nas folhas diagnóstico de todas as progênes estavam dentro das faixas ditas como adequadas para o crescimento do *E. grandis*, segundo Dell et al. (1995), Boardman et al. (1997) e Silveira et al. (1999). A única exceção foi o ferro, cujas as concentrações obtidas estavam adequadas somente de acordo com Boardman et al. (1997), cuja a faixa está entre 50 e 156 mg de Fe kg⁻¹. No entanto, pelos outros autores, as concentrações obtidas nas progênes 1, 2 e 3 estavam abaixo da faixa adequada, que varia de 63 a 128 mg de Fe kg⁻¹ (Dell et al., 1995; Silveira et al., 1999).

A concentração de B, Cu, Fe e Mn nos ramos diferiu em função do material genético (Tabela 24). Para o boro, a progênie 1 apresentou valor mais elevado em relação as progênes 3 e 4. A concentração de cobre foi mais alta nas progênes 3 e 4 quando comparadas com a progênie 2. Já em relação a concentração de ferro, verificou-se que a progênie 2 foi superior as demais. A única diferença observada para manganês foi entre as progênes 2 e 3, com maior concentração na primeira.

Não foi observada diferença entre os materiais genéticos para a concentração de ferro na casca (Tabela 24). Para o boro, menor concentração foi constatada na progênie 2 quando comparada com as progênes 1 e 4. A única diferença para a concentração de cobre na casca ocorreu entre as progênes 1 e 4, com superioridade da última. Em relação ao manganês, a progênie 2 apresentou concentração mais alta que a progênie 3. A progênie 4 apresentou maior concentração de zinco somente quando comparada com a progênie 1.

Os materiais genéticos diferiram quanto a concentração dos micronutrientes no lenho (Tabela 24). A maior concentração de boro foi observada na progênie 1, que diferiu estatisticamente da progênie 4. Houve também diferença para a concentração de cobre, sendo que a progênie 1 foi superior as progênes 3 e 4. Em relação ao ferro, as concentrações mais altas foram verificadas nas progênes 1 e 2, as quais diferiram da progênie 3. Apesar das pequenas variações da concentração de zinco no lenho, as progênes 1 e 4 apresentaram maior teor em relação as progênes 2 e 3.

Tabela 23. Concentração de B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg ⁻¹					
Folhas novas					
Progênie 1	29 a	9 a	86 a	707 b	45 a
Progênie 2	30 a	6 b	84 ab	896 a	35 b
Progênie 3	30 a	6 b	70 b	818 a	34 b
Progênie 4	30 a	4 c	72 ab	653 b	30 b
Média	29,7	6,2	78,0	768,5	36,0
Folhas velhas					
Progênie 1	31 a	8 a	96 a	921 a	40 a
Progênie 2	28 a	5 b	82 ab	867 a	28 b
Progênie 3	28 a	5 b	67 b	861 a	29 b
Progênie 4	30 a	4 b	77 b	545 b	26 b
Média	29,2	5,5	80,5	798,5	30,7
Folhas diagnóstico					
Progênie 1	29 b	9 a	56 ab	600 a	24 b
Progênie 2	30 ab	7 b	51 b	500 a	27 ab
Progênie 3	31 ab	7 b	52 b	535 a	30 a
Progênie 4	32 a	8 ab	66 a	515 a	30 a
Média	30,5	7,7	56,2	537,5	27,7

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

4.4.4 Efeito das doses de potássio sobre a concentração dos micronutrientes

Na Tabela 25 são apresentados os coeficientes de correlações de Pearson entre as doses de potássio na solução e a concentração dos micronutrientes nas diferentes partes das plantas. A concentração de cobre nas folhas diminuiu com o aumento da dose de potássio, sendo mais marcante nas folhas novas. Resultados similares foram encontrados para o zinco nas folhas novas e diagnóstico. Considerando todas as progênies, não houve efeito da dose sobre a concentração de ferro nas várias partes da planta, com exceção das progênies 2 e 3 para as folhas novas e a casca, respectivamente. Os efeitos da dose de K sobre a concentração de Mn foram bastante pronunciados nas folhas velhas de todas as progênies. A concentração de Mn decrescia a medida que aumentava-se a adição de K. Em relação ao boro, os dados foram bastante consistente

para a concentração nas folhas diagnóstico, casca e lenho. Verificou-se que aumentos da concentração de boro nas folhas diagnóstico e na casca ocorreram com a elevação da dose de K, efeitos opostos foram verificados no lenho.

Tabela 24. Concentração de B, Cu, Fe, Mn e Zn nos ramos, casca e lenho das progênie de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg ⁻¹					
Ramos					
Progênie 1	13 a	7 ab	46 b	49 ab	15 a
Progênie 2	11 ab	6 b	65 a	54 a	16 a
Progênie 3	9 b	8 a	41 b	41 b	16 a
Progênie 4	9 b	8 a	46 b	45 ab	17 a
Média	10,5	7,2	49,5	47,2	16,0
Casca					
Progênie 1	22 a	14 b	31 a	135 ab	13 b
Progênie 2	17 b	16 ab	31 a	141 a	15 ab
Progênie 3	19 ab	16 ab	32 a	116 b	15 ab
Progênie 4	21 a	17 a	33 a	129 ab	17 a
Média	19,7	15,7	31,7	130,2	15,0
Lenho					
Progênie 1	9,3 a	9 a	23 a	95 a	6 a
Progênie 2	8,4 ab	8 ab	23 a	84 ab	5 b
Progênie 3	8,7 ab	6 b	17 b	74 ab	5 b
Progênie 4	8,1 b	7 b	18 ab	64 b	6 a
Média	8,6	7,5	20,2	79,2	5,5

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Existem poucos estudos mostrando o efeito da aplicação de K sobre a concentração de micronutrientes em *Eucalyptus*. Dentre estes, Schonau (1981) verificou que a concentração de Zn e Fe nas folhas de *E. grandis* decrescia com o maior suprimento de K. Resultados similares foram obtidos neste estudo em relação ao zinco. Porém, pouca influência do potássio em relação ao ferro.

Tabela 25. Coeficientes de correlações de Pearson entre as doses de potássio na solução nutritiva e a concentração dos micronutrientes nas partes das plantas das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material Genético	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folhas novas					
Progênie 1	ns	- 0,64**	ns	- 0,54**	ns
Progênie 2	ns	- 0,69**	- 0,71**	ns	- 0,55*
Progênie 3	0,58**	- 0,60**	ns	ns	- 0,48*
Progênie 4	ns	- 0,66**	ns	- 0,49*	- 0,57**
Todos	ns	- 0,63**	ns	ns	- 0,44**
Folhas velhas					
Progênie 1	ns	ns	ns	- 0,72**	ns
Progênie 2	ns	- 0,47*	ns	- 0,61**	ns
Progênie 3	ns	ns	ns	- 0,71**	ns
Progênie 4	ns	- 0,49*	ns	- 0,66**	ns
Todos	ns	- 0,43*	ns	- 0,66**	ns
Folhas diagnóstico					
Progênie 1	0,92**	- 0,44*	ns	ns	- 0,63**
Progênie 2	0,93**	ns	ns	ns	- 0,58**
Progênie 3	0,91**	- 0,42*	ns	ns	- 0,68**
Progênie 4	0,82**	- 0,70**	ns	ns	- 0,64**
Todos	0,89**	- 0,44**	ns	ns	- 0,58**
Ramos					
Progênie 1	ns	- 0,70**	ns	ns	ns
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 3	ns	- 0,77**	ns	ns	ns
Progênie 4	0,73**	- 0,45*	ns	ns	ns
Todos	ns	- 0,42**	ns	ns	ns
Casca					
Progênie 1	0,60**	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	ns	- 0,55**	ns	- 0,47*	ns
Progênie 3	0,54**	- 0,42*	- 0,60**	- 0,42*	ns
Progênie 4	0,422*	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	ns
Lenho					
Progênie 1	ns	ns	0,52*	ns	0,59**
Progênie 2	- 0,52*	- 0,64**	ns	ns	ns
Progênie 3	- 0,56**	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	- 0,40*	ns	ns	ns	ns
Todos	- 0,29*	- 0,37**	0,25*	ns	ns

** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

4.4.5 Relação entre a concentração de potássio nos tecidos vegetais e a produção de matéria seca lenhosa e total

Através das equações de regressões determinaram-se as concentrações nos tecidos foliares associadas a máxima produção, nível crítico (90 % da produção relativa) e zona de desequilíbrio (Tabelas 26 e 27).

As Tabelas 28 e 29 mostram as equações de regressões entre as concentrações de K nos ramos, casca e lenho e a produção de matéria seca total e lenhosa, respectivamente.

Tabela 26. Equações de regressões entre a produção de matéria seca total e a concentração de potássio nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênie de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Equação	Máxima produção (g/planta)	K nas folhas (g kg ⁻¹)			
			M.P. ¹	N.C. ²	Z.D. ³	
Folhas novas						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	$y = 336,56 + 22,532x - 0.8974x^2$	R ² =0,56**	478 (102)	12,5 (119)	5,2 (349)	> 19,9 (100)
Progênie 3	$y = 231,78 + 38,500x - 1,2689x^2$	R ² =0,80**	520 (111)	15,2 (148)	8,5 (569)	> 21,8 (109)
Progênie 4	$y = 432,42 + 6,820x - 0,3238x^2$	R ² =0,70**	468 (100)	10,5 (100)	1,5 (100)	> 22,6 (113)
Folhas velhas						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	$y = 378,07 + 23,751x - 1,4451x^2$	R ² =0,45**	476 (101)	8,2 (139)	2,5 (166)	> 13,9 (113)
Progênie 3	$y = 232,71 + 66,846x - 3,8640x^2$	R ² =0,75**	522 (111)	8,6 (146)	5,0 (333)	> 12,3 (100)
Progênie 4	$y = 439,31 + 9,957x - 0,8366x^2$	R ² =0,65**	469 (100)	5,9 (100)	1,5 (100)	> 13,4 (109)
Folhas diagnóstico						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	$y = 378,98 + 22,364x - 1,2043x^2$	R ² =0,53**	483 (100)	9,3 (104)	3,0 (100)	> 15,6 (105)
Progênie 3	$y = 299,94 + 43,192x - 2,0328x^2$	R ² =0,76**	529 (109)	10,6 (119)	5,5 (183)	> 15,9 (107)
Progênie 4	$y = 385,67 + 25,532x - 1,4277x^2$	R ² =0,81**	499 (103)	8,9 (100)	3,0 (100)	> 14,9 (100)

(1) - máxima produção; (2) - nível crítico: 90 % da máxima produção; (3) - zona de desequilíbrio. Os valores entre parênteses são referentes as diferenças percentuais em relação aos materiais genéticos.

Tabela 27. Equações de regressões entre a produção de matéria seca lenhosa e a concentração de potássio nas folhas novas, velhas e diagnóstico das progênie de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Equação	Máxima produção (g/planta)	K nas folhas (g kg ⁻¹)			
			M.P. ¹	N.C. ²	Z.D. ³	
Folhas novas						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	$y = 91,152 + 8,713x - 0,3339x^2$ $R^2=0,45^{**}$	148 (102)	13,0 (119)	6,4 (349)	> 19,7 (100)	
Progênie 3	$y = 60,660 + 18,319x - 0,5957x^2$ $R^2=0,66^{**}$	202 (111)	15,4 (148)	9,6 (569)	> 21,2 (109)	
Progênie 4	$y = 136,162 + 4,403x - 0,1902x^2$ $R^2=0,63^{**}$	162 (100)	11,6 (100)	2,4 (100)	> 20,7 (113)	
Folhas velhas						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	$y = 104,521 + 10,265x - 0,5971x^2$ $R^2=0,43^{**}$	149 (101)	8,6 (139)	3,7 (166)	> 13,5 (113)	
Progênie 3	$y = 58,295 + 32,488x - 1,8393x^2$ $R^2=0,65^{**}$	202 (111)	8,8 (146)	5,5 (333)	> 12,1 (100)	
Progênie 4	$y = 138,819 + 7,057x - 0,5222x^2$ $R^2=0,65^{**}$	165 (100)	6,7 (100)	1,6 (100)	> 12,0 (109)	
Folhas diagnóstico						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	$y = 103,790 + 10,525x - 0,5507x^2$ $R^2=0,74^{**}$	154 (100)	9,5 (110)	4,2 (131)	> 14,9 (106)	
Progênie 3	$y = 84,013 + 23,491x - 1,0841x^2$ $R^2=0,77^{**}$	211 (137)	10,8 (126)	6,4 (200)	> 15,3 (109)	
Progênie 4	$y = 127,800 + 10,181x - 0,5921x^2$ $R^2=0,56^{**}$	171 (111)	8,6 (100)	3,2 (100)	> 14,0 (100)	

(1) - máxima produção; (2) - nível crítico: 90 % da máxima produção; (3) - zona de desequilíbrio. Os valores entre parênteses são referentes as diferenças percentuais em relação aos materiais genéticos.

Tabela 28. Equações de regressões entre a produção de matéria seca total e a concentração de potássio nos ramos, casca e lenho das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Equação	Máxima produção (g/planta)	K no tecido (g kg ⁻¹)		
			M.P. ¹	N.C. ²	Z.D. ³
Ramos					
Progênie 1	Não significativo				
Progênie 2	$y = 348,21 + 103,866x - 21,207x^2$ R ² =0,44**	475 (100)	2,44 (118)	0,95 (161)	3,94 (112)
Progênie 3	$y = 283,35 + 141,727x - 25,360x^2$ R ² =0,49**	481 (101)	2,79 (135)	1,42 (241)	4,17 (118)
Progênie 4	$y = 320,01 + 131,234x - 26,583x^2$ R ² =0,76**	482 (101)	2,06 (100)	0,59 (100)	3,53 (100)
Casca					
Progênie 1	Não significativo				
Progênie 2	$y = 320,01 + 131,234x - 26,583x^2$ R ² =0,76**	482 (100)	2,47 (100)	1,12 (100)	3,81 (102)
Progênie 3	$y = 178,79 + 233,671x - 43,714x^2$ R ² =0,58**	491 (102)	2,67 (108)	1,61 (144)	3,73 (100)
Progênie 4	Não significativo				
Lenho					
Progênie 1	Não significativo				
Progênie 2	$y = 347,08 + 111,935x - 21,470x^2$ R ² =0,52**	493 (100)	2,60 (100)	1,09 (100)	4,12 (108)
Progênie 3	$y = 233,82 + 215,032x - 40,024x^2$ R ² =0,81**	523 (106)	2,69 (103)	1,55 (142)	3,82 (100)
Progênie 4	Não significativo				

(1) - máxima produção; (2) - nível crítico: 90 % da máxima produção; (3) - zona de desequilíbrio. Os valores entre parênteses são referentes as diferenças percentuais em relação aos materiais genéticos.

Tabela 29. Equações de regressões entre a produção de matéria seca lenhosa e a concentração de potássio nos ramos, casca e lenho das progênie de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Equação	Máxima produção (g/planta)	K no tecido (g kg ⁻¹)			
			M.P. ¹	N.C. ²	Z.D. ³	
Ramos						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	y = 93,35 + 44,719x – 9,093x ²	R ² =0,46**	148 (100)	2,46 (122)	1,17 (162)	3,75 (113)
Progênie 3	y = 89,735 + 62,461x – 10,736x ²	R ² =0,40**	180 (122)	2,90 (144)	1,59 (221)	4,22 (127)
Progênie 4	y = 124,152 + 39,700x – 9,852x ²	R ² =0,51**	164 (111)	2,01 (100)	0,72 (100)	3,31 (100)
Casca						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	y = 92,987 + 43,501x – 8,685x ²	R ² =0,47**	147 (100)	2,50 (100)	1,18 (100)	3,82 (103)
Progênie 3	y = 37,282 + 108,423x – 19,815x ²	R ² =0,50**	186 (126)	2,73 (109)	1,78 (151)	3,69 (100)
Progênie 4	Não significativo					
Lenho						
Progênie 1	Não significativo					
Progênie 2	y = 93,09 + 48,074x – 9,207x ²	R ² =0,56**	156 (100)	2,61 (100)	1,31 (106)	3,90 (107)
Progênie 3	y = 64,06 + 100,205x – 18,462x ²	R ² =0,68**	200 (128)	2,71 (104)	1,24 (100)	4,19 (100)
Progênie 4	Não significativo					

(1)- máxima produção; (2)- nível crítico: 90 % da máxima produção; (3)- zona de desequilíbrio. Os valores entre parênteses são referentes as diferenças percentuais em relação aos materiais genéticos.

Os materiais genéticos responderam de maneira diferenciada na produção de matéria seca lenhosa em função da variação das concentrações de K nas folhas diagnóstico (Figura 16). A progênie 1 apresentou pequena variação na produção quando a concentração de K nas folhas variou de 2 a 21 g kg⁻¹. Esse material genético foi considerado pouco exigente, como também, tolerante à concentrações mais elevadas de K no tecido foliar. Efeitos contrários foram observados para as progênies 2 e 3. Já a progênie 4, foi considerada de baixa exigência em potássio, mas não tolerante a altas concentrações de K nas folhas. Os resultados obtidos confirmaram as observações

preliminares feitas em condições de campo sendo as progênies 1 e 4 consideradas de baixa exigência em potássio, enquanto que as progênies 2 e 3 exigentes em potássio¹.

A máxima produção de matéria seca lenhosa para as progênies 2, 3 e 4 foram obtidas quando as plantas apresentavam concentrações foliares de 9,5, 10,8 e 8,6 g de K kg⁻¹, respectivamente (Figura 16). O nível para obtenção de 90 % da máxima produção foi bastante diferente entre os materiais genéticos, sendo de: 6,4 g kg⁻¹ para a progênie 3, 4,2 g kg⁻¹ para a progênie 2 e de 3,1 g kg⁻¹ para a progênie 4. A faixa adequada de K nas folhas diagnóstico das progênies 3, 2, 4 e 1 foram, respectivamente de: 6,4 a 15,3 g kg⁻¹; 4,2 a 14,9 g kg⁻¹; 3,1 a 14 g kg⁻¹ e 2,0 a 22 g kg⁻¹. Comparando as faixas adequadas de K obtidas com as propostas como adequadas para espécies de *Eucalyptus*, constatou-se que os limites inferiores estavam bem abaixo dos encontrados em *E. grandis* - 12 a 24 g kg⁻¹ (Dell et al., 1995), *E. pellita* - 9 a 15 g kg⁻¹ (Dell et al., 1995), *E. urophylla* - 8 a 14 g kg⁻¹ (Boardman et al. (1997), *E. globulus* - 8 a 12 g kg⁻¹ (Boardman et al. (1997), *E. saligna* - 8,5 a 10 g kg⁻¹ (Silveira et al., 1998), *E. urophylla* - 8 a 14 g kg⁻¹ (Dell et al., 1995) e *E. dunnii* - 8 a 15 g kg⁻¹ (Boardman et al., 1997). No entanto, Novais et al. (1980) determinaram que a faixa adequada para mudas de *E. grandis* situava-se entre 3,1 a 8,1 g de K kg⁻¹, valores mais próximos aos encontrados neste estudo. Os valores de potássio considerados adequados para *E. pilularis* na fase juvenil (3,5 a 5,0 g kg⁻¹) por Cromer et al. (1981), *E. globulus* adulto (5 a 12 g kg⁻¹) e *E. grandis* adulto (6 a 18 g kg⁻¹) por Boardman et al. (1997) foram análogos aos obtidos no presente estudo.

Uma das explicações para as concentrações adequadas de K serem menores que as obtidas em outros trabalhos, seria que as progênies provenientes da região de Itatinga/SP foram selecionadas em solos arenosos com baixos teores de K trocável (0,2 a 0,6 mmol_c dm⁻³).

A Figura 17 mostra a relação entre a concentração de potássio nas folhas diagnóstico e a produção de matéria seca total. As tendências foram as mesmas observadas para a produção de lenho, exceto a progênie 1, que apresentou quedas lineares em função da dose de K na solução nutritiva. As quedas na MS total desse genótipo foram ocasionadas pela redução na produção de folhas e ramos.

1 – Comunicação pessoal do Eng. Shinitiro Oda da Companhia Suzano de Papel e Celulose

Figura 16. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da concentração de potássio nas folhas diagnóstico.

Figura 17. Produção de matéria seca total das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da concentração de potássio nas folhas diagnóstico.

4.4.6 Relação entre N/K, K/P, K/Ca, K/Mg, K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e a produção de matéria seca lenhosa

Os efeitos da relação N/K nas folhas diagnóstico sobre a produção de lenho mostraram que não houve relação significativa para as progênes 1 e 2 (Figura 18). A máxima produção foi obtida quando a relação N/K foi de 4,2 para a progênie 3 e 5,5 para a progênie 4. O nível crítico da razão N/K nas folhas das progênes 3 e 4 foi de 1,6 e 2,7, respectivamente. Ocorreu quedas na produtividade quando a razão N/K nas folhas foi maior que 6,8 para a progênie 3 e 8,3 para a progênie 4. Herbert (1996) constatou que a relação N/K considerada adequada para o crescimento do *E. grandis* foi de 3,5, valor abaixo dos obtidos para a produção máxima neste estudo.

As progênes 2, 3 e 4 apresentaram respostas na produção de lenho conforme a razão K/P nas folhas diagnóstico (Figura 19). As variações de produção para a progênie 2 foram pequenas quando comparadas as progênes 3 e 4. As progênes 2, 3 e 4 apresentaram máxima produção quando as suas plantas tinham no tecido foliar razões K/P de 7,6, 8,6 e 5,8 respectivamente. Verifica-se que para alcançar 90 % da máxima produção, a relação foi de 2,5 K/1P na progênie 2 e 3,7 K/1P na progênie 3. Independente do material genético, razões foliares acima de 10 K/1P provocaram decréscimos na produtividade. Herbert (1996) relata que a razão foliar K/P ótima para o desenvolvimento do *E. grandis* estava em torno de 5, valor abaixo do encontrado para máxima produção das progênes neste trabalho.

Figura 18. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da razão N/K nas folhas diagnóstico.

Figura 19. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da razão K/P nas folhas diagnóstico.

As progênies apresentaram comportamentos diferenciados para a produção de lenho conforme variou-se a razão K/Ca nas folhas diagnóstico (Figura 20). Não houve efeito da razão K/Ca sobre a produção de lenho na progênie 1. A progênie 3 foi a que apresentou maior incremento na produção com o aumento da razão K/Ca nas folhas. Neste genótipo, o nível crítico foi de 0,9K/1,0Ca, maior que o encontrado na progênie 2. A máxima produção foi alcançada quando as plantas das progênies 2, 3 e 4 apresentaram razão foliar de K/Ca nas folhas de 1,4, 1,6 e 1,3, respectivamente. Esses valores estão

dentro da faixa considerada adequada (1,3 a 1,8 K/1Ca) para *E. grandis* por Silveira et al. (1999). Os mesmos autores verificaram redução na produtividade quando as relações foliares de K/Ca eram menores que 1,0.

Figura 20. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da razão K/Ca nas folhas diagnóstico.

Não houve relação entre a razão foliar K/Mg e a matéria seca lenhosa na progênie 1 (Figura 21). As relações K/Mg de 2,2 e 2,4 estavam associadas as máximas produções de lenho para as progênies 2 e 3, respectivamente. O nível crítico encontrado foi de 0,8 para a progênie 2 e 1,2 para a progênie 3. A produção de lenho da progênie 4

mostrou-se estável quando as relações K/Mg variaram de 0,5 a 4,0. Para valores acima ocorreram quedas acentuadas da MS lenhosa.

Figura 21. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da razão K/Mg nas folhas diagnósticos.

Não houve relação significativa na progênie 1 entre a razão K/Ca+Mg nas folhas e a produção de lenho (Figura 22). A relação K/Ca+Mg de 0,8 proporcionou a máxima produção de lenho para as progênies 2 e 4, enquanto que para a progênie 3, o valor foi de 1,0. Verificou-se que 90 % da produção máxima foi alcançada quando as

plantas apresentavam a razão K/Ca+Mg nas folhas de 0,3 e 0,5 no caso das progênies 2 e 3, respectivamente. A produção de lenho diminuiu nas progênies 2, 3 e 4 quando a razão foliar ultrapassou o valor de 1,4.

Figura 22. Produção de matéria seca lenhosa das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da razão K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico.

4.5 Acúmulo dos nutrientes nas progênes de *Eucalyptus grandis*

4.5.1 Acúmulo dos macronutrientes em função das progênes

Na Tabela 30 são apresentados os conteúdos de N, P e S nas várias partes das plantas. As maiores quantidades de nitrogênio e enxofre estavam alocadas nas folhas, variando de 80,2 a 83,6% do N total e 64,4 a 69,5% do S total, conforme a progênie analisada. Não foram detectadas diferenças entre os genótipos para o conteúdo de N e S nas folhas, ramos e total. Entretanto, na casca e no lenho, o conteúdo de N refletiu o acúmulo de biomassa, sendo que a maior quantidade foi observada na progênie 3 quando comparada as demais. Os materiais genético apresentaram comportamentos diferenciados em relação ao acúmulo de fósforo. Para as folhas, a progênie 4 apresentou maior quantidade de P quando confrontada com a progênie 3. As plantas das progênes 1 e 2 apresentaram maiores conteúdos de P nos ramos em relação as outras duas. A única diferença para a quantidade de P alocada na casca ocorreu entre as progênes 1 e 2, sendo esta maior na primeira. O maior conteúdo de P no lenho foi encontrado na progênie 3, sendo este, reflexo da maior produção de lenho deste material genético. As progênes 1 e 2 apresentaram menor quantidade de S na casca quando comparadas as progênes 3 e 4. Em relação ao lenho, a progênie 3 acumulou maior quantidade de S que a progênie 4.

A maior quantidade imobilizada de K e Mg foi encontrada nas folhas, cerca de 58,9 a 67,1 % do K total e 49,9 a 54,3% do Mg total conforme o material genético analisado (Tabela 31). O cálcio foi uma exceção, uma vez que a quantidade nas folhas foi em média 33,7% do Ca total, e na casca, 34,9% do Ca total, diferindo dos demais macronutrientes, onde a maior quantidade estava presente nas folhas. A explicação seria que apesar da produção de casca ser inferior em 55% a de folhas, a concentração de Ca na casca (21,3 g kg⁻¹ na média) chegou a ser o dobro da encontrada nas folhas (9,5 g kg⁻¹ na média).

A progênie 4 apresentou maior quantidade de K nas folhas em relação as progênes 1 e 3 (Tabela 31). Para os ramos, o resultados obtidos foram opostos, sendo

que o maior conteúdo de K ocorreu na progênie 1 quando confrontada com as progênies 3 e 4. A progênie 3 foi a que apresentou maior quantidade de potássio na casca e no lenho. Em relação ao cálcio, houve diferença entre os materiais genéticos apenas para a quantidade nos ramos e na casca. Na casca, os maiores conteúdos foram encontrados nas progênies 1 e 3, enquanto que nos ramos, a progênie que menos acumulou Ca foi a progênie 3. Para a quantidade de Mg alocada nas várias partes da planta, constatou-se efeito dos materiais genéticos para a casca e o lenho, sendo que em ambos os órgãos, a maior quantidade foi encontrada na progênie 3.

O maior acúmulo de macronutrientes nas folhas é contraditório aos resultados obtidos, em condições de campo, para *E. grandis* com 7 anos (Bellote, 1979), *E. fastigata* e *E. nitens* (Madgwick et al., 1981), *E. regnans* com 17 anos de idade (Frederick et al., 1985), *E. citriodora* e *E. saligna* com 9 anos (Pereira et al., 1984), *E. grandis* com 6 anos (Reis et al., 1987) e *E. grandis* com 8 anos (Morais et al., 1990). Em idades mais avançadas, cerca de 70 a 90 % da quantidade total dos nutrientes estava presente no caule (lenho + casca). A diferença entre tais resultados ocorre, porque na fase juvenil (1 ano), a participação da matéria seca de folhas na biomassa total é de 30%, enquanto que em povoamentos adultos, varia na média de 2,5% para *E. regnans* com 17 anos de idade a 8,5% para *E. saligna* (Pereira et al., 1984). Além é claro, das folhas serem os órgãos com maior concentração de macronutrientes, exceto o cálcio.

As diferenças genéticas em relação ao acúmulo de nutrientes nas diferentes partes da planta, também foram verificadas por Pereira et al. (1984) ao comparar *E. saligna* com *E. citriodora*. Os resultados mostraram que o *E. citriodora* acumulou mais nutriente que o *E. saligna*, sendo mais exigente. No entanto, no caso de progênies de *Eucalyptus*, os estudos são raros.

Tabela 30. Conteúdo de nitrogênio, fósforo e enxofre nas partes das plantas das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Folhas	Ramos	Casca	Lenho	Total
N (mg/planta)					
Progênie 1	2618 a (80,2)	287 a (8,8)	194 a (5,9)	168 b (5,1)	3267 a
Progênie 2	2840 a (82,5)	261 a (7,6)	179 ab (5,2)	162 b (4,7)	3442 a
Progênie 3	2689 a (80,3)	253 a (7,6)	193 a (5,8)	211 a (6,3)	3346 a
Progênie 4	3008 a (83,6)	269 a (7,5)	160 b (4,4)	163 b (4,5)	3600 a
Média	2789 (81,7)	267 (7,8)	181 (5,3)	176 (5,2)	3413
P (mg/planta)					
Progênie 1	205 ab (38,0)	110 a (20,4)	148 a (27,4)	77 b (14,2)	540 a
Progênie 2	209 ab (39,3)	117 a (22,1)	127 b (23,9)	78 b (14,7)	531 a
Progênie 3	189 b (37,5)	83 b (16,5)	139 ab (27,6)	93 a (18,4)	504 a
Progênie 4	229 a (43,4)	84 b (15,9)	137 ab (25,9)	78 b (14,8)	528 a
Média	208 (39,6)	98 (18,7)	138 (26,3)	81 (15,4)	525
S (mg/planta)					
Progênie 1	307 a (68,4)	48 a (10,7)	50 b (11,1)	44 ab (9,8)	449 a
Progênie 2	297 a (69,2)	45 a (10,5)	45 b (10,5)	42 ab (9,8)	429 a
Progênie 3	286 a (64,4)	53 a (11,9)	55 a (12,4)	50 a (11,3)	444 a
Progênie 4	353 a (69,5)	59 a (11,6)	50 a (9,8)	46 b (9,1)	508 a
Média	311 (68,1)	51 (11,1)	50 (10,9)	45 (9,9)	457

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Os valores entre parênteses são percentuais em relação ao conteúdo total.

Tabela 31. Conteúdo de potássio, cálcio, magnésio nas partes das plantas das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Folhas	Ramos	Casca	Lenho	Total
K (mg/planta)					
Progênie 1	1099 c (58,9)	216 a (11,6)	149 b (8,0)	401 ab (21,5)	1865 a
Progênie 2	1315 ab (64,6)	209 ab (10,2)	152 b (7,5)	360 bc (17,7)	2036 a
Progênie 3	1157 bc (59,4)	193 b (9,9)	173 a (8,9)	424 a (21,8)	1947 a
Progênie 4	1349 a (67,1)	186 b (9,3)	139 b (6,9)	336 c (16,7)	2010 a
Média	1230 (62,6)	201 (10,2)	153 (7,8)	380 (19,4)	1964
Ca (mg/planta)					
Progênie 1	1413 a (32,4)	1116 a (25,6)	1555 a (35,6)	282 a (6,4)	4366 a
Progênie 2	1449 a (36,1)	996 ab (24,8)	1331 ab (33,1)	242 a (6,0)	4018 a
Progênie 3	1155 a (30,2)	900 b (23,5)	1498 a (39,2)	270 a (7,1)	3823 a
Progênie 4	1418 a (36,1)	1012 ab (25,8)	1250 b (31,9)	243 a (6,2)	3923 a
Média	1359 (33,7)	1006 (25,0)	1408 (34,9)	259 (6,4)	4032
Mg (mg/planta)					
Progênie 1	726 a (54,3)	342 a (25,6)	166 b (12,4)	103 ab (7,7)	1337 a
Progênie 2	785 a (54,3)	407 a (28,2)	163 b (11,3)	90 ab (6,2)	1445 a
Progênie 3	732 a (52,4)	344 a (24,6)	215 a (15,4)	107 a (7,6)	1398 a
Progênie 4	787 a (49,9)	496 a (31,5)	208 a (13,2)	86 b (5,4)	1577 a
Média	757 (52,6)	397 (27,6)	188 (13,1)	96 (6,7)	1438

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade. Os valores entre parênteses são percentuais em relação ao conteúdo total.

4.5.2 Acúmulo dos macronutrientes em função das doses de potássio

Os conteúdos de potássio nas várias partes da planta em função da dose de potássio na solução nutritiva são apresentados na Figura 23. Em função da queda acentuada de produção de matéria seca na dose mais alta de potássio na solução conforme já discutido anteriormente, ocorreram incrementos decrescentes no conteúdo de K entre a dose de 175,5 e 526,5 mg L⁻¹. Em todas as doses de potássio, o conteúdo de potássio nas progênes obedeceu a seguinte ordem: folhas > lenho > ramos > casca.

Figura 23. Quantidade acumulada de K nas folhas, ramos, casca, lenho e total das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

O conteúdo total dos macronutrientes variou em função das doses utilizadas de potássio na solução nutritiva (Figura 24). O conteúdo de fósforo não apresentou variações significativas com o aumento da dose de K. De maneira geral, os conteúdos dos macronutrientes decresceram com o aumento do fornecimento de potássio as plantas, com exceção do K.

Na ausência de K, a quantidade total desse macronutriente foi praticamente igual a de enxofre. Verifica-se ainda que o conteúdo total de potássio nas progênies 2, 3 e 4 foi maior que o de cálcio e o de nitrogênio somente na dose mais elevada de potássio. A quantidade total acumulada de Mg foi superior a de potássio quando as plantas foram cultivadas tanto na ausência como na dose de 58,5 mg L⁻¹, principalmente na primeira situação. Independentemente da progênie, as extrações totais dos macronutrientes foram a seguinte: a) na ausência de K: Ca > N > Mg >> K ≥ S; b) na dose de 58,5 mg L⁻¹: Ca > N > Mg > K > S; c) na dose de 175,5 mg L⁻¹: Ca > N > K >> Mg > S; d) na dose de 526,5 mg L⁻¹: K ≥ Ca ≥ N > Mg > S (Figura 24).

Os resultados de acúmulos totais de nutrientes na dose de 175,5 mg de K L⁻¹, estão de acordo com os encontrados por Moraes et al. (1990) em *E. grandis* na região de Viçosa/MG e Paraopeba/MG e por Bellote (1979) em *E. grandis* na região de Mogi Guaçu/SP. Em ambos os estudos, o potássio foi o terceiro nutriente em quantidade extraída, ficando abaixo somente do nitrogênio e do cálcio.

Figura 24. Quantidade total acumulada de N, K, Ca, Mg e S nas progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.5.3 Acúmulo dos micronutrientes em função das progênies

O manganês foi o micronutriente com maior conteúdo total quando comparado aos demais, sendo na média cerca de 6,5 vezes mais acumulado que o ferro (Tabela 32). De maneira geral, a ordem no conteúdo total foi: Mn > Fe > Zn = B > Cu. A maior quantidade de B, Fe, Mn e Zn estava presente nas folhas, principalmente para o Mn, cerca de 80 % do conteúdo total. O cobre respondeu de forma diferenciada ao acúmulo de nutriente, uma vez que as suas quantidades nas partes da planta apareceram

em proporções mais equilibradas quando comparado aos outros micronutrientes (25,9 % nas folhas, 16,8% nos ramos, 28,4% na casca e 28,9% no lenho).

Um dos poucos trabalhos realizados sobre a extração de micronutrientes por *Eucalyptus* foi desenvolvido por Bellote (1979), que encontrou elevada quantidade total de Mn, sendo esta cerca de 3,5 vezes maior que a de ferro. A ordem do conteúdo total dos micronutrientes foi: $Mn > Fe > B > Cu > Zn$.

A diferença marcante em relação aos dados do presente estudo é que no caso de Bellote (1979), a quantidade de Zn acumulada foi a menor entre os micronutrientes. Provavelmente, a floresta amostrada por Bellote (1979) poderia estar com concentrações deficientes de Zn nos tecidos vegetais.

Entre as progênies estudadas, não foi constatada diferença significativa para: a) conteúdo de Cu nas folhas, na casca, no lenho e total; b) conteúdo de Fe na casca e no lenho; c) conteúdo de Mn nas folhas, na casca, no lenho e total; d) conteúdo de zinco nas folhas, ramos, casca e total. Em relação ao boro, a progênie 1 apresentou maior quantidade total quando comparada com a progênie 3. As maiores quantidades de B nas folhas ocorreram nas plantas das progênies 2 e 4, enquanto que para os ramos, o maior conteúdo foi observado na progênie 1. Ao comparar as progênies, verificou-se também que as menores quantidades de B na casca ocorriam nas plantas da progênie 1. A única diferença entre os materiais genéticos para a quantidade de cobre ocorreu nos ramos, sendo que a progênie 4 acumulou mais em relação a progênie 2. Por outro lado, o conteúdo de ferro nas folhas foi menor na progênie 3 quando comparada as progênies 2 e 4, enquanto que para os ramos, as diferenças foram entre a progênie 2 e as progênies 3 e 4, com maior conteúdo na primeira. A progênie 1 apresentou maior conteúdo de Mn nos ramos em relação a progênie 3. O efeito dos materiais genéticos sobre o conteúdo de zinco foram verificados quando a parte da planta analisada era o lenho, com maior quantidade na progênie 3 em relação a progênie 2.

Tabela 32. Conteúdo de boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas partes das plantas das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	Folhas	Ramos	Casca	Lenho	Total
B (mg/planta)					
Progênie 1	4,10 ab (49,9) ²	1,29 a (15,7)	1,53 a (18,6)	1,30 ab (15,8)	8,22 a
Progênie 2	4,54 a (58,4)	1,00 b (12,9)	1,10 c (14,1)	1,14 b (14,6)	7,78 ab
Progênie 3	3,75 b (51,5)	0,71 c (9,8)	1,37 ab (18,8)	1,45 a (19,9)	7,28 b
Progênie 4	4,53 a (58,3)	0,73 c (9,4)	1,29 bc (16,6)	1,22 ab (15,7)	7,77 ab
Média	4,23 (54,5)	0,93 (12,0)	1,32 (17,0)	1,28 (16,5)	7,76
Cu (mg/planta)					
Progênie 1	1,00 a (26,5)	0,65 ab (17,2)	0,95 a (25,2)	1,17 a (31,1)	3,77 a
Progênie 2	0,91 a (27,1)	0,45 b (13,4)	1,05 a (31,2)	0,95 a (28,3)	3,36 a
Progênie 3	0,81 a (22,5)	0,61 ab (16,9)	1,12 a (31,1)	1,06 a (29,5)	3,60 a
Progênie 4	1,04 a (27,4)	0,72 a (19,0)	1,01 a (26,6)	1,02 a (26,9)	3,79 a
Média	0,94 (25,9)	0,61 (16,8)	1,03 (28,4)	1,05 (28,9)	3,63
Fe(mg/planta)					
Progênie 1	10,38 ab (52,1)	4,36 ab (21,9)	2,10 a (10,6)	3,07 a (15,4)	19,90 ab
Progênie 2	10,75 a (49,5)	6,00 a (27,6)	1,99 a (9,1)	3,01 a (13,8)	21,73 a
Progênie 3	8,18 b (49,1)	3,35 b (20,1)	2,29 a (13,7)	2,86 a (17,1)	16,65 b
Progênie 4	11,67 a (57,6)	3,98 b (19,6)	1,96 a (9,7)	2,67 a (13,1)	20,26 a
Média	10,24 (52,1)	4,42 (22,5)	2,08 (10,6)	2,90 (14,8)	19,64
Mn (mg/planta)					
Progênie 1	122,74 a (79,9)	7,70 a (5,0)	9,43 a (6,1)	13,84 a (9,0)	153,71 a
Progênie 2	97,52 a (79,8)	6,06 ab (4,9)	8,75 a (7,2)	9,85 a (8,1)	122,18 a
Progênie 3	90,80 a (79,1)	5,51 b (4,8)	8,24 a (7,1)	10,28 a (9,0)	114,83 a
Progênie 4	101,34 a (80,5)	5,86 ab (4,7)	8,00 a (6,3)	10,63 a (8,5)	125,83 a
Média	103,10 (79,8)	6,28 (4,9)	8,60 (6,6)	11,15 (8,6)	129,13
Zn (mg/planta)					
Progênie 1	4,01 a (56,4)	1,54 a (21,6)	0,80 a (11,3)	0,76 ab (10,7)	7,11 a
Progênie 2	4,57 a (59,2)	1,56 a (20,2)	0,93 a (12,0)	0,66 b (8,6)	7,72 a
Progênie 3	4,39 a (57,2)	1,26 a (16,5)	1,10 a (14,3)	0,92 a (12,0)	7,67 a
Progênie 4	5,41 a (62,1)	1,45 a (16,6)	1,03 a (11,8)	0,83 ab (9,5)	8,72 a
Média	4,60 (59,0)	1,45 (18,6)	0,96 (12,3)	0,79 (10,1)	7,80

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Valores entre parênteses são percentuais em relação ao conteúdo total.

4.5.4 Acúmulo dos micronutrientes em função das doses de potássio

Os efeitos das doses de K sobre o quantidade total acumulada de Cu, Mn e Zn são apresentados na Figura 25. O conteúdo total de cobre teve comportamento semelhante para as progênes 1, 2 e 4, sendo que com o aumento das doses de K ocorreu quedas lineares na quantidade extraída desse micronutriente. Para a progênie 3, os efeitos foram quadráticos refletindo o acúmulo de biomassa em função das doses de K. Em relação ao manganês, as progênes 1 e 4 apresentaram quedas acentuadas no

conteúdo total com o aumento do fornecimento de K. Os efeitos das doses de K sobre a quantidade total de Mn para as progênies 2 e 3 foram quadráticos, sendo estes reflexos da produção de matéria seca total. O conteúdo total de zinco das progênies 1, 3 e 4 decresceram linearmente com o aumento do suprimento de potássio. Os efeitos das doses de K sobre o conteúdo total de B e Fe nas progênies não foram significativos.

Figura 25. Quantidade total acumulada de Cu, Mn e Zn das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.6 Eficiência de utilização de K pelas progênes de *Eucalyptus grandis*

4.6.1 Produção de matéria seca total e lenhosa

Para a comparação da eficiência de utilização de potássio pelas progênes foi calculado o índice EKT através das equações de regressões entre a matéria seca total ou lenhosa produzida e o conteúdo de K na planta (Figuras 26 e 27). O índice EKT é expresso pelo quociente entre a quantidade de matéria seca produzida e a unidade de potássio contido na planta.

A relação entre a quantidade absorvida de K e a produção de matéria seca lenhosa ou total não foi significativa para a progênie 1 (Figuras 26 e 27). Não ocorreram diferenças significativas entre as progênes 3 e 4, para a eficiência de utilização de K tanto para a produção de matéria seca total como lenhosa (Figuras 26 e 27), embora a progênie 3 tenha sido mais responsiva à adição de potássio. As duas progênes apresentaram maior eficiência em relação a progênie 2. Ao comparar as progênes, verificou-se que para a produção de uma unidade de matéria seca total, as progênes 1 e 3 consumiam 17% e 5% a mais de potássio que a progênie 4, respectivamente. A baixa eficiência de utilização de potássio pela progênie 2 ficou mais evidente em relação a produção de lenho. Essa progênie necessitou de 35% a mais de K que a progênie 3 para produzir a mesma quantidade de lenho (Figura 27).

Barros et al. (1985) verificaram que não existe necessariamente uma relação direta entre a produção de biomassa e a eficiência de utilização dos nutrientes por clone de *Eucalyptus*. Resultados semelhantes foram encontrados entre as progênes 3 e 4, sendo que a produção de lenho foi maior na progênie 3, sem haver diferenças entre elas na eficiência de utilização de K. Souza (1994) também encontrou diferenças significativas entre 15 clones de *E. grandis*, na região de Quartel Geral/MG, quanto a eficiência de uso de potássio. Resultados similares foram obtidos em *E. saligna* e *E. citriodora*, sendo a primeira mais eficiente em 60% no uso de potássio para a produção de madeira. A eficiência de utilização de K em mudas (60 a 90 dias de idade) de clones de *Eucalyptus* é menos pronunciada que nas condições de povoamentos adultos, conforme dados obtidos por Souza et al. (1994) e Camargo (1997). Estudando quatro

clones de *Eucalyptus* na fase de viveiro, Camargo (1997) verificou que não havia diferença significativa entre 3 clones, quanto a eficiência do uso de potássio. Além disso, é importante ressaltar que o crescimento da planta pode estar relacionado à eficiência de absorção ou de utilização de um ou mais nutrientes ao mesmo tempo.

Nos programas de melhoramento de *Eucalyptus*, quando se utiliza a eficiência nutricional como critério de seleção, é fundamental saber se: a) o genótipo eficiente no uso de determinado nutriente poderá não ser para outro, com isso a seleção deverá tomar como base o nutriente mais limitante; b) existe correlação entre a eficiência nutricional do material genético e as características de crescimento, principalmente celulose, no caso das empresas de papel.

Figura 26. Relação entre a matéria seca total produzida e o conteúdo de potássio nas progênies de *Eucalyptus grandis*.

Figura 27. Relação entre a matéria lenhosa produzida e o conteúdo de potássio nas progênies de *Eucalyptus grandis*.

4.6.2 Produção de holocelulose

A maioria dos estudos sobre a eficiência de utilização dos nutrientes em *Eucalyptus* tem sido voltado para a produção de madeira (lenho), sem considerar que o produto principal é a celulose. Com esse objetivo, foi calculado o índice EKCT através das equações de regressões entre a quantidade de holocelulose (celulose + hemicelulose) produzida e o conteúdo de K na planta (Figura 28). O índice EKCT foi expresso pelo quociente entre a quantidade de holocelulose produzida e a unidade de potássio contido na planta. A relação entre a quantidade absorvida de K e a produção de holocelulose foi

diferente entre as progênies, principalmente para a progênie 1. Apesar do baixo coeficiente de determinação, embora significativo ao nível de 5 % de probabilidade, verificou-se que a produção de holocelulose aumentou linearmente com o conteúdo de potássio na planta. Este resultado ocorreu porque nessa progênie maiores concentrações de celulose no lenho foram alcançadas à medida que se aumentava o fornecimento de K às plantas, conforme será discutido no item 4.9.3.

A maior eficiência de uso de K foi encontrada nas progênies 3 e 4, não havendo diferença significativa entre elas. Entretanto, ao comparar as progênies, verificou-se que a progênie 2 consumia 45% a mais de potássio que a progênie 3, para produzir uma unidade de holocelulose, valor este mais alto que o obtido para a produção de lenho (35%). Portanto, a baixa eficiência de uso de K na progênie 2 foi mais acentuada ainda quando se analisou a produção de holocelulose.

Figura 28. Relação entre a quantidade de holocelulose produzida e o conteúdo de potássio nas progênies de *Eucalyptus grandis*.

4.7 Putrescina e poliaminas

O aparecimento de manchas necróticas nas folhas de plantas deficientes em potássio é resultado do acúmulo tóxico de putrescina. Na figura 29, foi possível visualizar as poliaminas nas folhas diagnóstico das progênies de *E. grandis* em função das doses de potássio. O aparecimento das manchas correspondentes à putrescina foi evidente quando as plantas foram cultivadas na ausência de potássio para todos os materiais genéticos e na dose de 58,5 mg L⁻¹ na progênie 3. Tais resultados corroboram com os obtidos em cevada por Richards & Coleman (1952), em *Phaseolus vulgaris* por Crocomo et al. (1974b), *Seasamum* por Crocomo & Basso (1974), em *Populus maximowiczii* por Houman et al. (1991), em *Pinus silvestres* por Sarjala & Kaunisto (1993 e 1996), *Picea abies* por Kaunisto & Sarjala (1997) e em *Musa* sp por Zaidan et al. (1999).

A espermidina e a espermina nas folhas das progênies apareceram em quantidades pequenas, independentemente da dose de K utilizada, não ocorrendo correlações significativas entre estas e a concentração de K na solução nutritiva. A amplitude de variação encontrada para a espermidina foi de 0,6 a 2,0 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 1; 0,4 a 1,8 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 2; 0,6 a 2,1 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 3 e 0,6 a 2,0 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 4. Já em relação a espermina, as variações nas concentrações foram de: 0,4 a 1,2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 1; 0,4 a 1,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 2; 0,4 a 1,4 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 3 e 0,5 a 1,2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS para a progênie 4. Os valores para estas duas aminas foram bem abaixo dos encontrados para a putrescina nas doses de 0 e 58,5 mg de K L⁻¹. Resultados similares foram obtidos por Sarjala & Kaunisto (1993 e 1996), que encontraram leve decréscimo na concentração de espermina e espermidina nas acículas de *Pinus sylvestris* em função da concentração de potássio. Porém, sem nenhum efeito significativo estatisticamente. Entretanto, resultados opostos foram observados em *Picea abies*, sendo que incrementos nos níveis de espermina ocorreram nas plantas deficientes em K (Kaunisto & Sarjala, 1997).

Figura 29. Cromatografia de camada delgada de poliaminas dansiladas nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva. Os números 1, 2, 3 e 4 correspondem, respectivamente, as doses de 0, 58,5, 175,5 e 526,5 mg de K L⁻¹. A sigla RES significa resíduo de dansil.

Houve interação entre as doses de K e o materiais genéticos para a concentração de putrescina nas folhas (Tabela 33). Na ausência e na dose de 175,5 mg de K L⁻¹, as progênies não apresentaram diferenças quanto ao nível de putrescina nas folhas. Mas, na dose de 58,5 mg de K L⁻¹, constatou-se que a progênie 3 acumulava mais putrescina nos tecidos quando comparada com a progênie 1, não havendo diferença significativa desta para as progênies 2 e 4. Já para a dose mais alta de potássio, a progênie 4 apresentou maior concentração da diamina quando confrontada com a progênie 3, a qual não diferiu estatisticamente das demais. Sem levar em consideração a dose de K, as variações na concentração de putrescina foram pequenas e insignificantes entre os materiais genético.

As reduções no nível de putrescina com o aumento do fornecimento de potássio até 175,5 mg L⁻¹, foram de aproximadamente 32 vezes para a progênie 1, 27 vezes para a progênie 2, 33 vezes para a progênie 3 e 25 vezes para a progênie 4. Tais resultados também foram encontrados por Houtman et al. (1991) em *Populus maximowiczii*, onde verificaram decréscimo de até 25 vezes na concentração de putrescina quando compararam a ausência de potássio com a dose de 117 mg L⁻¹.

Com aumento do fornecimento de potássio ocorreu uma diminuição na concentração de putrescina até a dose de 175,5 mg L⁻¹, para todos os genótipos. No entanto, para as progênies 1, 2 e 4, não houve alteração da concentração de putrescina com o aumento da dose de K de 175,5 para 526,5 mg L⁻¹, contrário ao verificado para a

progênie 3 (Figura 30). A concentração de putrescina nas progênies cultivadas na ausência de potássio estava abaixo das encontradas em tecidos deficientes e necrosados de cevada por Smith (1963), cujos os valores foram em torno de 140 μmol de putrescina g^{-1} de MS.

Tabela 33. Concentração de putrescina nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
Putrescina (μmol g ⁻¹ de MS)					
Progênie 1	50,7 a A	7,1 b B	1,6 a C	1,8 ab C	15,3 a
Progênie 2	40,1 a A	15,8 ab B	1,5 a C	1,4 ab C	14,7 a
Progênie 3	49,1 a A	23,2 a B	1,3 a C	1,3 b C	18,7 a
Progênie 4	42,9 a A	20,2 ab B	1,7 a C	1,9 A C	16,7 a
Média	45,7 A ⁴	16,6 B	1,5 c	1,6 c	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 31 mostra a relação entre a concentração de putrescina e a de potássio nas folhas diagnóstico. Em todos os materiais genéticos, houve um decréscimo linear da concentração de putrescina até valores de 5 g de K kg^{-1} . Resultados semelhantes foram encontrados por Sarjala e Kaunisto (1996), em *Pinus sylvestris*, uma vez que para concentrações de K nas acículas acima de 5 g kg^{-1} , ocorreu uma estabilização da concentração de putrescina e para valores de K menores que 4,3 g kg^{-1} , aumentos exponenciais. Em *Picea abies*, Sarjala & Kaunisto (1997) também verificaram uma correlação negativa entre a concentração de K nas folhas e o nível de putrescina, com relação linear para valores até 4,2 g kg^{-1} . Lauchert & Wild (1995) constataram uma correlação linear entre a concentração de putrescina e o teor de K nas folhas de *Picea abies*, sendo que esta correlação estendia-se para valores de K nas folhas acima do limite da faixa de deficiência, contrário ao observado por Kaunisto & Sarjala (1997).

Figura 30. Concentração de putrescina nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Como era de se esperar, ocorreram incrementos na relação K/putrescina nas folhas com o aumento da dose de K na solução (Figura 32). Na ausência de potássio, a relação variou de 0,56 K/1,0 putrescina na progênie 1 até 0,93 K/1,0 putrescina na progênie 4, enquanto que na dose mais elevada, 109 K/1putrescina na progênie 4 a 168 K/1putrescina na progênie 3. Verifica-se ainda que na ausência de potássio, a porcentagem de putrescina em relação a concentração de K+Ca+Mg variou de 23,5% na progênie 1, 16,6% na progênie 2, 22,1% na progênie 3 e 17,4% na progênie 4. Já nas dose mais alta de potássio, as porcentagens de putrescina não ultrapassaram 1% (Figura 32).

Nas condições de deficiência de potássio, o déficit de cátion estaria sendo balanceado pela putrescina em até 23,5%, no caso da progênie 1. Esses resultados são concordantes com os de Murty et al. (1971) e Smith (1984), que verificaram que pelo menos 30% do déficit de cátion na deficiência de potássio poderia ser balanceado pela putrescina.

Figura 31. Relação entre a concentração de putrescina e a de potássio nas folhas das progênies de *Eucalyptus grandis*.

O acúmulo de putrescina em plantas deficientes, pode ser explicado pelo mecanismo proposto por Coleman & Richards (1956). A carência de potássio altera o balanço interno entre cátions e ânions inorgânico, esperando-se com isso um aumento da acidez do suco celular, o que não corre. Portanto, esses autores sugeriram que o acúmulo de putrescina operaria como um mecanismo para manter o pH a um valor

fisiologicamente adequado. O efeito da putrescina na manutenção do pH celular é um dos mecanismos propostos da sua atuação, sendo um fator relevante nos estudos de nutrição mineral, especialmente com potássio, conforme demonstrado neste trabalho.

Figura 32. Valores médios da razão K/putrescina e da porcentagem de putrescina em relação a K+Ca+Mg nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.8 Açúcares solúveis totais

Houve interação entre as doses e as progênies para a concentração de açúcares solúveis totais (Tabela 34). Não se constatou diferença entre os materiais genéticos para a concentração de açúcar somente na ausência de potássio. Na dose de 58,5 mg L⁻¹, a progênie 4 apresentou menor nível de carboidrato quando comparada com as progênies 1 e 3. Na dose de 175,5 mg L⁻¹, as progênies foram afetadas de maneiras distintas, sendo que a progênie 3 apresentou maior capacidade de acúmulo de açúcar nas folhas em relação as demais. A mesma tendência foi verificada na dose mais elevada de potássio, na qual a progênie 3 não diferiu da progênie 2. Independentemente da dose de potássio, nota-se que houve diferença entre os genótipos, sendo que a progênie 3 apresentou maior capacidade de acumular carboidratos nas folhas em relação as progênies 2 e 4.

Independente do genótipo, os níveis de açúcares nas folhas foram afetados negativamente pela adição de potássio na solução nutritiva (Tabela 34). Na média, a queda na concentração de açúcares nas folhas foi de 25% quando comparou-se as plantas cultivadas na ausência e na dose mais alta de potássio. As maiores reduções no nível de carboidrato em relação as doses de potássio foram observadas na progênie 1, sendo da ordem de 50% quando confrontou-se a ausência de K com a dose de 526,5 mg L⁻¹.

As equações de regressões entre as doses de K e a concentração de açúcar nas folhas, foram significativas para as progênies 1 e 3. Nos dois materiais genéticos, a diminuição do teor de açúcar ocorreu quando as plantas foram cultivadas em doses crescentes de potássio. No caso das progênies 2 e 4, esse parâmetro não foi significativo (Figura 33).

Tabela 34. Concentração de açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	Açúcares solúveis totais (mg g ⁻¹ de MS)				Média
	K na solução (mg L ⁻¹)				
	0	58,5	175,5	526,5	
Progênie 1	167 a A (150) ¹	157 a A (141)	128 b B (115)	111 c B (100)	141 ab
Progênie 2	145 a A (115)	142 ab A (113)	126 b A (100)	128 ab A (101)	135 bc
Progênie 3	161 a AB (117)	169 a A (123)	153 a B (112)	137 a C (100)	155 a
Progênie 4	148 a A (141)	105 b B (100)	125 b B (119)	120 bc B (114)	124 c
Média	155 A (125) ²	143 AB (115)	133 BC (107)	124 C (100)	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 1 – percentual em relação a menor teor de açúcar para dose de potássio dentro de cada progênie; 2 – percentual em relação a menor teor de açúcares para o fator dose de potássio.

Figura 33. Concentração de açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Respostas semelhantes na concentração de açúcar também foram verificadas em relação a concentração de K nas folhas diagnóstico (Figura 34). A progênie 1 foi a que apresentou redução mais acentuada na concentração de açúcar com o aumento de K no tecido foliar. A explicação seria que o maior fornecimento de potássio estaria promovendo uma maior translocação dos açúcares das folhas para o lenho. Evans & Sorger, 1966 citado por Huber (1985), relatam que normalmente plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares redutores (glicose, frutose, xilose e outros) e redução dos carboidratos de maior cadeia (amido e sacarose) nas folhas, como consequência da menor atividade da sintetase fosfato sacarose. Marschner (1995), também cita que existe uma relação inversa entre a concentração de potássio nos tecidos e o conteúdo de açúcares, sendo que o papel do potássio estaria ligado ao transporte dos fotossintetados das folhas para os órgãos de armazenamento, principalmente durante o transporte ativo, através da membrana citoplasmática para floema ($\uparrow\uparrow$ K, $\uparrow\uparrow$ ATP), e no fluxo passivo para os tubos crivosos. Em relação ao primeiro processo, maiores concentrações de potássio estimulam a produção de ATP, o qual é necessário para a migração de fotossintetados nos tubos crivosos. No segundo processo, a função do K seria manter o pH elevado, facilitando com isso, o transporte dos açúcares (Malavolta & Crocomo, 1982 e Marschner, 1995).

4.9 Qualidade da madeira

4.9.1 Densidade básica

4.9.1.1 Efeito das progênies e das doses de potássio

Conforme mostra a Tabela 35, houve interação entre as doses e os materiais genéticos para a densidade básica do lenho da região apical, mediana e a média (apical+mediana+basal/3). Na ausência de potássio e na dose de 58,5 mg de K L⁻¹, as densidades básicas não variaram em função das progênies. Na dose de 175,5 mg L⁻¹, o lenho proveniente da progênie 1 foi mais denso em relação as progênies 3 e 4, não havendo diferenças destas para a progênie 2. Na dose mais alta, observou-se que as

progênes 1 e 4 apresentaram maiores densidades quando confrontada com as outras duas progênes. Sem levar em consideração a dose de K, houve efeito do genótipo para a densidade das três regiões do lenho como também para a densidade média. Na região mediana, a maior densidade foi encontrada na progênie 1, que diferiu estatisticamente das progênes 2 e 3. A progênie 1 também apresentou maior densidade da região apical quando confrontada com as progênes 2 e 4. Para a densidade básica da região basal e a média das três regiões, constatou-se uma superioridade da progênie 1 em relação as demais (Figura 35).

Figura 34 . Relação entre os açúcares solúveis totais e a concentração de potássio nas folhas diagnóstico das progênes de *Eucalyptus grandis*..

Independente do genótipo, os efeitos das doses de K sobre a densidade básica foram verificados para a densidade de todas as regiões do lenho, com exceção feita a região basal. A dose mais elevada de potássio proporcionou redução da densidade mediana, apical e a média quando comparada com a dose de 58,5 mg L⁻¹ (Tabela 35). As

reduções foram em média de 3,5% para a região mediana, 4,2% para a região apical e 3,3% para a média.

A falta de resposta da densidade do lenho basal à aplicação de K poderia ser explicada da seguinte forma: o lenho dessa região é mais velho quando comparado aos demais, conseqüentemente ele foi formado antes. Provavelmente sofreu menos a influência das doses de potássio, uma vez que todas as plantas foram cultivadas na dose de $175,5 \text{ mg L}^{-1}$ até a idade de 67 dias após o plantio.

A densidade básica do lenho variou no sentido base-topo, sendo que as maiores densidade foram observadas na região basal. A média geral obedeceu a seguinte ordem decrescente: base ($0,45 \text{ g cm}^{-3}$) > mediana ($0,43 \text{ g cm}^{-3}$) > apical ($0,41 \text{ g cm}^{-3}$).

Tais resultados corroboram com aqueles encontrados por Brasil (1972), Foelkel et al. (1975), Ferreira & Kageyama (1978), Rocha et al. (1983) Migliorini (1986), Souza et al. (1986), Moraes (1987), Tomazello Filho (1985) Sturion et al. (1987) e Vale et al. (1995), os quais mostraram que a densidade básica da madeira varia em função da taxa de crescimento, nível de produtividade, densidade populacional, espécies, procedências e progênies de *Eucalyptus*, dentro da mesma árvore no sentido medula-casca e base-topo.

Figura 35. Densidade básica da região basal do lenho das progênies de *Eucalyptus grandis* (médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

Os resultados mostram respostas distintas dos materiais genéticos, em função da variação da quantidade de potássio na solução (Figura 36). Na progênie 4, a densidade não foi influenciada pela adição de K na solução. A progênie 1 foi a única em que se verificou acréscimos da densidade da região mediana e apical com o aumento das doses de K até 175,5 mg L⁻¹. No entanto, na progênie 2, praticamente não houve alteração da densidade até essa dose. Na progênie 3, a densidade da região apical diminuiu linearmente com o maior suprimento de K.

Tabela 35. Densidade básica do lenho na região mediana, apical e a média das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
DB (g cm ⁻³) - região mediana					
Progenie 1	0,428 a B (100) ¹	0,450 a A (105)	0,463 a A (108)	0,450 a A (105)	0,447 a
Progenie 2	0,425 a AB (109)	0,443 a A (113)	0,442 ab A (113)	0,390 b B (100)	0,425 b
Progenie 3	0,432 a A (106)	0,436 a A (107)	0,408 c A (100)	0,423 ab A (104)	0,425 b
Progenie 4	0,433 a A (100)	0,432 a A (100)	0,433 b A (100)	0,438 a A (101)	0,434 ab
Média	0,429 AB (101) ²	0,440 A (103)	0,436 AB (102)	0,425 B (100)	
DB (g cm ⁻³) - região apical					
Progenie 1	0,406 a B (100)	0,427 a AB (105)	0,434 a A (107)	0,423 a AB (104)	0,422 a
Progenie 2	0,403 a A (104)	0,411 a A. (106)	0,411 ab A (106)	0,387 b A (100)	0,403 b
Progenie 3	0,414 a AB (106)	0,433 a A (111)	0,404 b AB (103)	0,390 b B (100)	0,410 ab
Progenie 4	0,392 a A (100)	0,411 a A (105)	0,401 b A (102)	0,412 ab A (105)	0,404 b
Média	0,404 B (100)	0,420 A (104)	0,412 AB (102)	0,403 B (100)	
DB (g cm ⁻³) - média ²					
Progenie 1	0,426 a B (100)	0,447 a A (105)	0,456 a A (107)	0,444 a A (104)	0,443 a
Progenie 2	0,424 a AB (104)	0,436 a A (107)	0,436 ab A (107)	0,408 b B (100)	0,426 b
Progenie 3	0,430 a A (104)	0,440 a A (106)	0,414 b A (100)	0,414 b A (100)	0,426 b
Progenie 4	0,425 a A (100)	0,429 a A (101)	0,426 b A (100)	0,431 ab A (101)	0,428 b
Média	0,426 B (100)	0,438 A (103)	0,433 AB (102)	0,424 B (100)	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 1- percentual em relação a menor densidade básica na dose de potássio dentro de cada progênie; 2 - percentual em relação a menor densidade básica para o fator potássio.

A redução de densidade apical na maior dose de K em relação a testemeunha foi de aproximadamente 8%, no caso da progênie 3 (Figura 36). Balloni (1984) também verificou redução da densidade básica do lenho de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com 13 anos, através da adubação potássica, o que corrobora o presente trabalho. No entanto, em termos percentuais a redução foi menor, 4,5%. Resultados similares foram obtidos

por Gray & Zeeuw (1975) para *Pinus radiata*, com decréscimos da densidade básica da madeira juvenil e adulta mediante à aplicação de K. No entanto, esses resultados são discordante para as progênie 1 e 2. Para a progênie 1, houve ganhos de 5,4% na densidade apical com o suprimento de K até 175,5 mg L⁻¹, enquanto que na progênie 2, foi constatado pequeno efeito sobre a densidade.

Normalmente, o que se tem observado em relação a densidade básica da madeira é que a adubação, seja através da aplicação conjunta de NPK ou isolada, especialmente de N, tem provocado redução significativa da densidade em várias espécies como: *E. regnans* (Higgs & Rudman, 1973); *Pinus elliotti* (Willians & Hamilton, 1961; Woollons et al., 1995); *Pinus caribaea* (Balloni, 1984; Brito, 1985), *Picea rubens* (Shepard, 1982); *Picea abies* (Weetman, 1971) e *Pseudotsuga menziensis* (Jozsa & Brix, 1989).

Figura 36. Densidade básica da região mediana e apical do lenho das progênie de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

A densidade básica teve ser confrontada com os ganhos de produção obtidos com a aplicação dos nutrientes, buscando sempre maiores produtividades associadas a uma menor redução da densidade. Por exemplo, no caso da progênie 3, os ganhos de produtividade com a adição de $175,5 \text{ mg L}^{-1}$ foram de 46% em relação a testemunha, o que compensaria a redução de somente 2% na densidade apical. Por outro lado, na progênie 1, a aplicação de K não seria vantajosa, porque não resultou em ganhos de produção de lenho, embora tenha aumentado em até 8,5% e 5,5% a densidade da região mediana e apical, respectivamente.

4.9.1.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho

A Tabela 36 mostra os coeficientes de correlações de Pearson das concentrações dos macronutrientes nas folhas e no lenho e a densidade básica nas diferentes posições do caule. Na progênie 1, as correlações que mais se destacaram foram entre a densidade da região mediana e a concentração de K e Mg no lenho ($r = 0,63$; $r = -0,62$), e a concentração de Ca e Mg nas folhas diagnóstico ($r = -0,75$; $r = -0,72$) e a concentração de Mg no lenho ($r = -0,62$). Com o aumento das concentrações de cálcio e magnésio ocorreu decréscimo na densidade básica, sendo que efeitos opostos foram observados em relação ao potássio. Na progênie 3, o aumento na concentração de N ($r = 0,76$) e P ($r = 0,72$) nas folhas diagnóstico promoveu incrementos na densidade da região apical.

As mesmas tendências verificadas para a densidade básica em função das doses de potássio, também foram observadas quando comparou-se as concentrações de K no tecido foliar (Figura 37).

Tabela 36. Coeficientes de correlações de Pearson entre a concentração dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho e a densidade básica em diferentes posições do lenho das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N		P		K		Ca		Mg		S	
	FD ¹	L ²	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L
Região apical												
Progênie 1	ns	0,49*	ns	ns	0,37*	0,45*	ns	ns	-0,52*	-0,44*	-0,54**	ns
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,41*	ns	0,46*	ns	ns
Progênie 3	0,76**	0,48*	0,72**	ns	-0,53*	-0,57**	ns	ns	0,56**	ns	0,53*	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,45*
Todos	0,22*	0,26*	0,25*	0,24*	ns	ns	ns	ns	ns	0,27*	ns	ns
Região mediana												
Progênie 1	ns	0,53*	ns	ns	ns	0,63**	-0,75**	-0,50*	-0,72**	-0,62*	-0,62**	-0,50*
Progênie 2	0,58**	0,42*	0,46*	ns	-0,40*	ns	ns	ns	ns	0,56*	ns	ns
Progênie 3	0,49*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,42*
Todos	0,28*	ns	0,24*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Região basal												
Progênie 1	ns	0,49*	ns	ns	ns	0,45*	-0,60**	-0,42*	-0,62**	-0,41*	-0,43*	ns
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	ns	-0,47*	ns	ns	0,40*	ns	0,38*	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média												
Progênie 1	ns	0,57*	ns	ns	ns	0,56*	-0,63**	-0,40*	-0,69**	-0,54**	-0,40*	-0,61**
Progênie 2	0,51*	0,40*	0,44*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,51*	ns	ns
Progênie 3	0,65**	0,41*	0,56**	ns	-0,43*	-0,58**	ns	ns	0,53*	ns	0,49*	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,44*
Todos	0,27*	0,26*	0,26*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,24*	ns	ns

1 – folha diagnóstico; 2 – lenho; ** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Figura 37. Densidade básica do lenho da região mediana e apical das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das concentrações de potássio nas folhas diagnóstico.

4.9.1.3 Efeito das relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho

Os efeitos das razões entre o potássio e os outros macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho sobre a densidade básica são apresentados na Tabela 37. Os efeitos foram mais relevantes na progênie 1 em relação as demais. Neste genótipo, verificou-se que quanto maior a concentração de N em relação a de potássio nas folhas diagnóstico menor era a densidade básica da região apical ($r = -0,59$) e mediana ($r = -0,68$). As tendências foram contrárias para a razão K/P ($r = 0,62$), K/Ca ($r = 0,66$), K/Mg ($r = 0,65$) e K/Ca+Mg ($r = 0,65$), principalmente no lenho.

Tabela 37. Coeficientes de correlações de Pearson entre a razão N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho e a densidade básica do lenho em diferentes posições nas progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N/K		K/P		K/Ca		K/Mg		K/Ca+Mg	
	FD ¹	L ²	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L
Região apical										
Progênie 1	-0,59**	-0,49*	ns	0,47*	ns	0,46*	ns	0,45*	ns	0,44*
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,41*	ns	ns
Progênie 3	0,49*	0,40*	-0,58**	-0,49*	-0,52*	-0,56**	-0,54*	-0,50*	-0,53*	-0,57**
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Região mediana										
Progênie 1	-0,68**	-0,58**	0,47*	0,62**	0,46*	0,66**	0,45*	0,65**	0,46*	0,65**
Progênie 2	ns	ns	-0,51*	ns	-0,37*	ns	-0,49*	-0,52*	-0,42*	ns
Progênie 3	ns	ns	ns	-0,44*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média										
Progênie 1	-0,66**	-0,55*	ns	0,57**	ns	0,60**	ns	0,56**	ns	0,58**
Progênie 2	ns	ns	-0,42*	ns	ns	ns	-0,40*	-0,46*	ns	ns
Progênie 3	0,49*	0,45*	-0,44*	-0,57**	-0,40*	-0,53**	-0,41*	-0,52*	-0,40*	0,52*
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1 – folha diagnóstico; 2 – lenho; ** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

4.9.2 Parâmetros anatômicos

4.9.2.1 Comprimento e largura das fibras

4.9.2.1.1 Efeito das progênes e das doses de potássio

Houve interação entre as doses de potássio e as progênes para o comprimento e a largura das fibras (Tabela 38). Para a largura, constatou-se diferença entre as progênes somente na dose de 526,5 mg L⁻¹. A progênie 2 apresentou fibras mais longas que a progênie 1, a qual não diferiu das outras. Em relação ao comprimento, só não houve diferença entre os materiais genéticos quando as plantas foram cultivadas na dose de 58,5 mg L⁻¹. Na ausência de potássio, as fibras mais curtas foram encontradas na progênie 3. A progênie 1 apresentou fibras menores que as demais, nas doses mais elevadas de potássio. Independente da dose de potássio, as

progênies 2 e 4 apresentaram fibras mais longas que as progênies 1 e 3. Nota-se ainda, que as fibras mais compridas foram encontradas nas plantas cultivadas nas doses mais altas, independente do genótipo analisado. Tais resultados também foram verificados por Cutter & Murphy (1978), através da aplicação de K em *Pseudotsuga menziensis* x *P. berolinensis*. Estudo mais recente, mostrou que durante a formação da madeira juvenil de *Picea abies*, na fase de alongação das células, ocorria um incremento do conteúdo de K do simplasto (Dunisch et al., 1998). Os autores ainda concluíram que o potássio foi fundamental para a alongação e diferenciação dos traqueídeos.

Tabela 38. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
Comprimento das fibras (mm)					
Progênie 1	0,820 a A	0,818 a A	0,824 b A	0,812 b A	0,818 b
Progênie 2	0,856 a AB	0,844 a B	0,864 a AB	0,884 a A	0,862 a
Progênie 3	0,764 b C	0,830 a B	0,865 a AB	0,868 a A	0,832 b
Progênie 4	0,832 a BC	0,822 a C	0,864 a AB	0,888 a A	0,851 a
Média	0,818 B	0,828 B	0,854 A	0,863 A	
Largura das fibras (µm)					
Progênie 1	17,49 a A	17,58 a A	17,79 a A	17,42 b A	17,57 a
Progênie 2	17,07 a B	17,33 a B	18,01 a A	18,25 a A	17,66 a
Progênie 3	17,29 a A	17,48 a A	17,61 a A	17,77 ab A	17,54 a
Progênie 4	17,11 a A	17,51 a A	17,55 a A	17,66 ab A	17,46 a
Média	17,24 C	17,47 BC	17,74 AB	17,77 A	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Os resultados obtidos em relação ao comprimento e largura das fibras podem ser explicados com base em Marschner (1995), segundo o qual, o potássio tem função na osmorregulação. O crescimento das fibras depende do potencial osmótico do vacúolo, causado pelo acúmulo de solutos e da extensibilidade da parede celular. Concentrações elevadas de potássio e açúcares, podem ser responsáveis por até 50 % do potencial osmótico das fibras. Como consequência, o aumento da extensão celular é influenciado pelo acúmulo nas células do íon K⁺.

A Figura 38 mostra as equações de regressões entre as doses de K na solução e o comprimento e a largura das fibras. A progênie 1 foi a única em que esses parâmetros anatômicos não variaram em função das doses de potássio. Nos outros materiais genéticos, o potássio afetou positivamente tanto o comprimento como a largura das fibras.

Figura 38. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.9.2.1.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho

Para as progênies 2, 3 e 4, verificou-se que fibras mais longas foram obtidas com o aumento das concentrações de K nas folhas diagnóstico (Figura 39). As células do lenho das plantas deficientes em K podem apresentar menor potencial osmótico interno, que por sua vez, diminui a sua capacidade de extensibilidade, resultando consequentemente em menor largura e comprimento das fibras.

Figura 39. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da concentração de potássio nas folhas diagnóstico.

Foram determinadas correlações entre as concentrações dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho e o comprimento e a larguras das fibras (Tabela 39). De maneira geral, aumentos nas concentrações de N, Ca, Mg e S estavam relacionados a decréscimos no comprimento e na largura das fibras. Esses efeitos foram consequência da menor absorção desses nutrientes a medida que se aumentava o fornecimento de potássio na solução.

O aumento do fornecimento de N provocou decréscimos no comprimento das fibras de *Pinus elliotti* (Malavolta et al., 1966), enquanto que a aplicação combinada de N e K promoveram aumentos no comprimento das fibras de *Gmelina arborea* (Ogbonnaya, 1994). Decréscimos no comprimento das fibras de *E. grandis* foram encontrados por Mello (1968) e Andrade et al. (1994) com o aumento do fornecimento de Ca através da calagem. A aplicação de NPS em *Pinus contorta* também reduziu o comprimento dos traqueídeos. No entanto, na maior parte desses trabalhos, a redução no comprimento das fibras estava relacionada ao maior ritmo de crescimento das árvores, proporcionada pela aplicação dos nutrientes. Isto não pode ser aplicado no presente estudo, uma vez que as fibras mais longas foram encontradas em plantas que tiveram o seu crescimento reduzido pela aplicação de potássio, ou seja, na dose mais elevada. Isto mostra que a atuação do K sobre o comprimento das fibras é mais direta e independe do ritmo de crescimento das plantas.

Tabela 39. Coeficientes de correlações de Pearson entre a concentração dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho com o comprimento e a largura das fibras das progênes de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N		P		K		Ca		Mg		S	
	FD ¹	L ²	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L
Comprimento das fibras												
Progênie 1	ns	ns	ns	-0,56*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	ns	-0,40*	ns	ns	0,60**	0,44*	ns	ns	ns	-0,58**	ns	-0,51*
Progênie 3	ns	-0,64**	ns	ns	0,65**	0,82**	-0,73**	-0,43*	-0,68**	-0,76**	-0,65**	-0,74**
Progênie 4	ns	-0,61**	ns	ns	0,73**	0,80**	-0,52**	-0,61**	-0,61**	-0,69**	-0,51**	-0,63**
Todos	-0,27*	-0,52**	ns	ns	0,45**	0,44**	-0,32**	-0,36**	-0,38**	-0,62**	-0,38*	-0,44**
Largura das fibras												
Progênie 1	ns	ns	ns	-0,40*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	-0,54*	ns	ns	0,42*	0,86**	0,87**	-0,72**	ns	-0,68**	ns	-0,73**	-0,76**
Progênie 3	ns	-0,70**	ns	ns	0,51**	0,54**	-0,46*	ns	-0,53*	ns	-0,61**	-0,49*
Progênie 4	-0,70**	ns	ns	0,50*	ns	0,53*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	-0,43**	-0,26*	ns	ns	0,42**	0,51**	-0,43**	ns	-0,38*	ns	-0,52**	-0,31*

** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns - não significativo. 1 - folhas diagnóstico e 2 - lenho.

4.9.2.1.3 Efeito das relações N/K, K/P, K/Ca e K/Mg nas folhas diagnóstico e no lenho

Para as progênie 2, 3 e 4, aumentos na relação N/K nas folhas reduziram o comprimento e largura das fibras. O mesmo não foi verificado para a progênie 1. Com a variação da N/K nas folhas de 1 para 8, o decréscimo no comprimento das fibras foi mais marcante na progênie 3, sendo de 11,4%, enquanto que para as progênies 2 e 4 foram de 3,6% e 6,3%, respectivamente (Figura 40).

Com a variação N/K nas folhas de 1 para 8, a redução da largura das fibras foi mais pronunciada na progênie 2 (7,1%) quando comparada com as progênies 3 (2,7%) e 4 (3,4%), conforme a Figura 40.

Figura 40. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da relação N/K nas folhas diagnóstico.

Não houve efeito da relação K/P nas folhas sobre o comprimento e a largura das fibras na progênie 1. A influência da relação foliar K/P sobre esses parâmetros anatômicos foi semelhante para as progênies 2 e 4, ou seja, fibras mais longas e mais espessas ocorreram com o aumento dessa relação. Para a progênie 3, as fibras mais compridas e largas foram observadas quando a relação K/P era de aproximadamente 12 (Figura 41).

Figura 41. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da relação K/P nas folhas diagnóstico.

Os resultados obtidos indicaram que fibras mais longas e mais espessas foram encontradas aumentando-se a relação K/Ca e K/Mg nas folhas diagnóstico, exceto na progênie 1 (Figuras 42 e 43).

Figura 42. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da relação K/Ca nas folhas diagnóstico.

Figura 43. Comprimento e largura das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função da relação K/Mg nas folhas diagnóstico.

Os resultados obtidos para o comprimento e a larguras das fibras quando variou-se a relação N/K, K/P, K/Ca e K/Mg no lenho foram semelhantes aos constatados para as relações foliares (Tabela 40).

Tabela 40. Coeficientes de correlações de Pearson entre a relação N/K, K/P, K/Mg, K/Ca e K/Ca+Mg no lenho e o comprimento e a largura das fibras nas progênie de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N/K	K/P	K/Mg	K/Ca	K/Ca+Mg
Comprimento das fibras					
Progênie 1	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	- 0,50*	ns	0,46*	0,48*	ns
Progênie 3	- 0,88**	0,84**	0,73**	0,84**	0,65**
Progênie 4	- 0,58**	0,74**	0,80**	0,86**	0,77**
Todos	- 0,55**	0,38**	0,52**	0,55**	0,46*
Largura das fibras					
Progênie 1	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	- 0,81**	0,83**	0,88**	0,85**	0,88**
Progênie 3	- 0,58**	0,50*	0,52*	0,49*	0,52*
Progênie 4	- 0,48**	0,43*	0,51*	0,57**	0,50*
Todos	- 0,51**	0,43*	0,50**	0,49**	0,50**

** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo; ns – não significativo.

4.9.2.2 Diâmetro do lume, espessura e fração parede

4.9.2.2.1 Efeito das progênie e das doses de potássio

Ao contrário do comprimento e largura das fibras, não houve interação entre as doses de K e as progênie para o diâmetro do lume, espessura e fração parede das fibras. Houve diferença significativa entre os materiais genéticos para a espessura e a fração parede, sendo que, os valores encontrados na progênie 3 foram menores quando comparados as demais (Figura 44). As progênie não diferiram em relação ao diâmetro do lume das fibras.

Figura 44. Espessura da parede celular e fração parede das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Houve efeito das doses de potássio sobre a espessura da parede e o diâmetro do lume das fibras, independente das progênies (Figura 45). Com aumento das doses de potássio foi constatado incrementos no diâmetro do lume em até 7,3% ao comparar a testemunha com a dose de 526,5 mg L^{-1} . Para a espessura da parede, verificou-se diferença apenas entre a dose de 175,5 e a de 526,5 mg L^{-1} , sendo que as fibras com paredes mais espessas ocorreram na primeira dose.

Figura 45. Espessura da parede celular e do diâmetro do lume das fibras em função das doses de potássio na solução nutritiva.

O comportamento do diâmetro do lume e da espessura da parede celular das fibras das progênie, em função das doses de K, está apresentado na Figura 46. Os efeitos das doses de K sobre o diâmetro do lume foram mais marcantes nas progênie 2 e 3, enquanto que para a espessura da parede na progênie 1. Em ambos os casos, adição de K na solução proporcionou aumento no diâmetro do lume e conseqüentemente redução na espessura da parede celular. Resultados semelhantes foram encontrados em *Picea abies* (Cutter & Murphy, 1978). No entanto, Gray & Zeeuv (1975) verificaram que o suprimento de potássio reduzia tanto a espessura como o diâmetro dos traqueídeos da madeira adulta de *Pinus resinosa*, com efeitos opostos na madeira juvenil. Em *Pinus elliotti* juvenil, Malavolta et al. (1966) não verificaram qualquer efeito do K sobre esses parâmetros anatômicos.

A redução da espessura da parede encontrada na alta dose de potássio pode ser resultado da menor absorção de Ca, uma vez que altas concentrações de K no meio, inibem a absorção de Ca. As evidências do efeito indireto do Ca no presente estudo, podem ser ressaltadas pelo trabalho de Dunisch et al. (1998), os quais verificaram que a maior síntese de parede celular, bem como, da lignificação dos traqueídeos de *Picea abies* ocorria na presença de maior conteúdo de Ca nos tecidos. Eklund & Eliason (1990) também constataram que a maior presença de Ca, proporcionou maior deposição de lignina na parede das fibras. Resultados concordantes também foram verificados por Sgarbi et al. (1999), que encontraram redução do teor de lignina na madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* quando as plantas foram submetidas a deficiência de Ca.

Poucos estudos foram realizados sobre o efeito do K nas características anatômicas da madeira. A maioria relacionou os efeitos do nitrogênio sobre esses parâmetros. Os efeitos provocados pela adição de N sobre a espessura da parede são na maioria das vezes negativos (Malavolta et al., 1966; Weetman, 1971 e Brix & Mitchell, 1980). Portanto, estudos devem ser realizados procurando avaliar a interação N x K sobre as características anatômicas.

Figura 46. Espessura da parede celular e do diâmetro do lume das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

A Figura 47 mostra a fração parede das fibras das diferentes progênies em função das doses de K na solução. Com exceção feita à progênie 4, todas as outras apresentaram decréscimos da fração parede com o aumento das doses de potássio.

Figura 47. Fração parede das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.9.2.2.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho

Foram determinados os coeficientes de correlações de Pearson entre o diâmetro do lume, espessura e fração parede das fibras e as concentrações dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho (Tabela 41). Para todas as progênies, verificaram-se correlações positivas entre a concentração de K no lenho e o diâmetro do lume das fibras. No entanto, quando analisou-se as folhas, as correlações foram significativas somente nas progênies 2 e 3. Os efeitos dos nutrientes foram mais relevantes para o diâmetro do lume quando comparado a espessura da parede. Algumas correlações que se destacaram foram: diâmetro do lume x N nas folhas para a progênie 3 ($r = -0,76$); diâmetro do lume x N no lenho para a progênie 3 ($r = -0,67$); diâmetro do lume x K nas folhas para a progênie 2 ($r = 0,79$) e para a progênie 3 ($r = 0,61$); diâmetro do lume x K no lenho para a progênie 2 ($r = 0,74$) e para a progênie 3 ($r = 0,61$);

diâmetro do lume x Mg nas folhas para a progênie 3 ($r = -0,66$); diâmetro do lume x Mg no lenho para a progênie 1 ($r = -0,71$); diâmetro do lume x S nas folhas para a progênie 2 ($r = -0,66$). Para a espessura da parede celular, verificou-se que as plantas da progênie 1, com maiores concentrações de Mg no lenho, apresentavam fibras com paredes mais espessas ($r = 0,70$). Outra correlação de destaque foi entre a espessura da parede e a concentração de P no lenho da progênie 3, uma vez que maiores concentrações proporcionaram fibras de parede menos espessas ($r = -0,78$).

A medida que se aumentou a concentração de K nas folhas diagnóstico ocorreu redução da fração parede das progênies 1, 2 e 3 (Figura 48). Quando as concentrações de potássio nas folhas variaram de 2 a 15 g kg⁻¹, as reduções foram de: 4,8% na progênie 1, 7,1% na progênie 2 e 5,5% na progênie 3.

Tabela 41. Coeficientes de correlações de Pearson entre a concentração dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho e o diâmetro do lume, espessura e fração parede das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N		P		K		Ca		Mg		S	
	FD ¹	L ²	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L
Diâmetro do lume												
Progênie 1	ns	ns	ns	-0,56**	ns	0,48*	ns	ns	ns	-0,71**	-0,42*	-0,44**
Progênie 2	-0,50*	Ns	ns	0,40*	0,79**	0,74**	-0,48*	ns	-0,49*	-0,41*	-0,54*	-0,66**
Progênie 3	-0,76**	-0,67**	-0,56*	ns	0,61**	0,61**	-0,50*	ns	-0,66**	ns	-0,59**	-0,50*
Progênie 4	-0,52*	ns	ns	0,66**	ns	0,44*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	-0,36**	-0,24*	ns	0,27*	0,48**	0,53**	-0,34*	ns	-0,30*	-0,27*	-0,42**	-0,38**
Espessura da parede												
Progênie 1	ns	ns	ns	ns	-0,54**	-0,46**	ns	ns	ns	0,70**	0,45*	0,65**
Progênie 2	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns
Progênie 3		ns	ns	-0,40*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	-0,78**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	-0,22*	ns	-0,23*	ns	ns	ns	ns	ns	0,22*
Fração parede												
Progênie 1	ns	ns	ns	0,46*	-0,55**	-0,55**	ns	ns	ns	0,81**	0,45*	0,63**
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	-0,63**	-0,54**	ns	ns	ns	ns	ns	0,49*
Progênie 3	0,72**	0,45*	0,47*	-0,42*	-0,54*	-0,46*	ns	ns	0,39*	0,53*	0,40*	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	-0,72*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	-0,27*	-0,40**	-0,43*	ns	ns	ns	0,26*	0,30*	0,34**

1 – folha diagnóstico; 2 – lenho; ** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Figura 48. Fração parede das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

4.9.2.2.3 Efeito das relações N/K, K/P, K/Mg, K/Ca e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho

Foram determinados os coeficientes de correlações de Pearson entre o diâmetro do lume, espessura e fração parede das fibras e a razão N/K, K/P, K/Mg, K/Ca e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho (Tabela 42). As correlações entre a razão K/Ca e K/Mg no lenho e o diâmetro do lume foram significativas para todos os materiais genéticos, com destaque para as progênies 2 e 3. Os aumentos nas razões K/P, K/Ca,

K/Mg e K/Ca+Mg, tanto nas folhas como no lenho, resultaram em aumentos no diâmetro do lume, sendo os efeitos opostos para a relação N/K. A progênie 1 foi a única que teve a espessura da parede das fibras afetada conforme variou-se as relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg. Os efeitos foram mais consistentes para a relação K/Mg no lenho, uma vez que aumentos na razão K/Mg reduziram a espessura da parede celular.

Tabela 42. Coeficientes de correlações de Pearson entre a razão N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnóstico e no lenho e o diâmetro do lume, espessura e fração parede das fibras das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N/K		K/P		K/Ca		K/Mg		K/Ca+Mg	
	FD ¹	L ²	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L
Diâmetro do lume										
Progênie 1	-0,43**	-0,63*	0,43*	0,48*	ns	0,50*	ns	0,54*	ns	0,44*
Progênie 2	-0,65**	-0,70**	0,81**	0,67**	0,73**	0,73**	0,74**	0,78**	0,74**	0,72**
Progênie 3	-0,63**	-0,57*	0,66**	0,84**	0,62**	0,72**	0,65**	0,84**	0,63**	0,66**
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	0,42*	ns	0,48*	ns	0,50**
Todos	-0,47**	-0,47**	0,50**	0,43**	0,43**	0,53**	0,41**	0,57**	0,42**	0,53**
Espessura da parede										
Progênie 1	0,44*	0,53*	-0,44*	-0,44*	-0,48*	-0,52*	-0,47*	-0,59*	-0,48*	-0,47*
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	-0,25*	ns	ns	-0,24*	ns	-0,30*	ns	-0,23*
Progênie 1	0,51*	0,67*	-0,51*	-0,54**	-0,51*	0,60**	-0,50*	-0,66**	-0,51*	0,54**
Progênie 2	0,42*	0,52*	-0,68**	-0,47*	-0,54*	-0,51*	-0,58**	-0,63**	-0,56**	-0,49*
Progênie 3	0,46*	ns	-0,47*	-0,53*	-0,51*	-0,47*	-0,63**	-0,54*	-0,49*	-0,50*
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,41*	ns	ns
Todos	0,34*	0,35*	-0,41**	-0,34**	-0,35**	-0,45**	-0,33**	-0,49**	-0,35**	-0,44**

1 – folha diagnóstico; 2 – lenho; ** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

4.9.3 Parâmetros químicos

4.9.3.1 Efeito das progênies e das doses de potássio

Os resultados obtidos para a composição química do lenho em função das doses de potássio são apresentados na Tabela 43. Houve interação entre as doses de K e as progênies para todos os parâmetros químicos analisados. Para a concentração de holocelulose no lenho, ocorreram diferenças entre os materiais genéticos em todas as

doses de potássio. Ao comparar os genótipos na ausência e na dose de 58,5 mg L⁻¹, constatou-se que as progênies 1 e 2 apresentavam menores concentrações de holocelulose em relação as progênies 3 e 4. Mas a dose de 175,5 mg de K L⁻¹, promoveu incrementos na concentração de holocelulose na progênie 2, fazendo com que juntamente com a progênie 3, esses materiais fossem superiores em relação aos outros. Na dose mais alta de K, a progênie 1 também apresentou menor concentração de holocelulose, diferindo estatisticamente das demais. Independente do genótipo, os resultados mostraram um aumento da concentração de holocelulose com a adição de K na solução nutritiva. O uso de 175,5 mg de K L⁻¹ na solução proporcionou ganhos médios em holocelulose de 2,3 % em relação a testemunha.

Para a concentração de lignina no lenho, as progênies não diferiram apenas na dose de 175,5 mg de K L⁻¹ (Tabela 43). Na falta e na dose de 58,5 mg de K L⁻¹, verificou-se uma inferioridade da progênie 4 em relação as demais. Na dose mais alta de K, a concentração mais elevada de lignina ocorreu na progênie 2 quando comparada as outras. Independente das doses de potássio, a progênie 2 mostrou-se superior as demais para a concentração de lignina. Constatou-se ainda que a concentração de lignina foi mais alta na dose de 175,5 mg L⁻¹ em relação a dose de 58,5 mg de K L⁻¹, não havendo diferença significativa desta para as outras duas.

Em todas as doses de K, ocorreram diferenças significativas entre os materiais genéticos para a concentração de extrativos na madeira (Tabela 43). A progênie 3 apresentou menor concentração de extrativos em relação as demais quando cultivada na ausência de potássio. Na dose de 58,5 mg L⁻¹, a maior concentração de extrativos foi verificada na progênie 1, a qual diferiu das progênies 3 e 4. Na dose de 175,5 mg L⁻¹, houve diferença entre a progênie 1 e as progênies 2 e 3, com concentração mais alta na primeira. A progênie 2 quando cultivada na dose mais elevada de K, apresentou queda na concentração de extrativos, fazendo com que esta tivesse menor concentração quando confrontada com as outras. Sem considerar as doses de K, a progênie 3 foi a que apresentou menor concentração de extrativos, diferindo das outras progênies. Independente do genótipo, as maiores concentrações de extrativos foram encontradas na testemunha e na dose de 58,5 mg L⁻¹, ocorrendo diferença destas para as doses mais elevadas de K na solução.

A aplicação de N e K em *Gmelina arborea* promoveu aumentos na concentração de extrativos da madeira (Ogbonnaya, 1994), bem como, a aplicação isolada de N, P, ou conjunta de NP e NPK em *E. urophylla* (Jian Ju et al., 1998). Estes efeitos foram contrários aos obtidos com a fertilização potássica neste trabalho.

Analisando as equações de regressões, verificou-se que os efeitos da aplicação de K sobre a concentração de extrativos e holocelulose foram mais consistentes nas progênes 1 e 2 (Figura 49). Ocorreram acréscimos lineares na concentração de holocelulose com o fornecimento de potássio às plantas, sendo a relação inversa observada para os extrativos. A maior dose de K proporcionou aumentos na concentração de holocelulose de 6,2% na progênie 2 e 2,3% na progênie 1. No entanto, na progênie 2 apesar dos aumentos na concentração de holocelulose, a aplicação de 526,5 mg de K L⁻¹, provocou queda de 23 % na quantidade de lenho em relação a dose de 175,5 mg L⁻¹, resultando numa menor produção de holocelulose por árvore. Portanto, deve-se analisar os aumentos na concentração de holocelulose conjuntamente com a produção de matéria seca do lenho.

Tabela 43. Concentração de holocelulose, lignina e extrativos no lenho das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
Holocelulose (g kg ⁻¹)					
Progênie 1	697 b B	697 b B	705 c A	712 b A	702,7 c
Progênie 2	688 b B	702 b B	738 a A	736 a A	716,5 b
Progênie 3	739 a AB	720 a B	744 a A	728 a AB	732,7 a
Progênie 4	722 a A	721 a A	722 b A	727 a A	723,0 b
Média	711,5 B	710,0 B	727,7 A	725,7 A	
Lignina (g kg ⁻¹)					
Progênie 1	216 ab B	217 a B	221 a A	214 b B	217,0 c
Progênie 2	224 a AB	221 a B	224 a AB	233 a A	226,0 a
Progênie 3	223 a A	222 a A	221 a A	217 b A	220,5 b
Progênie 4	211 b A	210 b A	219 a A	210 b A	212,5 c
Média	218,5 AB	217,5 B	221,2 A	218,5 AB	
Extrativos (g kg ⁻¹)					
Progênie 1	87 a A	86 a A	74 a B	74 a B	80,2 a
Progênie 2	88 a A	77 ab A	42 bc B	31 b B	59,5 b
Progênie 3	38 b A	58 c A	35 c A	55 a A	46,5 c
Progênie 4	67 a A	69 bc A	59 ab A	63 a A	64,2 c
Média	70,0 A	72,5 A	52,5 B	55,7 B	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Figura 49. Relação entre as concentrações de holocelulose e extrativos no lenho das progênies de *Eucalyptus grandis* e as doses de potássio na solução nutritiva.

Através das equações de regressões, estimou-se que a máxima concentração de lignina nas progênies 1 e 4 ocorreu quando a dose de K foi de 256 e 354 mg L^{-1} , respectivamente (Figura 50). Para a progênie 2, a concentração de lignina apresentou incrementos lineares com o aumento das doses de potássio, efeitos contrários foram verificados para a progênie 3. Resultados similares aos encontrados para a progênie 3, foram verificados com a aplicação de N e P em *Pinus radiata* (Downes & Turvey, 1986). Um dos estudos envolvendo os efeitos das deficiências nutricionais sobre a composição química da madeira foi realizado por Sgarbi et al. (1999). Os autores verificaram que a deficiência de Ca reduzia o teor de lignina do lenho em híbrido de *E.*

grandis x *E. urophylla*, enquanto que a carência de K não afetou o teor de lignina quando comparado ao tratamento completo.

Figura 50. Relação entre as concentrações de lignina no lenho das progênies de *Eucalyptus grandis* e as doses de potássio na solução nutritiva.

Multiplicando-se a concentração de holocelulose, lignina e extrativos do lenho pela produção de matéria seca do lenho, obteve-se a quantidade produzida dos respectivos parâmetros químicos (Tabela 44). As análises de variância mostraram interações entre as progênies e as doses de K para a quantidade de holocelulose, lignina e extrativos no lenho. Na falta de potássio, a progênie 4 apresentou maior quantidade de celulose no lenho quando comparada com a progênie 2. Na dose de 58,5 e 175,5 mg de K L⁻¹, a maior produção de celulose foi encontrada na progênie 3, a qual diferiu das progênies 1 e 2. Na dose mais elevada, a única diferença constatada foi que a progênie 3 produziu mais celulose que a progênie 4. A aplicação de 175,5 mg de K L⁻¹ promoveu aumentos na produção de celulose de 33% na progênie 2 e 46% na progênie 3. A mesma tendência foi observada na progênie 1, com ganhos de 18% com a aplicação de 526,5 mg de K L⁻¹ em relação a testemunha. Já na progênie 4, os aumentos na quantidade de celulose proporcionada com a aplicação de 175,5 mg L⁻¹ em relação a testemunha foram de apenas 7 %.

A maior quantidade de celulose com o aumento da dose de K, principalmente até 175,5 mg de K L⁻¹, poderia ser explicada pela maior taxa fotossintética das plantas associada a um maior transporte de carboidratos das folhas para o lenho, uma vez que o potássio está envolvido em ambos os processos (Mengel & Kirkby, 1978; Malavolta, 1980; Pretty, 1982 e Marschner, 1995). Esses efeitos serão discutidos no item 4.10.

Tabela 44. Quantidade de holocelulose, lignina e extrativos no lenho das progênes de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva.

Material genético	K na solução (mg L ⁻¹)				Média
	0	58,5	175,5	526,5	
Holocelulose (g/planta)					
Progênie 1	89,2 ab A (100) ¹	92,9 c A (104)	98,2 c A (110)	105,5 ab A (118)	96,4 c (100) ¹
Progênie 2	85,5 b B (100)	97,3 bc B (114)	113,6 bc A (133)	91,9 ab B (107)	97,1 c (101)
Progênie 3	97,1 ab C (100)	128,8 a AB (133)	141,5 a A (146)	112,3 a BC (116)	119,9 a (124)
Progênie 4	110,2 a AB (126)	115,9 ab A (132)	116,8 b A (133)	87,7 b B (100)	107,6 b (112)
Média	95,5 C (100) ³	108,7 AB (114)	117,5 A (123)	99,3 BC (104)	
Lignina (g/planta)					
Progênie 1	27,7 a A (100)	28,9 b A (104)	30,8 b A (111)	31,7 ab A (114)	29,8 b (100)
Progênie 2	27,8 a B (100)	30,6 b B (110)	34,5 b A (124)	29,2 b B (105)	30,5 b (102)
Progênie 3	29,2 a B (100)	39,5 a A (135)	42,0 a A (144)	33,4 a B (114)	36,0 a (121)
Progênie 4	32,1 a AB (126)	33,9 ab A (133)	35,4 b A (139)	25,4 b B (100)	31,7 b (106)
Média	29,2 B (100)	33,2 A (114)	35,7 A (122)	29,9 B (102)	
Extrativos (g/planta)					
Progênie 1	11,2 a A (110)	11,5 a A (113)	10,2 a A (100)	11,1 a A (109)	11,0 a (145)
Progênie 2	11,0 a A (289)	10,6 a A (279)	6,5 b B (171)	3,8 b B (100)	8,0 bc (105)
Progênie 3	4,9 b B (100)	10,6 a A (216)	6,7 b AB (137)	8,4 a AB (171)	7,6 c (100)
Progênie 4	10,2 a AB (134)	11,1 a A (146)	9,4 ab AB (124)	7,6 a B (100)	9,6 ab (126)
Média	9,3 AB (121)	10,9 A (141)	8,2 B (106)	7,7 B (100)	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (minúscula na vertical e maiúscula na horizontal) pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. 1 - percentual em relação a menor quantidade de celulose, lignina e extrativos para a dose de potássio dentro do fator progênie; 2 - percentual em relação a menor quantidade de celulose, lignina e extrativos para o fator progênie; 3 - percentual em relação a menor quantidade de celulose, lignina e extrativos para o fator dose de potássio.

4.9.3.2 Efeito da concentração de potássio e dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho

Foram determinados os coeficientes de correlações de Pearson entre as concentrações dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho e as concentrações dos parâmetros químicos no lenho (Tabela 45). Foram encontradas correlações positivas

entre a concentração de holocelulose e a concentração de potássio, tanto nas folhas diagnóstico como no lenho, para as progênie 1 ($r = 0,80$ para as folhas; $r = 0,78$ para o lenho) e 2 ($r = 0,83$ para as folhas; $r = 0,82$ para o lenho). Verificou-se ainda correlações negativas entre a concentração de holocelulose e a de cálcio para ambas as progênes, porém, somente nas folhas diagnóstico. Para o magnésio, aumentando-se as concentrações, tanto nas folhas como no lenho, ocorriam decréscimos nas concentrações de holocelulose das progênes 1 e 2. Observou-se decréscimos na concentração de lignina com o aumento da concentração de N nas folhas da progênie 1 e no lenho da progênie 4, conforme verificado também por Downes & Turvey (1986) em *Pinus radiata*. No entanto, o comportamento da progênie 1 em relação a lignina, foi diferente para a concentração de N no lenho. Os efeitos da concentração de K nas folhas e no lenho sobre a concentração de lignina das progênes 2 e 3 foram distintos, uma vez que aumentos na concentração de K nas folhas e no lenho propiciaram maiores teores de lignina na progênie 2. O aumento da concentração de Ca nas folhas e no lenho resultou em aumento no teor de lignina, somente na progênie 3. Tal resultado também foi observado por Sgarbi et al. (1999), quando comparou plantas de *E. grandis* x *E. urophylla* normais e deficientes em cálcio. De maneira geral, as correlações entre as concentrações de extrativos e a dos macronutrientes nas folhas e no lenho foram inversas as observadas para a concentração de holocelulose.

A Figura 51 mostra as equações de regressões entre a concentração e a quantidade de holocelulose em função do potássio nas folhas diagnóstico. A progênie 1 foi a única com tendência de aumentos lineares na concentração e na quantidade de holocelulose conforme aumentou-se a concentração de potássio nas folhas. As progênes 3 e 4 apresentaram relações quadráticas somente entre a quantidade de holocelulose e a concentração foliar de K. Através das equações de regressões estimou-se a concentração de K necessária para a obtenção da máxima produção, sendo de $10,8 \text{ g kg}^{-1}$ para a progênie 3 e $8,7 \text{ g kg}^{-1}$ para a progênie 4. Para a progênie 2, a resposta foi linear para a concentração e quadrática para a quantidade de holocelulose com aumento do potássio no tecido foliar. A máxima produção de celulose foi obtida quando as plantas

apresentavam 10 g de K kg⁻¹ nas folhas diagnóstico. O nível crítico da concentração de K nas folhas diagnóstico para a quantidade de celulose produzida foi de (g kg⁻¹): 4,8 para a progênie 2; 6,3 para a progênie 3 e 3,4 para a progênie 4. Os níveis críticos de K nas folhas obtidos para a produção de celulose foram próximos dos encontrados para a produção de lenho, os quais foram de (g kg⁻¹): 4,2 para a progênie 2; 6,4 para a progênie 3 e 3,1 para a progênie 4.

Tabela 45. Coeficientes de correlações de Pearson entre a concentração dos macronutrientes nas folhas diagnóstico e no lenho e a concentração de holocelulose, lignina e extrativos no lenho nas progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material genético	N		P		K		Ca		Mg		S	
	FD ¹	L ²	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L	FD	L
Holocelulose												
Progênie 1	ns	ns	ns	ns	0,80**	0,78**	-0,71**	ns	-0,71**	-0,63**	-0,63**	-0,77**
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	0,83**	0,82**	-0,63**	ns	-0,67**	-0,51**	-0,78**	-0,87**
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	0,34**	0,32**	-0,35**	ns	ns	-0,32**	-0,27*	-0,36**
Lignina												
Progênie 1	ns	0,65**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	-0,55**	ns	ns	ns	0,55**	0,49**	ns	ns	-0,44**	ns	ns	ns
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	-0,39**	-0,39**	0,50*	0,55**	ns	0,54**	ns	ns
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	-0,27*	ns	-0,27*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,22*	ns
Extrativos												
Progênie 1	ns	ns	ns	ns	-0,61**	-0,79**	0,75**	ns	0,78**	0,58**	0,69**	0,64**
Progênie 2	ns	ns	ns	ns	-0,91**	-0,89**	0,71**	ns	0,71**	0,49**	0,76**	0,85**
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	ns	0,59**	ns	ns	-0,42**	-0,41**	ns	ns	ns	ns	ns	0,51**
Todos	ns	ns	ns	ns	-0,30**	-0,33**	0,32**	ns	ns	ns	0,29**	0,29**

1 – folha diagnóstico; 2 – lenho; ** - significativo a 1 % de probabilidade; * - significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Figura 51. Relação entre a concentração e quantidade de holocelulose no lenho e a concentração de potássio nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

4.9.3.3 Efeito das relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas diagnósticos e no lenho

A Tabela 46 mostra os coeficientes de correlações de Pearson entre as relações N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg no lenho e a concentração de holocelulose, lignina e extrativos dos materiais genéticos. Os efeitos da razão N/K no lenho sobre a concentração de holocelulose foram significativos apenas para a progênie 4. Com aumento da relação N/K na madeira houve diminuição da concentração de holocelulose, sendo os efeitos inversos para a concentração de extrativos. A progênie 1 apresentou correlação positiva entre a relação N/K no lenho e o teor de lignina. A relação K/P no lenho não influenciou nas características química da madeira. A relação K/Ca no lenho foi a que melhor correlacionou com a

concentração de holocelulose e extrativos no lenho. Tanto na progênie 1 como na 2, aumentos da razão K/Ca no lenho causaram incrementos na concentração de holocelulose. A influência da relação K/Mg do lenho sobre as características químicas da madeira foi pequena quando comparadas com a razão K/Ca.

Tabela 46. Coeficientes de correlações de Pearson entre a razão N/K, K/P, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg no lenho e a concentração de holocelulose, lignina e extrativos no lenho das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Material Genético	N/K	K/P	K/Ca	K/Mg	K/Ca+Mg
Holocelulose					
Progênie 1	ns	ns	0,78**	ns	-0,63**
Progênie 2	ns	ns	0,82**	ns	-0,52*
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	-0,58*	ns	ns	-0,40*	ns
Todos	ns	ns	0,32**	ns	-0,32**
Lignina					
Progênie 1	0,65**	ns	ns	ns	ns
Progênie 2	ns	ns	0,49*	ns	ns
Progênie 3	ns	ns	-0,40*	0,55**	0,54**
Progênie 4	ns	ns	ns	ns	ns
Todos	ns	ns	ns	ns	ns
Extrativos					
Progênie 1	ns	ns	-0,79**	ns	0,58**
Progênie 2	ns	ns	-0,89**	ns	0,48*
Progênie 3	ns	ns	ns	ns	ns
Progênie 4	0,59**	ns	-0,41*	ns	ns
Todos	ns	ns	-0,33**	ns	ns

* - significativo a 5 % de probabilidade; ** - significativo a 1 % de probabilidade; ns - não significativo

Os efeitos da razão N/K nas folhas sobre a concentração e quantidade de holocelulose foram similares para as progênies 1 e 2. Ocorreram quedas lineares tanto na concentração como na quantidade de holocelulose com o aumento da relação N/K. Para as progênies 3 e 4, o efeito da relação N/K foi marcante somente para a quantidade de celulose produzida. A máxima produção de celulose foi alcançada quando a razão foliar N/K era de 4,2 para a progênie 3 e 5,5 para a progênie 4 (Figura 52).

As progênies 1 e 2 apresentaram respostas quadráticas para concentração e quantidade de holocelulose conforme variou-se a relação K/P nas folhas diagnóstico (Figura 53). A maior concentração de holocelulose foi obtida quando as plantas apresentavam relação K/P de 15,7 e 10,3 no caso das progênies 1 e 2, respectivamente. A máxima quantidade de celulose produzida ocorreu quando as plantas das progênies 1 e 2 tinham 11,7 K/1P e 8,2 K/1P, respectivamente. As relações entre a razão K/P nas folhas e a concentração de holocelulose não foram significativas para as progênies 3 e 4. No entanto, para a quantidade de holocelulose verificou-se relação quadrática em função da razão K/P em ambas as progênies. A razão K/P foliar de 8,5 e 5,4 para as progênies 3 e 4, foram as que proporcionaram a máxima produção de celulose.

Figura 52. Relação entre a concentração e quantidade de holocelulose no lenho e a razão N/K nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Figura 53. Relação entre a concentração e quantidade de holocelulose no lenho e a razão K/P nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

Foram encontradas respostas quadráticas para a concentração e quantidade de holocelulose em função da razão K/Ca nas folhas diagnóstico das progênies 1 e 2 (Figura 54). A máxima concentração de holocelulose no lenho foi obtida quando a relação K/Ca era de 3,7 e 1,8 para as progênies 1 e 2, respectivamente. O maior conteúdo de holocelulose no lenho foi alcançado quando a razão foliar K/Ca era de: 3,0 para a progênie 1, 1,5 para a progênie 2, 1,6 para a progênie 3 e 1,3 para a progênie 4.

Figura 54. Relação entre a concentração e quantidade de holocelulose no lenho e a razão K/Ca nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

A Figura 55 mostra a concentração e quantidade de holocelulose no lenho dos materiais genéticos em função da relação K/Mg nas folhas diagnóstico. Na progênie 1 ocorreu queda linear na quantidade de holocelulose com o aumento da relação K/Mg nas folhas, o contrário foi observado para a concentração. As relações entre a concentração e a quantidade de holocelulose e a razão K/Mg nas folhas foram quadráticas para a progênie 2. A máxima concentração e o maior acúmulo ocorreram quando as relações K/Mg eram de 3,1 e 2,4, respectivamente. Para as progênies 3 e 4, verificaram-se aumentos da produção de celulose com o aumento da relação K/Mg nas

folhas. A máxima produção de celulose foi alcançada quando a relação K/Mg era de 2,4 e 2,0 nas progênies 3 e 4, respectivamente.

Figura 55. Relação entre a concentração e quantidade de holocelulose no lenho e a razão K/Mg nas folhas diagnóstico das progênies de *Eucalyptus grandis*.

4.10 Relação entre açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico e holocelulose no lenho em função das doses de potássio

Os dados de concentração de holocelulose no lenho e açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico em função da dose de K na solução encontram-se na figura 56. Aumentos na concentração de holocelulose no lenho estavam relacionados com decréscimos na concentração de açúcares nas folhas a medida que se aumentava o fornecimento de potássio às plantas, principalmente nas progênie 1, 2 e 3. A hipótese seria que com o aumento da dose de potássio, estaria ocorrendo um maior transporte de carboidratos solúveis das folhas para o lenho, resultando consequentemente num maior acúmulo de celulose e hemicelulose. Esses resultados evidenciam a importância do K no transporte de fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento conforme relatados por Mengel & Kirkby (1978), Malavolta (1980), Marschner (1995) e Malavolta et al. (1997).

Figura 56. Valores médios das concentrações de açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico e de holocelulose no lenho das progênies de *Eucalyptus grandis* em função das doses de potássio na solução nutritiva

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento, as principais conclusões foram:

1. Para a produção de lenho e de holocelulose, os materiais genéticos de *Eucalyptus grandis* responderam de maneira diferenciada a aplicação de potássio, sendo as progênies 2 e 3 consideradas responsivas e as progênies 1 e 4 não responsivas.
2. Em todas as progênies, a concentração de Ca e Mg nos tecidos vegetais, principalmente nas folhas, foi afetada negativamente com o aumento da dose de potássio na solução nutritiva.
3. O aumento da concentração de potássio na solução nutritiva diminuiu principalmente o teor de cobre nas folhas novas, zinco nas folhas diagnóstico e manganês nas folhas velhas de todos os genótipos.
4. A faixa adequada de potássio nas folhas diagnóstico variou bastante em função do material genético analisado. O nível crítico de potássio nas folhas diagnóstico foi de $6,4 \text{ g kg}^{-1}$, $4,2 \text{ g kg}^{-1}$ e $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ para as progênies 3, 2 e 4. No entanto, não foi possível definir o nível crítico para a progênie 1.
5. A quantidade total extraída de N, Ca, Mg e S diminuiu com o aumento da dose de potássio na solução nutritiva.
6. A quantidade total extraída de Cu, Mn e Zn diminuiu com o aumento da concentração de potássio na solução nutritiva, principalmente para as progênies 1 e 4.

7. As progênies apresentaram respostas diferenciadas quanto a utilização de potássio para a produção de lenho e celulose. A progênie 2 foi considerada menos eficiente.
8. A deficiência de potássio causou acúmulo tóxico de putrescina nas folhas diagnóstico de todas as progênies. A concentração de espermina e espermidina não foi afetada pelas doses de potássio na solução nutritiva.
9. As progênies apresentaram comportamentos distintos para a concentração de açúcares solúveis totais nas folhas diagnóstico. Nas progênies 1 e 3, o aumento da dose de K na solução proporcionou decréscimos na concentração de açúcares.
10. As progênies tiveram comportamentos diferenciados para a densidade básica do lenho conforme variou-se a dose de potássio na solução nutritiva.
11. As maiores doses de potássio na solução proporcionaram aumento no comprimento e na largura das fibras dos genótipos, com exceção da progênie 1.
12. Os materiais genéticos apresentaram respostas diferenciadas para a espessura da parede das fibras em função da dose de potássio na solução nutritiva. Na progênie 1, houve decréscimo da espessura da parede com o aumento da dose de potássio.
13. Nas progênies 2 e 3, doses crescentes de potássio na solução nutritiva causaram aumento do diâmetro do lume das fibras.
14. Houve redução da fração parede das fibras das progênies 1, 2 e 3 com o aumento da dose de potássio na solução nutritiva.
15. Os materiais genéticos apresentaram respostas distintas para a concentração de holocelulose no lenho em função da dose de potássio na solução nutritiva. A adição de potássio aumentou a concentração de holocelulose nas progênies 1 e 2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A.M; VITAL, B.R.; BARROS, N.F.; DELLA LUCIA, R.M.; CAMPOS, J.C.C.; VALENTE, D.F. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.18, n.1, p.69-78. 1994.
- BALLONI, E.A. Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Guiseb) Barret e Golfari em solo cerrado do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1984. 110p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BAMBER, R.K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forest Research**, v.12, n.2, p.163-167, 1982.
- BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B. Processo nítrico-acético para maceração de madeiras. **Silvicultura**, v.28, n.28, p.732-33. 1983.
- BARRICHELO, L.E.G.; SHIMOYAMA, V.R.S. Importância da adubação na qualidade da madeira e celulose. In: SÁ, M.E.; BUZETTI, S. (Ed). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Cone, 1994. cap.9, p.153-160.
- BARROS, N.F. CARMO, D.N.; CALAIS, D; VIEIRA, F.S. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XX., Belém, 1985. **Programas e resumos**, Belém: Sociedade Brasileira de Ciência do Solos. 1985. p.109.

- BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, v.5, n.1, p.90-103, 1981.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A.(Eds). **Nutrition of *Eucalyptus***. CSIRO Australia. 1996 p. 335-355.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.(Eds) **Relação Solo-Eucalipto**. Ed. Folha de Viçosa, Viçosa. 1990. cap.4, p.127-86.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; Leal, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forestry Journal**, v.160, p.7-12. 1992.
- BELLOTE, A.F.J. Nahrelement versorgung und werches - leistung von gedungten *Eucalyptus grandis*- plantagen in Cerrado von São Paulo (Brasilien). Freiburg, 1990. 159 p. Tese (Doutorado) - Albert Ludwigo- Universitat.
- BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**, v.26/27, p.17-65. 1993.
- BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden) em função da idade. Piracicaba, 1979. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- BERINGER, H.; NOTHDURFT, F. Effects of potassium on plant and cellular structures. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**: American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of America, Inc.; Soil Science Society of America, Inc. Madison, cap.14, p.35-67. 1985.
- BEVEGE, D.I. Wood yield and quality in relation to tree nutrition. In: Bowen, G.D.; Nambiar, E.K.S. (Ed.). **Nutrition of Plantation Forests**. Orlando: Academic Press, 1984. Cap.11, p.293-326.
- BISSET, I.J.W.; DADSWELL, H.E.; WARDROP, A.B. Factors influencing tracheid length in conifer stems. **Australian Forestry**, v.15, p.17-30. 1951.
- BOARDMAN, R; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J.; WEBB, M.J. Forest planations. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B.. **Plant Analysis an Interpretation Manual**. Collingwood: CSIRO, 1997. cap.10, p.505-566.
- BRASIL, M.A.B. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento. Piracicaba, 1972. 75p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BRITO, J.O. Influência da adubação mineral nas características dos anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* Var. *bahamensis*. Piracicaba, 1985. 113p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BRIX, H. Effects of nitrogen fertilization on photosynthesis and respiration in Douglas Fir. **Forest Science**, v.17, p.407-414. 1971.
- BRIX, H.; MITCHELL, A. K. Effects of thinning and nitrogen fertilization on xylem development in Douglas-fir. **Canadian Journal of Forest Research**, v.10, n.2, p.121-128. 1980.

- CAMARGO, M.A.F. Matéria seca, concentração e conteúdo de macronutrientes em mudas de clones de eucalipto, em função da idade. Piracicaba, 1997. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COLEMAN, R.G.; RICHARDS, F.J. Physiological studies in plant nutrition. XVIII – Some aspects of nitrogen metabolism in barley and other plants in relation to potassium deficiency. **Annals of Botany**, v.20, n.2, p.393-409, 1956.
- CROCOMO, O. J.; CATTINI, M.A.; ZAGO, E.A. Acúmulo de aminas e aminoácidos em relação ao nível de potássio em folhas de feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.17, n.1, p.93-102, 1974b.
- CROCOMO, O.J.; BASSO, L.C. Accumulation of putrescina and related aminoacids in potassium deficient *Sesamun*. **Phytochemistry**, v.13, p. 2659-2665, 1974a.
- CROMER, R.N.; CAMERON, D.; CAMERON, J.N.; FLINN, D.W.; NEILSEN, W.A.; RAUPACH, M.; SNOWDON, P.; WARING, H.D. Response of eucalypt species to fertilizer applied soon after planting to several sites. **Australian Forestry**, v. 44, n.1, p.3-13.1981.
- CROMER, R.N.; WHEELER, A.M.; BARR, N.J. Mineral nutrition and growth of *Eucalyptus* seedlings. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.14, n.2, p.229-39, 1984.
- CUTTER, B.E.; MURPHY, W.K. Effects of potassium on growth and wood anatomy of *Populus* hybrid. **Wood and Fiber**, v.9, n.4, p.282-288. 1978.
- DELL, B. Copper nutrition of *Eucalyptus maculata* Hook seedlings: requeriments for growth distribution of cooper and diagnosis of copper deficiency. **Plant and Soil**, v.167, n.2, p.181-187. 1994.

- DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104p.
- DOWNES, G.; TURVEY, N.D. Reduced lignification in *Pinus radiata* D. Don. **Australian Forest Research**, v.16, n.4, p.317-377. 1986.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v.28, n.3, p.350-356. 1956.
- DUNISCH, O.; BAUCH, J.; MULLER, M. GREIS, O. Subcellular quantitative determination of K and Ca in phloem, cambium, and xylem cells of *spruce (Picea abies* [L.] Karst.) during earlywood and latewood formation. **Holzforschung**, v.52, n.6, p.582-588. 1998.
- EKLUND, L; ELIASSON, L. Effects of calcium ion concentrations on cell wall synthesis. **Journal of Experimental Botany**, v.41, n.228, p.863-867, 1990.
- ELLET, C.W. Soil Fertility and Disease Development. **Better crops with plant food**, v.57, p. 6-8, 1973.
- EPSTEIN, E. **Nutrição Mineral de Plantas; princípios e perspectivas**: São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.
- EVANS, P.T.; MALMBERG, R.L. Do polyamines have roles in plant development? **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.40, p.235-269, 1989.
- FASSBENDER, H.W. **Química de suelos com ênfasis en suelos de America Latina**. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1980. 398p.
- FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento da densidade básica da madeira de eucalipto. **IPEF**, v.26, n.20, p.1.14, 1978.

- FLORES, H.E.; GALSTON, A.W. Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. **Plant Physiology**, v.69, n.4, p.701-706, 1982.
- FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELLO, L.E.G. MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus tereticornis* para a produção de celulose sulfato. **IPEF**, n.10, p.17-37, 1975.
- FONSECA, S.; MALUF, J.L.P.; OLIVEIRA, A.C. Adubação com boro e zinco de *Eucalyptus camaudulensis* em solos de cerrado na região de Brasilândia. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. 6., Curitiba, 1993. **Resumo de Trabalhos Voluntários**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p.69.
- FREDERICK, D.J.; MADGWICK, H.A.I.; JURGENSEN, M.F.; OLIVER, G.R. Dry matter content and nutrient distribution in na age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand. **New Zealand Journal Forestry Science**, v.15, n.2, p.158-179. 1985.
- GALO, M.V. Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado. Viçosa, 1993. 40p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- GALSTON, A. W. Polyamine and plant response to stress. In: BACHRACH, U.; HEIMER, Y. (Eds.). **The physiology of polyamines**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.2, cap. 7, p.99-106.
- GALSTON, A. W.; KAUR-SAWHNEY, R. Polyamines in plant physiology. **Plant Physiology**, v.94, n.2, p.406-410, 1990.
- GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, v.11, n.30, p.84-94. 1997.

- GENTLE, S.W.; BAMBER, R.K.; HUMPHNEYS, F.R. Effect of two phosphate fertilizers on yield, financial yield, and wood quality of radiata pine. **Forest Science**, v.14, n.3, p.282-286, 1968.
- GRAY, R.L.; ZEEUW, C. Effects of potassium fertilizer on the wood density and related anatomical characteristics of Red Pine wood. In: PROCEEDING, 22 ND NORTHEASTERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE 1974. 1975. p.72-110.
- HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; OLIVEIRA, G.D.; POGGIANI, F.; FERREIRA, C.A. Análise Foliar de cinco espécies de *Eucalyptus*. **IPEF**, n.13, p.99-115, 1976.
- HERBERT, M.A. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, 1996. p.303-326.
- HIGGS, M.L.; RUDMAN, P. The effects of fertilizing and thinning on wood properties of *E. regnans*. **Appita**, v.27, n.1, p.51-55, 1973.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agriculture Experimental Station. Berkely, n.347. 1950.
- HOUMAN, F.; GODBOLD, D. L.; MAJCHERCZYK, A.; SHASHENG, W.; HÜTTERMANN, A. Polyamines in leaves and roots of *Populus maximowiczii* grown in differing levels of potassium and phosphorus. **Canadian Journal Forest Research**, v.21, n.12, p.1748-1751, 1991.
- HUBER, D.M.; ARNY, D.C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**, Madison: ASA, CSSA and SSA, 1985. p.467-488.
- HUBER, S.C. Role of potassium in photosynthesis an respiration. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**, Madison: ASA, CSSA and SSA, 1985. p.369-391.

- HUORAN, W.; WENLONG, Z.; Fertilizer and eucalypt plantations in China. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, 1996. p.143-149.
- JIAN JU, L., CAO, L., LIN, J.A., SHANHUA, W.; LUO, J.J.; Cao, L. Yang, J.L.; Wei, S.H. Effects of fertilization treatments on contents of wood chemical components of *Eucalyptus urophylla*. **Scientia-Silvae Sinicae**, v.34, n.5, p.96-102, 1998.
- JOZSA, L.A.; BRIX, H. The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24 year old Douglas-fir stand. **Canadian Journal of Forest Research**, v.19, n.9, p.1137-1145.1989.
- JUDD, T.S. Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A.(Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. CSIRO Australia. 1996. p. 249-258.
- KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; BORA, N.K.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. I. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus* Hybrid seedlings. **Indian Forester**, v.92, n.4, p.264-268. 1966.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. **Indian Forester**, v.96, n.10, p.787-90, 1970b.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. III. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus grandis* seedlings. **Indian Forester**, v.94, n.11, p.831-34, 1968.

- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*.
IV. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus globulus* seedlings. **Indian Forester**, v.96, n.6, p.453-56, 1970a.
- KAUNISTO, S.; SARJALA, T. Critical needle potassium concentration indicated by diamine putrescine in Norway spruce growing on peat soils. **Silva Fennica**, v.31, n.4, p.383-390, 1997.
- KAUR- SAWHNEY, R.; GALSTON, A. W. Physiological and biochemical studies on the antisenescence properties of polyamines in plants. In: SLOCUM, R. D.; FLORES, H. E. (Eds): **Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants**. Boca Raton: CRC Press, cap.14, p.201-211, 1991.
- KNIGHT, P.J. Seasonal fluctuations in foliar nutrient concentration in a young nitrogen-deficient stand of *Eucalyptus fatigata* with and without applied nitrogen. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.18, n.1, p.15-32, 1988.
- KÖNIGSHOFER, H. Distribution and seasonal variation of polyamines in shoot-axes of spruce (*Picea abies* (L.) Karst). **Journal Plant Physiology**, v. 137, n.5, p. 607-612, 1991.
- KÖNIGSHOFER, H. Polyamine content in needles, shoot-axes, buds and xylem exudates of mature spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst). **Journal Plant Physiology**, v. 136, n.3, p. 377-380, 1990.
- KÖNIGSHOFER, H. Seasonal changes in polyamine content in different parts of juvenile spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst). **Journal of Plant Physiology**, v. 134, n.6, p. 736-740, 1989.
- LAUCHERT, U.; WILD, A. Studies on the correlation of putrescine and potassium contents in the needles of spruce trees. **Journal of Plant Physiology**, v.147, n.2, p.267-269, 1995.

- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; FABRES, A.S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidade populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.419-426, 1998.
- LINDSTROM, H. Basic density of Norway spruce. Part II. Predicted by stem taper, mean growth ring width, and factors related to crown development. **Wood and Fiber Science**, v.26, n.2, p.240-251, 1996.
- LITTLE, C.H.A.; SAVIDGE, R.A. The role of plant growth regulators in forest tree cambial growth. **Plant Growth Regulators**, v.6, n.1/2, p.137-169. 1987.
- MADGWICK, H.A.I.; BEETS, P.; GALLAGHER, S. Dry matter accumulation, nutrient and energy content of the above ground portion of 4-year-old stands of *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus fastigata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.11, n.1, p.53-59, 1981.
- MAKI, H.; ANDO, S.; KODAMA, H.; KOMAMINE, A. Polyamines and the cell cycle of *Catharanthus roseus* cells in culture. **Plant Physiology**, v. 96, n.4, p.1008-1013, 1991.
- MALAVOLTA, E. **Elementos da Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Essências Florestais: Eucalipto e Pinus. In: MALVOLTA, E. **Manual de Calagem e Adubação das principais culturas**, São Paulo, Ceres, 1987. cap.10, p. 376-96.
- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. Funções do potássio na planta. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.) **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982. p.95-162.

- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; VENCovsky, R.; VALSECCHI, O.; SANTOS, C.L.O. The relation of the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in the substrate and in the foliage to cell wall thickness and cellulose concentration in the xylem of Slash Pine. **Academia Brasileira de Ciências**, v.38, n.1, p.173-186, 1966.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888p.
- MELO, H.A. **Efeitos da adubação mineral sobre as qualidades da madeira**. Piracicaba: Relatório Técnico IPEF/ESALQ, 1968. 15p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of Plant Nutrition**. Berne: International Potash Institute, 1978. 593p.
- MIGLIORINI, A.J. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta. Piracicaba, 1986. 80p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MORAES, M.L.T. Variação genética da densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e suas relações com as características de crescimento. Piracicaba. 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.3, p.353-62, 1990.

- MURTY, K. S.; SMITH, T.A.; BOULD, C. The relation between the putrescine content and potassium status of black currant leaves. **Annals of Botany**, v.35, n.6877, p.695, 1971.
- NOVAIS, R.F.; RÊGO, A.K.; GOMES, J.M. Nível crítico de potássio no solo e na planta para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de *Eucalyptus cloeziana* F. MUELL. **Revista Árvore**, v.4, n.1, p.14-23. 1980.
- OGBONNAYA, C.I. Effects of nitrogen sources on the wood properties of *Gmelina arborea* relevant to pulp and paper production. **Forest Ecology and Management**: v.56, n.1-4, p.211-223, 1993.
- OGBONNAYA, C.I. Growth and histo-chemical response of *Gmelina arborea* seedlings to applications of N and K fertilizers and their combinations on oxisolic soil. **Journal of Tropical Forest Science**, v.4, n.4, p.363-378, 1994.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.C.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, v.15, n.1/2, p.8-16, 1984.
- PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berne, International Potash Institute, 1990. 363p.
- POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F.S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, n.27, p.17-30, 1984.
- PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.) **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982. p.177-194.
- PREZOTTI, L.C. Nível crítico de potássio no solo para produção de mudas de eucalipto. Viçosa, 1985. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.11, n.1, p.1-15, 1987.
- RELATÓRIO ESTATÍSTICO FLORESTAL. Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose. São Paulo. 1996. 60p.
- RICHARDS, F. J.; COLEMAN, R.G. Occurrence of putrescine in potassium-deficient barley. **Nature**, v.170, n.4324, p.460, 1952.
- ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.35, n.35, p.19-34, 1978.
- ROCHA, M.G.B.; BRUNE, A.; DELLA LUCIA, R.M. Variação da densidade básica e correlações entre progênies jovens de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em duas etapas de crescimento. **Revista Árvore**, v.7, n.2, p.154-164, 1983.
- SARJALA, T. Growth, potassium and polyamine concentration of Scots pine seedlings in relation to potassium availability under controlled growth conditions. **Journal of Plant Physiology**, v.147, n.5, p. 593-598, 1996.
- SARJALA, T.; KAUNISTO, S. Effect of different potassium sources on the seasonal variation of potassium and free polyamines in Scots pine needles. **Silva Fennica**, v.30, n.4, p.387-398, 1996.
- SARJALA, T.; KAUNISTO, S. Needle polyamine concentration and potassium nutrition in Scot pine. **Tree Physiology**, v.13, n.1, p.87-96, 1993.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, v.1, p.231-233, 1975.

- SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.; GARCIA, C.H.; GOMES, F.P.; CAMARGO, F.R. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim Celulose e Papel (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia, 1996. **Solo-suelo 96: trabalhos**. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996.
- SCHIMIDT, D.V.C. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* em resposta à fertilização potássica e a calagem. 1995. 57p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa.
- SCHONAU, A.P.G. The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentrations in *Eucalyptus grandis*. **Fertilizer Research**, v.2, n.2, p.73-87, 1981.
- SGARBI, F.; BRITO, J.O.; SILVEIRA, R.L.V.A. **Características químicas, físicas e dimensões das fibras da madeira juvenil de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivado na omissão de macronutrientes e boro em solução nutritiva**. Piracicaba: Relatório Técnico IPEF/ESALQ, 1999. 29p.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.; CAMARGO, M.A.F. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com omissões de macronutrientes, boro e zinco. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, Salvador, 1997. **Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, v.3: Silvicultura, produtividade e utilização de eucaliptos. Salvador, 1997. p.92-97.
- SHEPARD Jr, R.K. Fertilization effects on specific gravity and diameter growth of red spruce (*Picea abies*) . **Wood Science**, v.14, n.3, p.138-144, 1982.
- SHEPARD, R.K.; SHOTTAFFER, J.E. Effects of fertilization on specific gravity and growth rate of red spruce (*Picea rubens* Sarg.). **Wood Science**, v.12, n.2, p.100-102, 1979.

- SIDDIQUI, K.M. Influence of fertilization on the ultrastructure and chemical composition of wood. 1972. 161p. Tese (Doutorado) – University Syracuse.
- SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim Pesquisa Florestal**, n.6/7, p.9-25. 1983.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N.; BRANCO, E. F. **Levantamento e estudo do mercado e uso de fertilizantes em florestas brasileiras**. Piracicaba, Relatório técnico, IPEF/ESALQ.1995c. 117p.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *E. grandis* da região de Itatinga/SP. II. Micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995d. **Resumos expandidos**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995d. p.899-901.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações (compact disc). In: Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal: Piracicaba, 1999. **Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal 99**: trabalhos. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; POMPERMAYER, P.N. **Monitoramento Nutricional do *Eucalyptus* na região de Capão Bonito/SP**. Relatório Técnico IPEF/ESALQ, 1998. 92p.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; LUCA, E. F.; SHIBATA, F. Absorção de macronutrientes pelas mudas de *E. grandis* em condição de viveiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995a. **Resumos expandidos**, Viçosa: SBCS, 1995a. p. 839-41.

- SILVEIRA, R.L.V.A.; LUCA, E. F.; SHIBATA, F. Absorção de micronutrientes pelas mudas de *E. grandis* em condição de viveiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995b. **Resumos expandidos**, Viçosa: SBCS, 1995b. p. 842-45.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Solo-suelo 96**: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996.
- SMITH, T.A. L-Arginine carboxylase of higher plants and its relation to potassium nutrition. **Phytochemistry**, v.2, p.241-245. 1963.
- SMITH, T.A. Polyamines. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.36, p.117-143, 1985.
- SMITH, T.A. Putrescine and inorganic and ions. **Recent Advances Phytochemistry**, v.18, p.7-54, 1984.
- SOUZA, M.E. Correlação adulto-juvenil para a eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade do solo. Viçosa, 1994. 49p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- SOUZA, V.R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELLO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, n.33, p.63-72, 1986.
- STAPE, J.L. Potencial de crescimento de *Eucalyptus grandis* numa Areia Quartzosa do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 172-73.

- STAPE, J.L.; BENEDETTI, V. Decréscimos de produtividade e resposta da brotação de *Eucalyptus grandis* à fertilização com macronutrientes em areia quartzosa no Estado de São Paulo-Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, Salvador, 1997. **Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, v.3: Silvicultura, produtividade e utilização de eucaliptos. Salvador, 1997. p.112-117.
- STAPE, J.L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis* em Areias Quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Trabalhos**. Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 386-390.
- STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.14, p.29-38, 1987.
- SUBRAHMANYAM, S.V. Effect of nitrogen and phosphorus on fibre morphology of *Eucalyptus grandis*. **Advances in Forestry Research in India**, v.1, p.207-215, 1988.
- SUNDBERG, B.; ERICSSON, A.; LITTLE, C.H.A.; NASHOLM, T.; GREE, R. The relationship between crown size and ring width in *Pinus sylvestris* L. Stems: dependence on indole acetic acid, carbohydrates and nitrogen in the cambial region. **Tree Physiology**, v.12, n.4, p.347-362, 1993.
- TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; CAMPOS, J.C.C.; LEAL, P.G.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de dua espécies de eucalipto em diferentes ambientes do médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, v.13, n.1, p.34-50.1987.
- TOKESHI, F.; GUIMARÃES, R. F.; TOMAZELLO FILHO, M. Deficiência de boro em *Eucalyptus* em São Paulo. **Summa Phytopathologica**, v.2, n.2, p. 122-126. 1976.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, n.29, p.37-45, 1985.

- VALE, A.T.; MOURA, V.P.G.; MARTINS, I.S.; REZENDE, D.C.A. Densidade básica média, em função da profundidade de penetração do pino do “pilodyn” e da classe diâmetrica, e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.19, n.1, p.80-91, 1995.
- VALERI, S.V. Efeito do fósforo e do cálcio no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* em um regossolo. Jaboticabal, 1983. 129p. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista.
- VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; AGUIAR, I.V. Efeitos de níveis de NPK e calcário dolomítico na produção volumétrica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Científica**, v.19, n.1, p. 63-70, 1991.
- VALERI, S.V.; ISMAEL, J.J. TORRES, R.M.; CORRADINI, L. Efeito do potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em areia quartzosa e latossolo vermelho escuro (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Solo-suelo 96: trabalhos**. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996.
- WEETMAN, G.F. **Effects of thinning and fertilization on the nutrient uptake, growth and wood quality of upland Black Spruce**. Ottawa: Pulp Paper Research Institute Canadian, n.28, 1971. 18p.
- WILL, G.M. Some change in the growth habit of *Eucalyptus* seedlings caused by nutrient deficiencies. **Empire Forestry Review**, v.40, n.4, p. 301-307, 1961.
- WILLIAMS, R.F.; HAMILTON, J.R.; The effect of fertilization on four wood properties of slash pine. **Journal Forestry**, v.59, n.9, p.662-665, 1961.
- WOOLLONS, R.C.; CRANE, W.J.B; SNOWDEN, P. Response to nitrogen, phosphorus and sulfur applications to a *Pinus radiata* stand in the Tumut region, New South Wales. **Australian Forestry**, v.58, n.3, p.135-141, 1995.

- YANG, R.C.; WANG, E.I.C.; MICKO, M.M. Effects of fertilization on wood density and tracheid length of 70 year-old logeople pine in West Central Alberta. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, n.7, p.954-956. 1988.
- YORDANOV, T.S.; SKOVA, T.G. Effect of mineral fertilizing on the macroscopic structure and density of Scots pine wood. **Gorsko Stopanstvo**, v.45, n.5, p.6-9, 1989.
- YOST, R.S.; DE BELL, D.S.; WHITESELL, C.D.; MIYASAKA, S.C. Early growth and nutrient status of *Eucalyptus saligna* as affected by nitrogen and phosphorus fertilization. **Australian Forest Research**, v.17, n.3, p.203-214. P. 1987.
- ZAIDAN, H. A.; BROETTO, F.; OLIVEIRA, E.; GALLO, L. A.; CROCOMO, O. T. Influence of potassium nutrition and the nitrate/ammonium ratio on the putrescine and spermidine contents in banana vitroplants. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.7, p.1123-1140, 1999.
- ZJACZKOWSKI, S. Auxin stimulation of cambial activity in *Pinus sylvestris*. The differential cambial response. **Plant Physiology**, v.29, n.3, p.281-287.1973.
- ZOBEL, B.J.; GOGGANS, J.F.; MAKI, T.E.; HENSON, F. Some effects fertilizers on wood properties of loblolly pine. **Tappi**, v.4, n.3, p.186-192. 1961.