

ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO


EFEITO DO ENXOFRE NO CRESCIMENTO E ASSIMI-  
LAÇÃO DE NITROGÊNIO POR DIFERENTES  
ESPÉCIES DE EUCALIPTO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1988




EFEITO DO ENXOFRE NO CRESCIMENTO E ASSIMILAÇÃO DE  
NITROGÊNIO POR DIFERENTES ESPÉCIES DE EUCALIPTO

APROVADA:



Prof. FABIANO RIBEIRO DO VALE  
Orientador



Prof. GERALDO APARECIDO DE AQUINO GUEDES



Prof. JOEL AUGUSTO MUNIZ

A Deus, pelo dom  
da vida

Aos meus pais, Nelson e Terezinha  
pelo carinho

Aos meus sogros, Anísio e Maria José  
pelo apoio

A minha esposa Marly pelo amor e  
incentivo, e as minhas filhas  
Isabela e Karina

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Sociedade de Investigações Florestais-SIF, pelo suporte financeiro para execução deste trabalho.

Ao Professor e amigo Fabiano Ribeiro do Vale, pela amizade, apoio, ensinamentos e orientação durante todo o curso.

Aos Professores Geraldo Aparecido de Aquino Guedes, Joel Augusto Muniz e Mozart Martins Ferreira pela colaboração e sugestões.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo pelos ensinamentos e produtivo convívio, em particular ao Professor Nilton Curi pela amizade e apoio.

Ao Professor Nairam Félix de Barros, da Universidade Federal de Viçosa, o reconhecimento pelo valioso auxílio.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial ao laboratorista Delane Ribeiro pela colaboração e amizade.

Ao amigo Antônio Claret de Oliveira, da Mannesmann Agro-Florestal Ltda. pelo inestimável auxílio prestado.

Aos colegas Armando José da Silva, Claudia Marcia Clemente, Ester Margaret F.M. Guazzelli, Ernesto Tavares Machado, Jorge Luiz Malburg, Maria Beatriz Amarante B.A. Pinto e Mauro Augusto de Paula pelo agradável convívio durante o curso.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra contribuíram para o bom êxito na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. O Enxofre como nutriente .....	4
2.2. Enxofre no solo .....	7
2.3. Resposta das plantas ao enxofre.....	11
2.4. Interação nitrogênio-enxofre .....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1. Material de solo e espécies vegetais .....	21
3.2. Determinações químicas e físicas do material de solo .....	22
3.3. Procedimento .....	22
3.4. Delineamento experimental .....	27
3.5. Determinações e parâmetros avaliados .....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
4.1. Efeito do enxofre na produção de matéria seca das diferentes espécies de eucalipto .....	30

	Página
4.2. Efeito do enxofre na concentração de nitrogênio e enxofre da parte aérea .....	41
4.2.1. Partição do nitrogênio total .....	41
4.2.2. Concentração de enxofre e relação nitrogênio/enxofre .....	50
4.3. Efeito do enxofre na concentração foliar de clorofila total .....	54
4.4. Eficiência de utilização de enxofre e nitrogênio .....	57
5. CONCLUSÕES .....	64
6. RESUMO .....	66
7. SUMMARY .....	68
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
9. APÊNDICE .....	85

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Principais características químicas e físicas do LV (0-20 cm) utilizado no experimento .....	23
2	Características químicas do solo LV (0-20 cm) após o período de incubação nos diversos tratamentos .....	25
3	Fontes e teores de micronutrientes aplicados nos vasos com as plantas de eucalipto .....	27
4	Peso seco de raiz, folhas e caule de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre .....	40
5	Frações de nitrogênio total da parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre no solo .....	42
6	Concentração de N-total na matéria seca de folhas e caule de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre .....	43



Quadro	página
7	Nitrogênio total absorvido por cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre no solo ..... 46
8	Concentração de N-orgânico solúvel da parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre ..... 47
9	Concentração de nitrato nas folhas e caule de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre ..... 49
10	Concentração de S-total e relações N/S na matéria seca da parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre ..... 51
 APÊNDICE	
11	Altura (cm) determinada em 4 épocas após o desbaste em plantas de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre..... 86
12	Relações raiz/parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre ..... 87
13	Concentração de clorofila total em folhas de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre ..... 88
14	Análise de variância do parâmetro teor de clorofila total de folhas de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre 89

Quadro		Página
15	Análise de variância do parâmetro matéria seca da parte aérea de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre ...	90
16	Análise de variância do parâmetro matéria seca total de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre .....	91
17	Análise de variância do parâmetro matéria seca da raiz de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre .....	92
18	Análise de variância do parâmetro relação raiz/ parte aérea (R/P) de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre.	93
19	Teores de fósforo na parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre .....	94
20	Teores foliares de cálcio, magnésio, potássio e relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre .....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efeito do enxofre na produção de matéria seca da parte aérea de cinco espécies de eucalipto .....	31
2	Efeito do enxofre na produção de matéria seca total de cinco espécies de eucalipto .....	32
3	Efeito do enxofre na produção de matéria seca da raiz de cinco espécies de eucalipto .....	33
4	Efeito do enxofre na relação raiz/parte aérea (R/P) de cinco espécies de eucalipto .....	38
5	Efeito do enxofre na concentração foliar de clorofila em cinco espécies de eucalipto .....	47
6	Eficiência de utilização de enxofre por cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre .....	58

Figura		Página
7	Eficiência de utilização de nitrogênio por cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes <u>n</u> íveis de enxofre no solo .....	60
8	Produção de matéria seca da parte aérea de cinco espécies de eucalipto em função da eficiência de utilização de nitrogênio .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

Em razão do aumento de consumo de energia no Brasil, onde cerca de 20% do total consumido se origina da madeira combustível, atenção especial tem sido dada ao setor de reflorestamento. Aliado ao suprimento de energia, a atividade florestal também é responsável pelo fornecimento de madeira para a indústria de papel e celulose, o que faz com que haja grandes investimentos neste setor.

Várias espécies são utilizadas para reflorestamento, mas dentre elas, o eucalipto, em razão de seu rápido crescimento, boa adaptação e diversidade da aplicação de sua madeira, é a espécie florestal mais difundida, chegando a representar aproximadamente 88% do total plantado no estado de Minas Gerais, onde se encontra grande parcela do parque siderúrgico brasileiro.

A implantação de reflorestamentos tem sido direcionada nos anos recentes, para as áreas de cerrado, em virtude da

exigência de grandes extensões de terra e do alto custo das terras mais férteis. Os solos sob vegetação de cerrado apresentam em geral baixa fertilidade natural, MALAVOLTA et alii (54), o que na prática exige uma quase obrigatoriedade de uso de fertilizantes minerais. Os teores de matéria orgânica nestas áreas podem ser considerados médios, LOPES (51); embora em determinadas condições sejam extremamente baixos, levando à necessidade de adubação mineral com nitrogênio e enxofre, já que a matéria orgânica é a principal fonte destes nutrientes no solo. Além disto, o manejo das áreas de cerrado é feito em geral pela queima de restos vegetais, o que associado à constituição predominantemente arenosa de parte desses solos e ocorrências de uma baixa precipitação, levam a previsão de que os teores de nitrogênio e enxofre se situem aquém das necessidades dos vegetais. No caso particular do enxofre, o uso de fertilizantes e misturas concentradas isentas deste elemento na sua composição faz com que o problema se torne ainda maior.

Parece haver uma estreita ligação entre os metabolismos de nitrogênio e enxofre, com evidências de que estes elementos são utilizados pelas plantas dentro de uma relação estequiométrica definida.

Espécies de eucalipto de diversas procedências tem sido utilizadas para reflorestamento, fazendo com que se tenha grande número de combinações genéticas com provável diferença na resposta à fertilização com enxofre.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a resposta à fertilização com enxofre por cinco diferentes espécies de eucalipto na fase de muda, com especial ênfase para a assimilação de nitrogênio.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O enxofre como nutriente

O enxofre, muitas vezes considerado um macronutriente secundário, desempenha relevantes funções com relação à nutrição das plantas. Além de fazer parte de alguns aminoácidos e de todas as proteínas vegetais, o enxofre é também ativador enzimático, compõe grupo ativo de enzimas e coenzimas, participa na síntese de clorofila, absorção de  $\text{CO}_2$ , sendo ainda imprescindível no processo de fixação de  $\text{N}_2$  pelas leguminosas noduladas, MALAVOLTA (53). Em razão de sua participação no metabolismo das plantas, uma série de distúrbios estão associados à sua deficiência: redução na fotossíntese e atividade respiratória, queda na síntese de proteínas com aparecimento de altas relações N solúvel/N proteico, redução no teor de gorduras, acúmulo de carboidratos solúveis e diminuição na fixação livre e simbiótica do  $\text{N}_2$  atmosférico, MALAVOLTA (52).



Como o enxofre participa dos aminoácidos sulfurados e da fração proteica, foi observado que os cloroplastos contêm proteína rica em enxofre, THOMPSON (82). Desta maneira, de acordo com BOTTRILL et alii (5) a deficiência de enxofre reduz a fotossíntese líquida pela diminuição no teor de clorofila e pelo decréscimo na taxa de fotossíntese por unidade de clorofila. Segundo Eaton citado por HADDAD (35), a clorose associada com a deficiência de enxofre deve-se à função deste nutriente como constituinte de uma proteína necessária à síntese e manutenção de clorofila. Confirmando estas observações, em estudo com plântulas de milho submetidas à deficiência de enxofre em solução nutritiva, FRIEDRICH & SCHRADER (28) encontraram que o teor de clorofila na lâmina foi reduzida em 25% aos 12 dias após emergência. Chen citado por RENDIG et alii (67) afirma que folhas de planta de alfafa bem nutridas em enxofre fixam cerca de 25% mais  $\text{CO}_2$  do que folhas de plantas deficientes em enxofre.

Nos últimos anos tem se verificado o agravamento da deficiência deste nutriente nas regiões tropicais, o que é associado aos menores teores de enxofre no perfil dos solos destas áreas quando comparados com aqueles das regiões temperadas, VITTI (85), e aumento considerável no uso de misturas e adubos simples isentos de enxofre, VITTI (85) e WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO (86). A própria correção do solo com adubos fosfatados e calcários em doses elevadas, poderia levar à perda do sulfato

dos horizontes superficiais por lixiviação, WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO (86).

Um dos problemas encontrados nos reflorestamentos com eucalipto em áreas de cerrado, é a ocorrência de morte dos ponteiros ou "dieback", geralmente na estação seca após o 2º ano de plantio. LAMBERT & TURNER (49) indicam que a ocorrência de "dieback" em *Pinus radiata* é devida ao fato do sistema vascular se tornar inefetivo em razão da deficiência de enxofre e/ou boro no solo, levando à debilidade estrutural da planta, ou porque a deficiência destes nutrientes torna a planta susceptível ao ataque de fungos. Estes autores sugerem que a falta de enxofre provoca um distúrbio metabólico que torna o broto apical resinoso, facilitando a penetração de fungos na parte aérea, além de promover o acúmulo de determinados aminoácidos que favorecem o rápido crescimento desses microorganismos.

No caso específico do Brasil, a exploração mais intensiva e tecnicizada das áreas de cerrado, inclusive com espécies florestais, pode levar ao agravamento da deficiência do enxofre, seja pela remoção pelas culturas ou mesmo em razão dos baixos teores de matéria orgânica destes solos, principal fonte do elemento para as plantas. Apesar de se considerar que algumas espécies poderiam obter grande parte do enxofre via absorção foliar de  $SO_2$ , OLSEN (60), há nestas áreas em geral, baixos níveis de efluentes industriais.

Assim, de acordo com VITTI (85) parece haver uma grande lacuna entre o enxofre fornecido e o enxofre exigido pelas culturas, fazendo com que o potencial total do moderno sistema de agricultura não seja atingido.

## 2.2. Enxofre no solo

Na camada superficial ou arável dos solos, o enxofre se encontra nas formas de sulfato solúvel, sulfato adsorvido e em várias formas orgânicas, HOEFT et alii (38). Na maioria dos solos, a fração orgânica representa a quase totalidade do enxofre, Reisenauer et alii citados por MENGEL & KIRKBY (55). Nos solos tropicais este comportamento parece prevalecer, pois NEPTUNE et alii (59) em estudo com solos representativos dos Estados de São Paulo e Paraná, observaram que o enxofre orgânico representou 88,8% do enxofre total nestes solos, sendo que esta fração estava presente nas formas de carbono ligado ao enxofre e éster de sulfato, esta última representando 20 a 65% do enxofre total.

A mineralização do enxofre orgânico é dependente da temperatura, umidade do solo, presença e ausência de plantas, relação C/S do material orgânico, tempo e pH do solo, VITTI (85), sendo o processo de mineralização semelhante ao do nitrogênio, FRENEY & STEVENSON (27). A esse respeito, se indica que o enxofre orgânico é mineralizado ligado ao nitrogênio orgânico, sendo que existe grande similaridade entre os ciclos destes

nutrientes, SANCHEZ (72). Deve ser considerado que há evidências de que somente 1 a 2% do S-orgânico se torna disponível durante o ciclo de desenvolvimento de cultura, Freney & Swaby citados por VITTI (85), o que pode agravar a deficiência deste nutriente.

Não se deve esperar uma mineralização do enxofre orgânico proporcional ao seu teor no solo, pois não se observa correlação significativa entre o enxofre total ou o enxofre orgânico com o enxofre em forma de sulfato, NASCIMENTO & MORELLI (57). Este comportamento sugere a utilização de outros parâmetros para avaliar a disponibilidade de enxofre no solo. A esse respeito, NASCIMENTO & MORELLI (58) observaram que a relação C/S-total correlaciona positivamente com a produção relativa de sorgo e alfafa e concluíram que nos solos em que esta relação é maior que 120 há alta probabilidade de deficiência de enxofre.

Contudo, parece haver uma relação N:S mais ou menos constante nos solos pois observou-se em estudos na Nigéria e na Austrália, Oke e Williams & Steinberg citados por SANCHEZ (72), que esta relação na matéria orgânica destes solos era de 10:1, enquanto MENGEL & KIRKBY (55) apontam uma relação de 10:1,2 e em solos do Brasil, NEPTUNE et alii (59) encontraram valores de 10:1,6. Porém, KANG et alii (45) observaram que esta relação era de 10:2,8 em solos de floresta da Nigéria.

Após o processo de mineralização, o enxofre passa para a forma inorgânica, representada pelo  $SO_4^{-2}$  que é a principal forma de enxofre inorgânico presente nos solos, VITTI (85). Esta é a forma de enxofre absorvida pelas plantas, MENGEL & KIRKBY (55) e CALVET (8). Todavia, esta forma representa menos de 10% do total presente aos solos, de acordo com CALVET (8).

As interações do sulfato no solo são importantes na nutrição de enxofre e embora complexas, foram resumidas por HARWARD & REISENAUER (37), da seguinte forma:

a) Os solos tem em geral maior capacidade de reter sulfato nos horizontes subsuperficiais do que nos horizontes superficiais, devido ao menor pH do subsolo ou à saturação da camada superficial com fosfatos ou outros ânions.

b) Há uma dependência da retenção de sulfato em relação ao pH, sendo que a retenção aumenta à medida que diminui o pH.

c) Óxidos de ferro e alumínio apresentam tendência de reter sulfato.

d) Argilas do tipo 1:1 retêm mais sulfato que argilas 2:1.

e) A adsorção depende da concentração na solução do solo.

f) A força de retenção dos ânions nos solos segue a ordem fosfato > molibdato > sulfato = acetado > nitrato = cloreto.

g) O cátion associado ao sal e os cátions trocáveis influenciam a quantidade de sulfato retido.

VITTI (85) citando Kampfer & Zehler afirma que o sulfato encontra-se principalmente na solução do solo, onde pode facilmente perder-se por lixiviação ou ser adsorvido à fração argila, constituindo-se neste caso na principal fonte de reserva para as plantas, pois devido à fraca energia de retenção poderia retornar à solução do solo e ser absorvido pelas plantas. A adsorção do sulfato é um mecanismo que pode evitar a perda deste ânion por lixiviação, SANCHEZ (72).

Nos solos altamente intemperizados que prevalecem nas áreas de cerrado, devido à grande presença de óxidos de ferro e alumínio, poderia haver adsorção de quantidades consideráveis de sulfato na subsuperfície, mas neste caso o sistema radicular teria de atingir o subsolo, KAMPRATH et alii (44), para aproveitamento do enxofre pelas plantas.

Há indicações de que o nível crítico de  $SO_4^{-2}$  no solo está em torno de 6 ppm, Kamprath & Till citados por VITTI (85) e NASCIMENTO & MORELLI (58). Estes últimos autores afirmam que na falta de outros dados de análise, o teor de 6 ppm de sulfato extraído com  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  em ácido acético 2N pode ser considerado como nível crítico, abaixo do qual é provável a deficiência de enxofre. Estudando vários solos de áreas de reflorestamento em Minas Gerais, ALVAREZ et alii (1) determinaram os níveis críticos de enxofre através do uso de duas relações

solo:solução 1:2,5 e 1:5,0 com o extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  - 500 ppm P em ácido acético 2N. Na relação solo:solução 1:2,5 o nível crítico variou de 1,8 a 14,9 ppm S enquanto na relação 1:5,0 encontrou-se variações da ordem de 15,1 a 25,3 ppm S. BARROS et alii (2) afirmam ser o enxofre deficiente em áreas de cerrado, aliado ao fato do nível crítico aumentar à medida que a textura do solo se torna mais arenosa.

### 2.3. Resposta das plantas ao enxofre

A importância do enxofre como nutriente é bastante conhecida, sendo que seu fornecimento provoca aumento no rendimento de várias culturas. JONES & RUCKMAN (43) testando fontes de enxofre em pastagens, observaram que a máxima produção de forragens foi obtida com aplicação anual de gesso ou aplicação bienal de enxofre elementar, sem o que a produtividade seria comprometida. Dados obtidos por JONES (40) indicam que o rendimento de forragens também foi significativamente aumentado com a aplicação de enxofre.

Num estudo com alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul, WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO (86) encontraram respostas no rendimento de matéria seca pela aplicação de  $\text{SO}_4^{-2}$  em sete dos oito solos estudados, obtendo os maiores rendimentos com a aplicação de 20 a 40 ppm de S em praticamente todos os solos. Resultados semelhantes foram observados por JONES & QUAGLIATO (42)

que obtiveram aumentos na produção de matéria seca em leguminosas e na alfafa com a aplicação de doses crescentes de enxofre.

Para verificação da resposta de capim-swannee-ber muda a nitrogênio, fósforo e enxofre, FREITAS & JORGE (25) estudaram o rendimento desta espécie por 3 anos consecutivos, e observaram que no 3º ano o rendimento foi 67,5% maior ao se usar enxofre. Os autores justificam que no 1º e 2º anos a produção onde não se utilizou enxofre foi alta, devido aos teores do elemento no solo (35 ppm), além da adição através do fertilizante empregado e da água da chuva que forneceu aproximadamente 8 kg/ha/ano de enxofre. Estas fontes alternativas devem ser consideradas com cautela na resposta à fertilização com enxofre. COWLING & JONES (14), afirmam que na Inglaterra, a nutrição de azevem de alta produtividade depende da adição de enxofre da atmosfera e dos fertilizantes.

Estudando o rendimento e nodulação de *Leucaena leucocephala* em solo de cerrado de Planaltina-D.F., SANZONOWICZ & COUTO (73) constataram que o enxofre aumentou a absorção de cálcio e magnésio, a produção de matéria seca, o número e peso dos nódulos, além de que não houve nodulação nas parcelas que não receberam esse nutriente. Há também evidências de resposta à fertilização com enxofre para outras culturas tais como sorgo granífero, FONTES et alii (23), e soja, KUMAR & SINGH (47).



Com relação à cultura do eucalipto, embora não haja muitas referências, os efeitos do enxofre devem ser acentuados, pois o plantio agora direcionado para áreas de cerrado normalmente pobres em matéria orgânica, provavelmente faz com que esta espécie apresente resposta à adubação sulfatada. BARROS et alii (2) afirmam ser o enxofre deficiente nos solos de cerrado. Solos ácidos do Rio Grande do Sul também apresentaram baixa disponibilidade de enxofre, GOEPFERT & KUSSOW (32).

Em trabalho recente, FERREIRA (22) observou a produção de biomassa por plantas de *Eucalyptus grandis* quando submetidas aos ânions  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^{-2}$  através da técnica de raízes subdivididas e concluiu que houve um menor crescimento da parte aérea desta espécie quando se suprimiu o  $\text{SO}_4^{-2}$  da solução nutritiva. CAMERON et alii (9) indicam que respostas no crescimento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foram devidas ao enxofre, além do zinco e cobre.

Diferenças genéticas podem fazer com que espécies distintas não apresentem o mesmo comportamento com relação à fertilização com os diversos nutrientes. Assim, JONES (41) encontrou diferenças no rendimento, concentração de  $\text{SO}_4^{-2}$  na planta e absorção total de enxofre entre cinco espécies de pastagens quando submetidas a níveis crescentes de S-disponível. No estudo de JONES & QUAGLIATO (42) também se observou que a magnitude de resposta à aplicação de enxofre foi bem diferente para espécies distintas. Este comportamento é corroborado por

CASAGRANDE & SOUZA (10) que observaram que o capim gordura e o braquiária responderam melhor no tocante a produção de matéria seca do que o capim jaraguã e setária quando submetidos a níveis crescentes de enxofre. Aumento dos níveis de enxofre ocasionou incremento no rendimento do milho, soja, cowpea e tomate, porém para o quiabo e algodão não houve alteração, GAINES & PHATAK (30). Diferenças observadas em plantas de trigo, levaram RANDALL et alii (64) a separação de genótipos quanto a resposta a enxofre; aqueles que respondem a fornecimento extra de S e aqueles não responsivos. Diferenças entre espécies também são confirmadas por SANCHEZ (72).

Em determinadas condições pode não haver resposta à fertilização com enxofre uma vez que SNOWDON & WARING (75) em estudo com *Pinus radiata*, e MILCHUNAS et alii (56) trabalhando com *Agropyron smithii* não obtiveram resposta à aplicação deste nutriente. Na cultura do eucalipto, DAVIDE et alii (16) não encontraram resposta à aplicação de gesso para formação de mudas até os 90 dias de idade. Também ROCHA FILHO et alii (70) estudando a omissão de nutrientes na solução nutritiva de mudas de *Eucalyptus urophylla*, verificaram que a supressão do enxofre não teve efeito no crescimento desta espécie, embora tenham sido observados sintomas de deficiência do elemento. Estas observações indicam a necessidade de se considerar especialmente em reflorestamentos a interação solo x espécie vegetal, pois nesta atividade, devido às grandes extensões, ocorre

uma enorme diversidade de solos e espécies utilizadas. A esse respeito, FAGERIA & SINGH (21) ressaltam que os efeitos do enxofre e do nitrogênio sobre o crescimento de uma determinada cultura variam em função da espécie e do tipo de solo.

Por outro lado, foi observado que altas doses de enxofre podem não apresentar aumentos no rendimento, ou mesmo provocar redução na produção (24, 25, 40, 47, 63). Este efeito detrimental de altas doses de  $SO_4^{-2}$  pode ser devido a problemas de salinidade, Henckel & Solovijov citados por MENGEL & KIRKBY (55). Estudos recentes tem mostrado que o excesso de enxofre pode causar redução no peso seco e na produção, além de atraso na floração, sugerindo que este excesso causa mudanças severas e prejudiciais no metabolismo das células das plantas, RENNENBERG (68). Entretanto, MENGEL & KIRKBY (55) reportam que as plantas são em geral tolerantes a altas concentrações de  $SO_4^{-2}$  no meio, excessão feita a solos salinos, onde a concentração deste íon na solução pode atingir 50mM, causando efeitos adversos no crecimento das culturas.

#### 2.4. Interação nitrogênio-enxofre

Existem na literatura inúmeras evidências da interação nitrogênio x enxofre no crescimento das plantas (4, 15, 22, 35, 39, 61, 66). A relação molar existente entre N e S nas

proteínas sugere que as taxas de assimilação destes elementos estão intimamente acopladas e coordenadas com a taxa de síntese líquida de proteínas, REUVENY & FILNER (69).

Analisando os efeitos da aplicação de nitrogênio e enxofre em milho, THOMAS (81) observou que a aplicação de nitrogênio favorece o uso de enxofre pela planta e vice-versa. Trabalhando com cevada, REISENAUER & DICKSON (66) afirmam que aumentos consideráveis no rendimento foram obtidos com a aplicação destes elementos, além de que a aplicação do fertilizante sulfatado causa incremento na produção quando é aplicado junto com fertilizante nitrogenado. A adição de enxofre parece resultar numa maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, REISENAUER & DICKSON, (66) e THOMAS (81). Em plantas de milho, foi observada pouca resposta ao enxofre aplicado sem nitrogênio e vice-versa, TERMAN et alii (79).

DAIGGER & FOX (15) observaram em estudo com milho doce, que foram necessários 225 kg N/ha para atingir a produção máxima quando não se aplicou enxofre; com a aplicação de 66 kg S/ha a necessidade de nitrogênio para atingir a mesma produção foi de 135 kg/ha. O uso de 56 ou 112 kg N/ha ambos com adição de enxofre de acordo com RABUFFETTI & KAMPRATH (61) não teve efeito ou mesmo reduziu a produção de milho, enquanto a dosagem de 168 ou 224 kg N/ha com aplicação de enxofre provocou acentuado aumento na produção. Estas observações sugerem a existência de uma relação N/S ideal no solo e na planta a fim de

que se obtenha as máximas produções. JANZEN & BETTANY (39) observam que no cultivo de *Brassica napus* L. a relação N/S ideal no solo é de 7:1 para se obter uma eficiente assimilação dos nutrientes e manutenção da máxima produção de sementes.

Os dados de literatura indicam controvérsias no que diz respeito à relação N/S ideal na planta: 10:1 em grama perene, BOLTON et alii (4); 17:1 em trigo, RANDALL et alii (64); 12 a 15:1 em trigo, milho e feijão, STEWART & PORTER (76); 16:1 em milho, TERMAN et alii (79); 16:1 em trigo, RASMUSSEN et alii (65); 8,2 a 14,9 em milho doce, DAIGGER & FOX (15); 10 a 15:1 em cana de açúcar, FOX (24). Esta relação parece variar com a espécie e idade da planta pois DIJKSHOORN & VAN WIJK (18) demonstraram que ao atingir a maturidade a relação N/S tende a se estabilizar em 14:1 nas gramíneas e 17:1 nas leguminosas. Entretanto, FRENEY et alii (26) indicam que esta relação não é afetada pelo suprimento de nitrogênio ou pela idade da planta.

Em trabalho com eucalipto, FERREIRA (22) observou uma estreita relação entre os metabolismos de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{-2}$  inclusive nas raízes desta espécie florestal. A esse respeito, SACCOMANI et alii (71) verificaram que quando se retirava  $\text{SO}_4^{-2}$  da solução nutritiva por cinco dias, aumentava a concentração de  $\text{NO}_3^-$  nas raízes de milho, enquanto que na falta de nitrogênio na solução, as plantas apresentavam redução na atividade da enzima ATP sulfurilase (ATPS) importante na rota de assimilação de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{-2}$ . Por observarem redução de 50% na atividade da nitrato

redutase em plantas deficientes em enxofre, FRIEDRICH & SCHRADER (28), sugerem ser esta enzima o regulador primário da assimilação de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{-2}$ . Trabalhando com células de fumo, REUVENY & FILNER (69) postularam que a ATP sulfurilase, enzima inicial da via de assimilação do  $\text{SO}_4^{-2}$ , atua em sincronia com a nitrato redutase, interligando a assimilação do  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{-2}$  e sendo regulada tanto pela nutrição de enxofre como de nitrogênio.

A fertilização com nitrogênio aumenta a habilidade das plantas de milho em obter enxofre do solo, provavelmente em razão de uma maior proliferação de raízes, que podem conseguir este nutriente do subsolo, DAIGGER & FOX (15). Confirmando esta suposição, FERREIRA (22) verificou que o  $\text{NO}_3^-$  estimulou em muito o crescimento radicular de plantas de eucalipto em solução nutritiva. Por outro lado, FOX (24) em estudo com cana de açúcar afirma que plantas crescendo com baixo teor de enxofre também desenvolveram um extenso e fino sistema de raízes, com o crescimento destas excedendo a parte aérea. O crescimento preferencial do sistema radicular das plantas em detrimento da parte aérea quando cultivadas em solos de baixa fertilidade, foi confirmado por CLARKSON (13), inclusive com variações entre espécies.

A deficiência de enxofre está associada a certas ocorrências metabólicas nas plantas. Deste modo, quando a concentração de enxofre está aquém do necessário ocorre acúmulo de nitrogênio não proteico. Este comportamento foi observado por

FRIEDRICH & SCHRADER (28) na parte aérea e por SACCOMANI et alii (71) nas raízes de plântulas de milho. Parece que o suprimento inadequado de enxofre limita a síntese proteica e inibe o mecanismo de absorção de nitrogênio, RENDIG et alii (67). Em algodão, plantas deficientes em enxofre apresentavam altas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e nitrogênio orgânico solúvel, enquanto que em plantas não deficientes havia maiores teores de nitrogênio proteico, ERGLE & EATON (20).

Parece que o padrão de resposta das espécies à deficiência de enxofre é variável, uma vez que BOLTON et alii (4) observaram pequeno acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  em gramíneas, ao passo que FRIEDRICH & SCHRADER (28) encontraram concentrações significativamente elevadas em milho. De acordo com estes últimos autores em razão da relação N proteico: S proteico em proteínas individuais ser geneticamente fixada, formas de N-não proteico se acumulam quando a disponibilidade de enxofre limita a síntese proteica, e de modo similar,  $\text{SO}_4^{2-}$  se acumula quando a taxa de absorção deste íon excede a quantidade requerida para a síntese proteica. De acordo com BOLTON et alii (4) em plantas de azevem deficientes em enxofre metade do N-total estava presente na forma de N-orgânico solúvel. Este acúmulo de formas não proteicas de nitrogênio parece ser prejudicial, pois JANZEN & BETTANY (39) afirmam que a excessiva absorção de nitrogênio comparado com o enxofre provoca declínio da produção devido ao acúmulo de nitrato, amidas e aminoácidos livres que são tóxicos e provocam distúrbios metabólicos.

As evidências observadas na literatura no tocante às respostas ao enxofre, bem como a sua interação com nutrientes como por exemplo, o nitrogênio, ressaltam a importância de se considerar o enxofre na prática de fertilização, mais notadamente nas áreas de cerrado, onde se espera que a resposta a este nutriente seja mais acentuada.

Na atividade florestal a importância do enxofre como nutriente, provavelmente é ainda mais significativa, uma vez que a diversidade de solos e espécies vegetais envolvidas aumenta sobremaneira a possibilidade de resposta à aplicação adequada deste nutriente.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material de solo e espécies vegetais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras- ESAL, no período de 13-04-87 a 12-07-87.

Utilizou-se de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média, fase cerrado, originário do município de Itumirim-MG, do qual se coletou material de solo na profundidade de 0-20cm. Após secagem ao ar o material de solo foi passado em peneira de 5mm.

Cinco diferentes espécies de eucalipto foram utilizadas no presente estudo: *Eucalyptus camaldulensis* (Ca), *Eucalyptus citriodora* (Ci), *Eucalyptus grandis* (Gr), *Eucalyptus pellita* (Pe) e *Eucalyptus pilularis* (Pi).

### 3.2. Determinações químicas e físicas do material de solo

No preparo das amostras para as determinações químicas e físicas do material de solo, foi seguido o procedimento de secagem ao ar e tamizagem em malha de 2mm. A análise granulométrica, densidade de partículas e densidade do solo foi efetuada segundo metodologia de DAY (17). As análises químicas foram efetuadas conforme VETTORI (84) com modificações, EMBRAPA (19), para pH H<sub>2</sub>O; H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>; Ca<sup>+2</sup>; Mg<sup>+2</sup>; Al<sup>+3</sup>; P e K. A matéria orgânica foi determinada segundo RAIJ & QUAGGIO (62). Os resultados das análises físicas e químicas do material de solo antes da incubação e plantio são apresentados no Quadro 1.

### 3.3. Procedimento

O material de solo foi dividido em quatro partes iguais de 80 dm<sup>3</sup> cada, sendo que cada parte recebeu uma das quatro doses de enxofre na forma de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O dissolvido em água: 0, 5, 20 e 30 mg S/dm<sup>3</sup> de solo, constituindo-se nos diferentes tratamentos.

A seguinte adubação básica foi aplicada ao material de solo de cada uma das partes: N = 50 mg/dm<sup>3</sup> de solo aplicado na forma de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; P = 240 mg/dm<sup>3</sup> de solo aplicado na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O e K = 100 mg/dm<sup>3</sup> aplicado na forma de

QUADRO 1 - Principais características químicas e físicas do LV  
(0-20 cm) utilizado no experimento

---

Análise Química

pH H <sub>2</sub> O	5,6
P (ppm)	0,0
K (ppm)	14,0
Ca (meq/100 cc)	0,3
Mg (meq/100 cc)	0,1
Al (meq/100 cc)	0,3
H + Al (meq/100 cc)	1,7
S (meq/100 cc)	0,4
t (meq/100 cc)	0,7
T (meq/100 cc)	2,1
m (%)	41
V (%)	20
Carbono (%)	0,4
Matéria orgânica (%)	0,7

Análise Física

Areia (%)	75,0
Limo (%)	6,0
Argila (%)	19,0
Umidade (%)	2,15
Densidade de partícula (g/cm <sup>3</sup> )	2,70
Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	1,46

---

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Foi também aplicado  $\text{MgCO}_3$  para fornecimento de magnésio, de forma a elevar seu teor até o nível crítico proposto por BARROS et alii (2).

Após aplicação dos tratamentos e adubação, o solo de cada uma das sub-amostras foi homogeneizado e adicionado em tubos de PVC com capacidade para  $3,42 \text{ dm}^3$  de solo, colocando-se em seguida água para preencher aproximadamente 60% do espaço poroso total. Com isso os solos foram incubados por 15 dias. Os vasos de PVC foram revestidos internamente com tinta escura e pratos de plástico foram adaptados no fundo dos vasos de maneira que não se teve escoamento de água. Cada caso de PVC se constituiu em uma unidade experimental.

A análise química do solo das unidades experimentais após o período de incubação com  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  está apresentada no Quadro 2.

Antes de ser efetuada a semeadura, os teores de  $\text{S-SO}_4^{-2}$  do solo nos diferentes tratamentos foram determinados com solução de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  em ácido acético 2N contendo 500 ppm P e determinados por turbidimetria conforme TEDESCO et alii (78). Os resultados obtidos na extração estão apresentados no Quadro 2.

Após o período de incubação as cinco espécies de eucalipto foram semeadas diretamente nos vasos de PVC, com uma média de 10 sementes por vaso. A fim de se evitar a incidência direta do sol sobre as sementes, os vasos foram tampados com tela escura furada, que foi retirada por ocasião do desbaste.

QUADRO 2 - Características químicas do solo LV (0-20 cm) após o período de incubação nos diversos tratamentos (média de 3 repetições).

Características	Tratamento 0	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
	0,0 mg S/dm <sup>3</sup>	5,0 mg S/dm <sup>3</sup>	20,0 mg S/dm <sup>3</sup>	30,0 mg S/dm <sup>3</sup>
pH H <sub>2</sub> O	5,4	5,3	5,1	5,5
P (ppm)	52	35	43	42
K (ppm)	90	77	92	87
Ca (meq/100 cc)	0,5	0,5	0,7	0,7
Mg (meq/100 cc)	0,3	0,3	0,3	0,2
Al (meq/100 cc)	0,1	0,1	0,1	0,1
H + Al (meq/100 cc)	1,7	1,8	1,6	1,5
S (meq/100 cc)	1,0	1,0	1,2	1,1
t (meq/100 cc)	1,1	1,1	1,3	1,2
T (meq/100 cc)	2,7	2,8	2,8	2,6
m (%)	9,1	9,1	7,7	8,3
V (%)	37	36	43	42
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	6,02	9,30	17,25	21,92

\* - Análises efetuadas no Departamento de Ciência do Solo-ESAL.

\*\* - Extrator S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O em ácido acético 2 N com 500 ppm P. Relação solo solução 1:2,5.

As sementes das diferentes espécies não tiveram germinação uniforme, mas a média foi de 5 dias. O desbaste foi efetuado 10 dias após a sementeira, deixando-se uma planta por vaso.

Os vasos receberam adubação nitrogenada complementar a cada 20 dias após o desbaste na dosagem de 30 mg de N/dm<sup>3</sup> de solo aplicados na forma de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Esta adubação foi parcelada em 2 aplicações de 15 mg N/dm<sup>3</sup> espaçadas de 5 dias cada, a fim de se evitar problemas de toxicidade. A quarta e última cobertura nitrogenada foi aplicada na dosagem de 15 mg N/dm<sup>3</sup> de solo usando-se como fonte o KNO<sub>3</sub>, sendo que a utilização desta fonte promoveu um incremento do potássio fornecido através da adubação básica de aproximadamente 42 mg K/dm<sup>3</sup> de solo.

Para a adubação com micronutrientes foi utilizado um coquetel de sais sem enxofre (Quadro 3), tendo sido a dosagem total parcelada em 2 aplicações aos 10 e 40 dias após emergência.

Durante a condução do experimento os vasos foram periodicamente pesados, repondo-se com água desmineralizada o volume de água evapotranspirada, até manter aproximadamente 60% do volume total de poros.

QUADRO 3. Fontes e teores de micronutrientes aplicados nos vasos com as plantas de eucalipto.

Elemento	Fonte	Teor aplicado mg elemento/dm <sup>3</sup>
B	$H_3BO_3$	0,81
Mn	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	3,66
Cu	$CuCl_2$	1,33
Fe	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	1,56
Mo	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	0,15
Zn	ZnO	5,00

#### 3.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos distribuídos num arranjo fatorial 5x4 (5 espécies e 4 doses de enxofre) com três repetições.

No tocante às determinações químicas na matéria seca do caule, foi necessário fazer uma amostra composta com as três repetições, uma vez que não houve material vegetal suficiente para as determinações. Deste modo, optou-se por utilizar a média das espécies nas diferentes doses e relações estudadas.

### 3.5. Determinações e parâmetros avaliados

As plantas tiveram suas alturas medidas aos 20, 40, 60 e 80 dias após o desbaste.

Na semana que antecedeu a colheita, foi determinada a concentração de clorofila em tecidos frescos da folha, sendo que a determinação foi efetuada em folhas totalmente expandidas, coletadas em quatro pontos equidistantes na altura das plantas. A metodologia seguida nesta determinação foi aquela proposta por BRUINSMA (7) e adaptada por STRAIN et alii (77).

Aos 90 dias após o plantio, a parte aérea das plantas foi cortada à altura do coleto. O material vegetal separado em raiz, caule e folhas foi seco em estufa com circulação de ar a 70°C até atingir peso constante, realizando-se após a pesagem da matéria seca. A retirada das raízes do solo dos vasos foi feita por peneiragem.

A matéria seca correspondente ao caule e folhas foi moída separadamente em moinho tipo Willey com peneira de 40 mesh. O material vegetal pulverizado foi armazenado em frascos de vidro até o momento das determinações químicas.

O teor de N-total (a) foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl segundo LIAO (50) e a destilação e titulação segundo BREMNER & EDWARDS (6). O N-solúvel (b) foi determinado de forma similar e inclui todos os compostos nitrogenados extraídos do tecido seco com água destilada a 70°C, durante 45



minutos. Nitrogênio nítrico (c) foi extraído em água a 45°C, por uma hora, e dosado colorimetricamente por nitração do ácido salicílico, CATALDO et alii (11). Os teores de N-orgânico solúvel foram obtidos pela diferença entre (b) e (c). O N-insolúvel foi calculado pela diferença entre (a) e (b).

No extrato obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados os teores totais de P por colorimetria, de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de K por fotometria de emissão de chama, e de S-total por turbidimetria, BLANCHARD et alii (3).

A eficiência de utilização de N e S pelas diferentes espécies de *Eucalyptus* quando submetidas a diferentes níveis de  $S-SO_4^{-2}$  foram calculadas segundo modelo proposto por SIDDIGI e GLASS (74), através da expressão  $E = W/C$  onde  $C = Q/W$ , sendo E = eficiência de utilização; W = peso seco da parte aérea (folhas + caule); C = concentração do elemento no tecido e o Q = quantidade do nutriente na biomassa.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Efeito do enxofre na produção de matéria seca das diferentes espécies de eucalipto

As produções de matéria seca da parte aérea e de matéria seca total das diferentes espécies de eucalipto são apresentadas respectivamente nas Figuras 1 e 2.

Observa-se que o efeito dos níveis de enxofre foi praticamente igual na produção de matéria seca da parte aérea (Figura 1) e total (Figura 2), ocorrendo um efeito quadrático dos níveis com relação a estes parâmetros. Independente do tipo de comportamento do sistema radicular com relação aos diferentes níveis de enxofre (Figura 3), a semelhança de comportamento entre produção de matéria seca da parte aérea e total comprovam a coordenação de crescimento entre a parte aérea e o sistema radicular, CLARKSON (13).

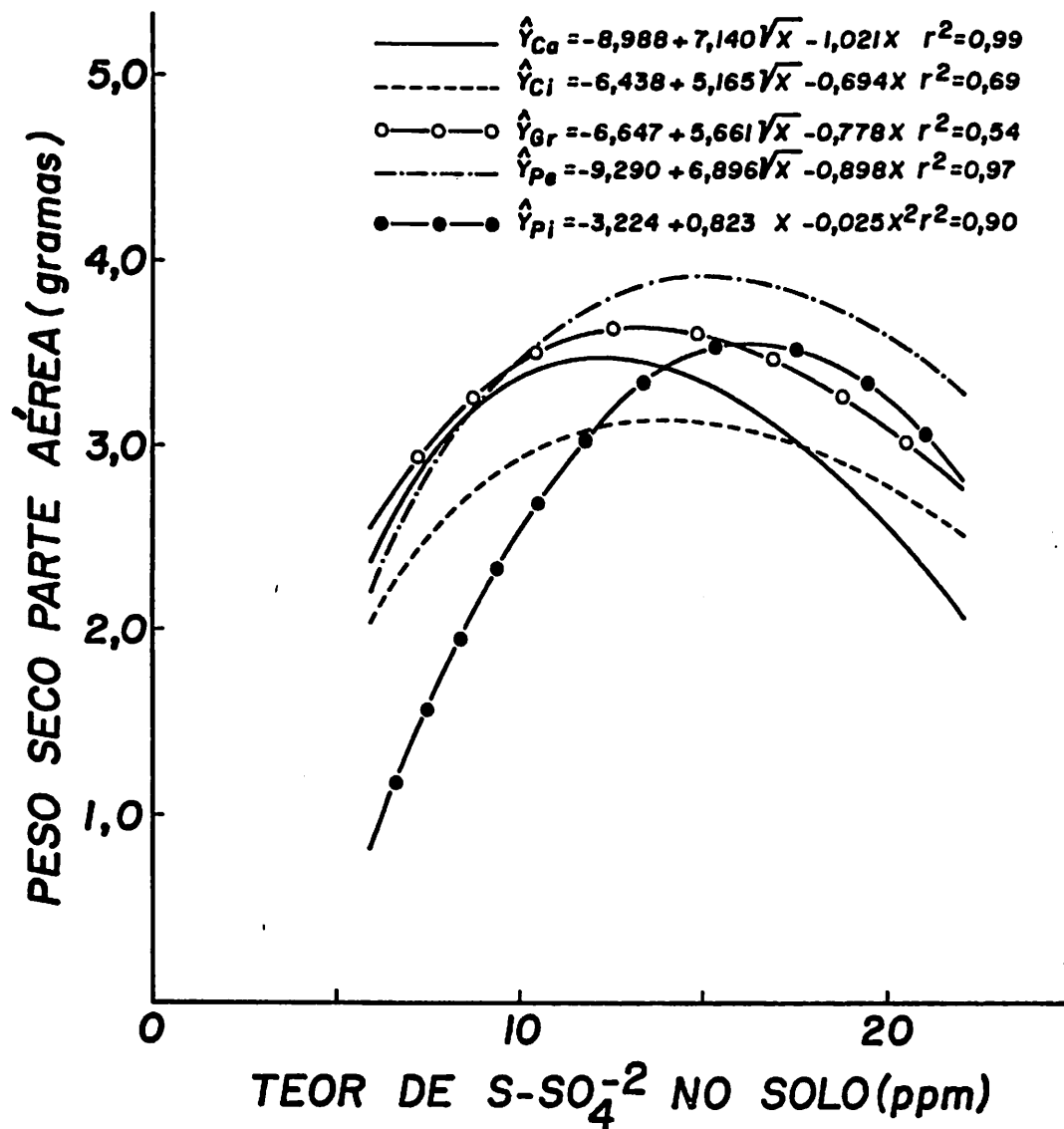


FIGURA 1 - Efeito do enxofre na produção de matéria seca da parte aérea de cinco espécies de eucalipto.

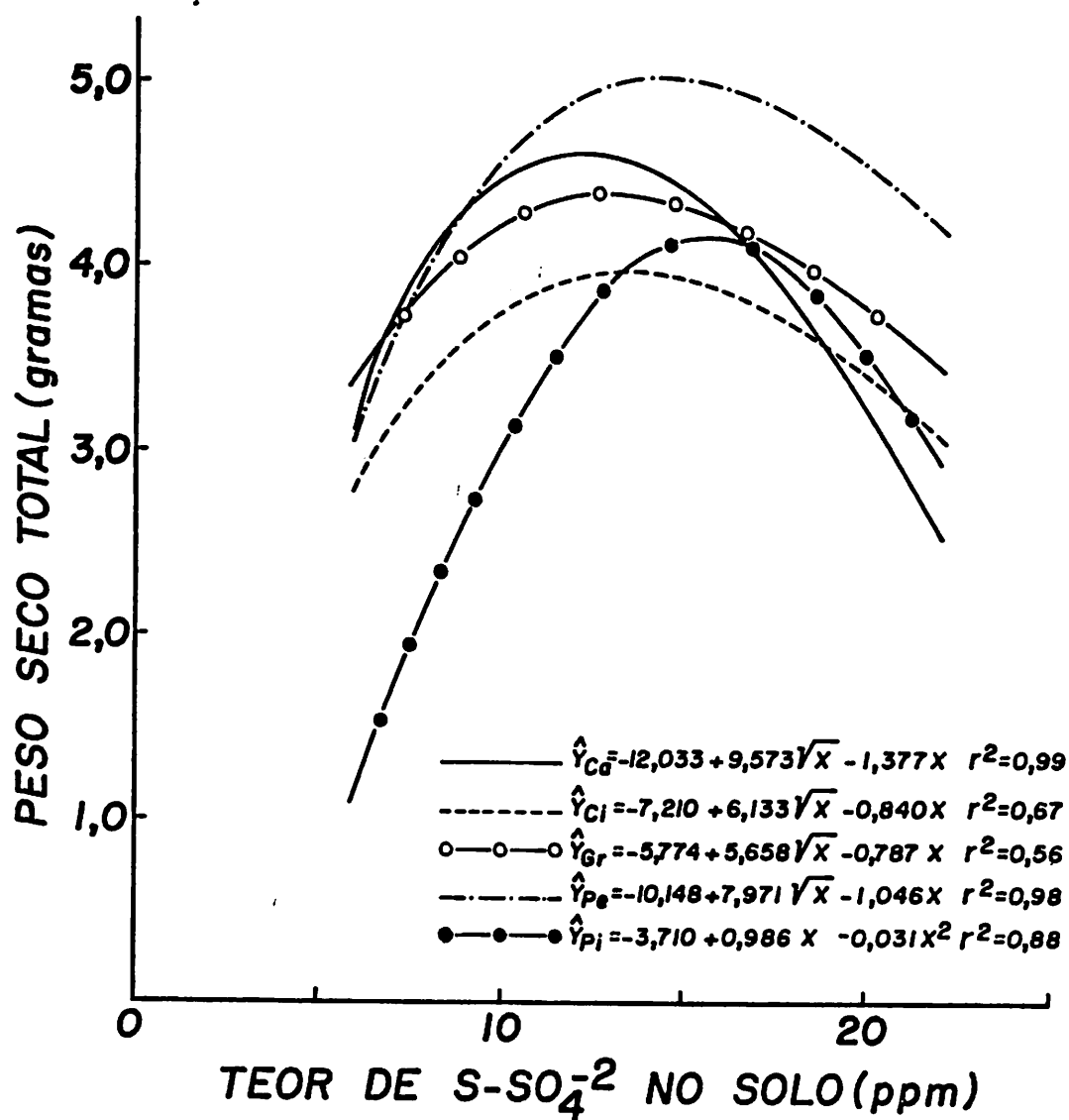


FIGURA 2 - Efeito do enxofre na produção de matéria seca total de cinco espécies de eucalipto.

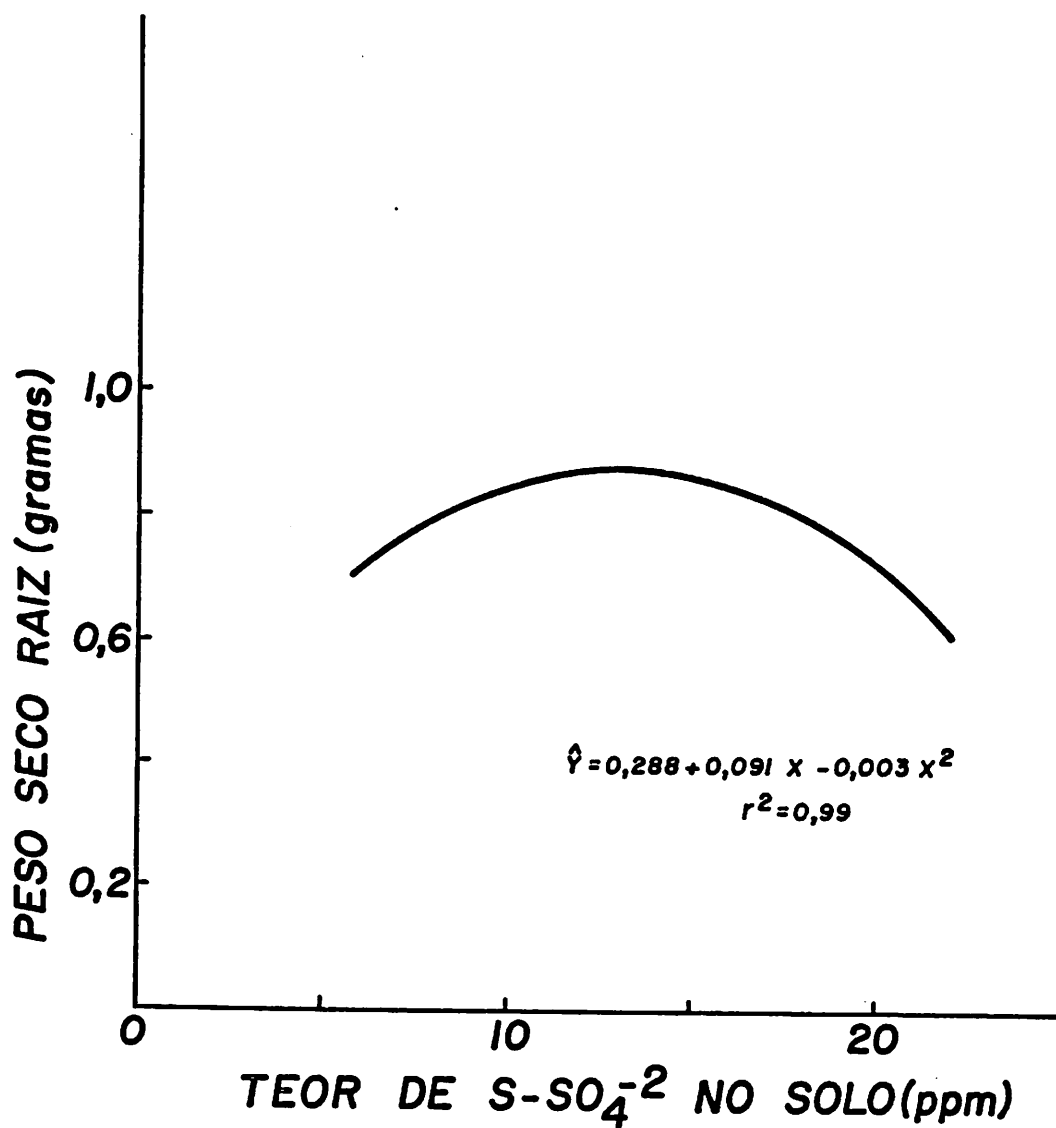


FIGURA 3 - Efeito do enxofre na produção de matéria seca da raiz de cinco espécies de eucalipto.

A Figura 3 mostra um comportamento semelhante entre as espécies de eucalipto quanto a produção de matéria seca do sistema radicular, já que todas apresentaram o mesmo comportamento quadrático que caracterizou a produção de matéria seca da parte aérea e total. Apesar de terem sido obtidos em alguns estudos como naqueles de STEWART & PORTER (76) e GAINES & PHATAK (30), comportamento distinto quanto ao crescimento do sistema radicular de trigo, milho, feijão e outras espécies quando submetidas a níveis crescentes de enxofre, nas espécies de eucalipto estudadas obteve-se o mesmo padrão de comportamento.

Utilizando-se das respectivas equações de regressão apresentadas na Figura 1, obtém-se que os teores de  $S-SO_4^{-2}$  no solo que permitiram máxima produção de matéria seca não apresentaram grandes variações, oscilando entre 12,0 e 16,5 ppm. Considerando-se 90% da máxima produção de matéria seca, obtém-se um nível crítico médio para as espécies de 9,80 ppm, que dentro de certos limites atesta o nível crítico de enxofre para o crescimento de mudas de eucalipto em solo arenoso, proposto por BARROS et alii (2) como sendo igual a 11,0 ppm.

Respostas de diversas culturas à fertilização com enxofre são confirmadas: em forragens, JONES (40); em leguminosas e alfafa, JONES & QUAGLIATO (42); em soja, KUMAR & SINGH (47); em sorgo, FONTES et alii (23) e em eucalipto, FERREIRA (22).

As espécies de eucalipto responderam diferentemente à fertilização com enxofre para produção de matéria seca, e, entre elas o *E. pilularis* foi a que apresentou resposta mais acentuada, seguida pelo *E. pellita*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. grandis* (Figuras 1 e 2). A baixos níveis de enxofre, o *E. pilularis* apresentou as menores produções de matéria seca quando comparado com os demais. Este padrão de resposta sugere grande comprometimento na produção de mudas de *E. pilularis* no viveiro, em substrato com baixo teor de enxofre disponível. Todavia, essa espécie é altamente responsiva à aplicação de enxofre.

Parece que a níveis ideais de enxofre para produção de biomassa, algumas espécies de eucalipto direcionam os produtos da fotossíntese para formação de galhos e folhas laterais em detrimento de aumentos na altura das plantas como se observa no *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. pellita* (Quadro 11 - Apêndice), já que não houve grandes variações na altura das plantas dessas espécies quando se aumentou a disponibilidade de enxofre no solo, considerando-se as mesmas épocas de avaliação. Comportamento semelhante foi obtido por GONÇALVES et alii (33) num estudo com fósforo em *E. grandis*. Entretanto, padrão distinto pode se verificar em *E. citriodora* e *E. pilularis* uma vez que estas espécies apresentaram incrementos terminais acentuados com o aumento da disponibilidade de enxofre no solo (Quadro 11 - Apêndice).

Em função de diferenças genotípicas, esperava-se que espécies distintas não apresentassem o mesmo comportamento quando submetidas a diferentes níveis de enxofre. JONES (41) observou diferenças na resposta a enxofre por cinco espécies de forrageiras. Também foram encontradas diferenças na resposta a enxofre por capim gordura, jaraguá, braquiária e setária, CASAGRANDE & SOUZA (10).

É interessante observar nas Figuras 1 e 2 que a faixa ideal no teor de  $S-SO_4^{-2}$  no solo que condiciona as máximas produções de matéria seca nas diferentes espécies é relativamente estreita (12,0 a 16,5 ppm). A elevação da disponibilidade de enxofre acima desses valores ocasionou drásticas reduções na produção de matéria seca. Este efeito quadrático de níveis crescentes de enxofre foi também observado nos estudos de DAIGGER & FOX (15) e de HADDAD (35).

Muito embora MENGEL & KIRKBY (55) tenham sugerido que de modo geral as plantas são tolerantes a elevados teores de enxofre no solo, observa-se que todas as espécies de eucalipto estudadas apresentaram decréscimo na produção de matéria seca nos níveis mais elevados. Há evidências de um consumo de luxo de enxofre em diferentes espécies, STEWART & PORTER (76) e FOX (24). Neste caso haveria acúmulo de enxofre não metabolizado e de compostos sulfurosos não proteicos causados pelo excedente da quantidade requerida para a síntese proteica. Este excesso de enxofre pode ocasionar danos na produção de matéria seca de acordo com FOX (24) e RENNENBERG (68), e na produção



de grãos, THOMAS (81). Quantidades excessivas deste nutriente podem também ocasionar atrasos na floração, RENNENBERG (68). Este último autor ainda sugere que células do sistema radicular não apresentam um mecanismo suficientemente capaz de evitar absorção de excesso de enxofre.

Na Figura 4 pode ser observada a variação na relação raiz/parte aérea (R/P) das diferentes espécies de eucalipto em relação ao fornecimento de enxofre.

O decréscimo linear na relação R/P das espécies com o aumento da disponibilidade de enxofre no solo, de certa forma atesta a coordenação de crescimento entre raiz e parte aérea, CLARKSON (13). Observa-se que independentemente da espécie, o padrão de comportamento foi o mesmo, ou seja, ocorreu um decréscimo linear da relação R/P para todas as espécies estudadas, quando se aumentou a disponibilidade de enxofre no solo.

Especificamente, a variação na relação R/P parece estar ligada às diferenças de resposta ao enxofre entre as espécies de eucalipto. No caso do *E. grandis* e *E. citriodora*, espécies menos responsivas ao enxofre (Figuras 1 e 2), a redução na relação R/P com o aumento no nível de enxofre no solo deveu-se a uma maior redução na produção de matéria seca do sistema radicular, relativo ao aumento na produção de matéria seca na parte aérea. E, nas demais espécies mais responsivas ao enxofre, a redução na relação R/P deveu-se a um aumento relativo maior da fração da biomassa das plantas na parte aérea

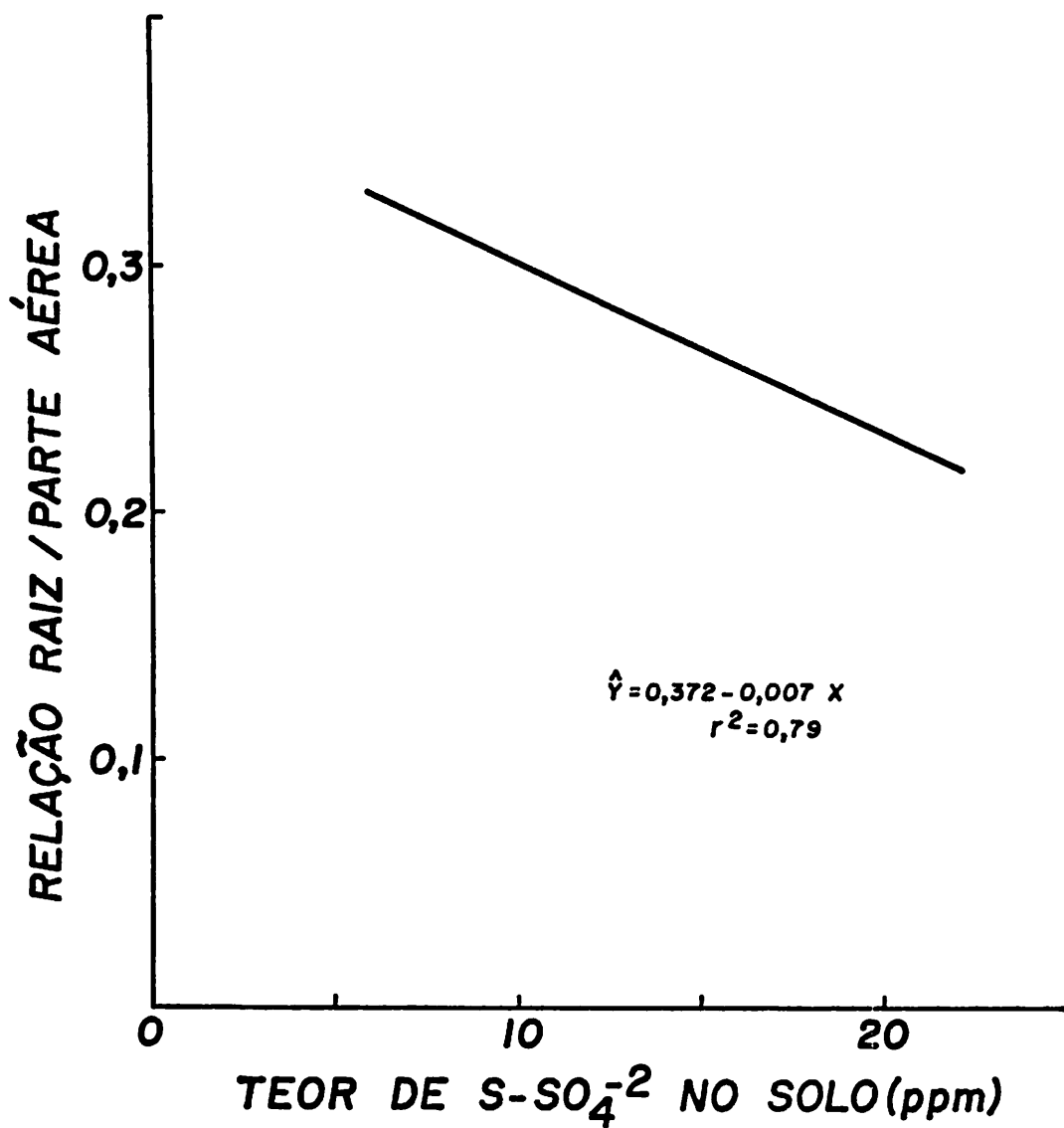


FIGURA 4 - Efeito do enxofre na relação raiz/parte aérea (R/P) de cinco espécies de eucalipto.

(Quadro 4). Semelhantes resultados foram observados em três espécies de forrageiras cultivadas sob diferentes concentrações de fósforo, CHRISTIE & MOORBY (12).

Segundo CLARKSON (13) os nutrientes que mais afetam a raiz quando fornecidos em quantidades insuficientes são o nitrogênio e o fósforo; o efeito do enxofre, embora significativo, é menos acentuado. FOX (24) observou que plantas de cana de açúcar crescendo em baixo suprimento de enxofre apresentavam um extenso e fino sistema radicular, com crescimento preferencial das raízes em relação à parte aérea. Dentre as espécies de eucalipto, *E. grandis* foi a única que teve uma maior produção de matéria seca do sistema radicular ao nível mais baixo de enxofre (Quadro 4). Provavelmente, esta espécie apresenta maior eficiência de absorção do enxofre e/ou maior eficiência de utilização no sistema radicular, quando sob baixo suprimento desse nutriente. Uma maior proliferação de raízes a níveis mais baixos de enxofre promoveria uma melhor exploração do solo para aquisição de nutrientes e água, com consequente aumento de produção. Ressalta-se que, dentre as espécies estudadas, o *E. grandis* foi a que apresentou maior produção de biomassa na parte aérea, quando sob limitado suprimento de enxofre (Figura 1).

QUADRO 4 - Peso seco de raiz, folhas e caule de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Espécies	Nível de S aplicado															
	Raízes				Folhas				Caule				Parte aérea			
	0	5	20	30	0	5	20	30	0	5	20	30	0	5	20	30
<i>camaldulensis</i>	0,77	1,10	0,89	0,57	1,72	2,52	2,28	1,52	0,66	0,77	0,82	0,54	2,38	8,29	3,10	2,06
<i>citriodora</i>	0,70	0,87	0,68	0,59	1,47	2,24	2,15	2,06	0,44	1,00	0,86	0,76	1,91	3,24	3,01	2,82
<i>grandis</i>	0,82	0,75	0,72	0,64	1,68	2,66	2,04	2,23	0,68	1,01	0,95	1,07	2,36	3,67	2,99	3,30
<i>pellita</i>	0,90	1,03	1,07	0,93	1,64	2,39	2,67	2,39	0,52	0,98	1,06	0,99	2,16	3,37	3,73	3,38
<i>pilularis</i>	0,35	0,43	0,71	0,31	0,86	1,45	2,80	1,99	0,21	0,44	0,86	0,50	1,07	1,89	3,66	2,49

## 4.2. Efeito do enxofre na concentração de nitrogênio e enxofre da parte aérea

### 4.2.1. Partição do nitrogênio total

Os teores de nitrogênio nas diferentes frações do nitrogênio total da parte aérea e o nitrogênio total absorvido em função dos diferentes níveis de enxofre no solo, estão apresentados nos Quadros 5 e 6 respectivamente.

Com relação à concentração de nitrogênio total na matéria seca observa-se acentuada variação entre espécies, independentemente da disponibilidade de enxofre no solo. *E. grandis* foi a espécie que apresentou maiores concentrações de nitrogênio total, em todos os níveis de enxofre no solo. Tal variação entre espécies, no que diz respeito à concentração de nitrogênio total, foi também observada por HAAG et alii (34) e LAMB (48), em estudos com várias espécies de eucalipto. Ressalte-se que esses autores obtiveram dados que também evidenciaram a maior capacidade do *E. grandis* em acumular nitrogênio na matéria seca da parte aérea.

Há uma certa tendência de redução na concentração de nitrogênio total da parte aérea de todas as espécies, nos níveis intermediários de enxofre (Quadro 5). Esta redução é mais evidente para o nitrogênio acumulado na matéria seca do caule (Quadro 6). Um maior teor de nitrogênio total em plantas

QUADRO 5 - Frações de nitrogênio total da parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre no solo (média de 3 repetições).

Frações do nitrogênio	Níveis de enxofre (mg S/dm <sup>3</sup> solo)			
	0	5	20	30
<i>camaldulensis</i>				
N-Total (mg g <sup>-1</sup> matéria seca)	50,90	46,40	47,80	54,60
% N-Total				
N-solúvel total	21,10	15,48	19,66	15,36
N-NO <sub>3</sub>	0,37	0,35	0,60	0,38
N-orgânico solúvel	20,73	15,13	19,06	14,98
N-insolúvel	78,90	84,52	80,34	84,64
<i>citriodora</i>				
N-Total (mg g <sup>-1</sup> matéria seca)	46,20	42,60	44,40	47,20
% N-total				
N-solúvel	28,19	13,63	12,08	13,91
N-NO <sub>3</sub>	0,49	0,39	0,53	0,35
N-orgânico solúvel	27,70	13,24	11,55	13,56
N-insolúvel	71,81	86,37	87,92	86,09
<i>grandis</i>				
N-Total (mg g <sup>-1</sup> matéria seca)	61,20	55,30	58,30	57,50
% N-Total				
N-solúvel total	14,37	11,72	12,15	13,74
N-NO <sub>3</sub>	0,32	0,31	0,45	0,33
N-orgânico solúvel	14,05	11,41	11,70	13,41
N-insolúvel	85,63	88,28	87,85	86,26
<i>pellita</i>				
N-Total (mg g <sup>-1</sup> matéria seca)	56,40	47,80	49,60	50,40
% N-Total				
N-solúvel total	21,51	16,42	16,83	17,53
N-NO <sub>3</sub>	0,50	0,44	0,62	0,51
N-orgânico solúvel	21,01	15,98	16,21	17,02
N-insolúvel	78,49	83,58	83,17	82,47
<i>pilularis</i>				
N-Total (mg g <sup>-1</sup> matéria seca)	59,70	52,90	46,40	53,60
% N-Total				
N-solúvel total	16,28	11,06	13,12	11,63
N-NO <sub>3</sub>	0,37	0,32	0,58	0,44
N-orgânico solúvel	15,91	10,74	12,54	11,19
N-insolúvel	83,72	88,94	86,88	88,37

QUADRO 6 - Concentração de N-Total na matéria seca de folhas e caule de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Espécies	Níveis de enxofre (mg S/dm <sup>3</sup> solo)							
	Folhas				Caule			
	0	5	20	30	0	5	20	30
	----- mg N g <sup>-1</sup> matéria seca -----							
<i>camaldulensis</i>	32,80	30,20	31,80	37,10	18,10	16,20	16,00	17,50
<i>citriodora</i>	26,40	29,20	31,00	33,20	19,80	13,40	13,40	14,00
<i>grandis</i>	41,80	39,50	41,50	41,70	19,40	15,80	16,80	15,80
<i>pellita</i>	37,20	32,00	32,70	34,00	19,20	15,80	16,90	16,40
<i>pilularis</i>	40,30	36,50	32,60	37,80	19,40	16,40	13,80	15,80

deficientes em enxofre também foi observado em algodão, ERGLE & EATON (20); em trigo, RASMUSSEN et alii (65); e em milho, so ja, tomate, algodão e quiabo, GAINES & PHATAK (30).

O decréscimo nas concentrações de nitrogênio da parte aérea das diferentes espécies com o aumento da disponibilidade de enxofre no solo, parece ter sido simplesmente devido ao efeito de diluição, conforme sugerido por TERMAN et alii (79). O aumento na concentração de nitrogênio total para o nível mais elevado de enxofre no solo, quando houve redução na biomassa da parte aérea, corrobora com essa proposição.

Há diversas evidências na literatura com relação ao acúmulo de formas de nitrogênio não proteico, quando diferentes espécies de plantas são submetidas ao estresse de enxofre (4, 18, 28, 67, 76). Em plantas de azevem deficientes em enxofre, BOLTON et alii (4) observaram que em torno de 50% do nitrogênio total era representado por nitrogênio orgânico solúvel.

Mesmo sem atingir valores percentuais tão elevados, observa-se pela análise do Quadro 5 que a contribuição do nitrogênio orgânico solúvel para o nitrogênio total, nas cinco espécies estudadas, foi muito mais elevada no nível mais baixo de enxofre. Esta mesma tendência ocorre para o nitrogênio solúvel total, considerando que o acúmulo de nitrogênio nítrico é quase desprezível.

FRIEDRICH & SCHRADER (28) afirmaram que em razão de relação N proteico: S proteico em proteínas individuais ser



geneticamente fixada, formas de nitrogênio não protéico se acumulam quando a disponibilidade de enxofre limita a síntese proteica. A inibição da síntese protéica, nesse caso, inibe o mecanismo de absorção de nitrogênio, segundo proposição de RENDIG et alii (67).

Tal redução na capacidade de aquisição de nitrogênio pode ser claramente observada nos dados do Quadro 7. Sob condições de baixa disponibilidade de enxofre no solo, houve uma redução na aquisição de nitrogênio, variando de 21% a 62%, sendo esses valores extremos para o *E. camaldulensis* e *E. pilularis*, respectivamente.

A análise do Quadro 8, onde são apresentadas as concentrações de nitrogênio orgânico solúvel da parte aérea das espécies estudadas, permite visualizar que o acúmulo desta fração nitrogenada foi mais acentuada nos níveis extremos de disponibilidade de enxofre sugerindo que as espécies de eucalipto também acumulariam formas de nitrogênio não assimilado quando submetidas a altos níveis de enxofre. É interessante observar que os mais baixos teores de nitrogênio orgânico solúvel ocorrem nos níveis de enxofre que condicionam crescimento ótimo das espécies (Figura 1). Segundo JANZEN & BETTANY (39), o acúmulo de nitrato, amidas e aminoácidos livres causam distúrbios metabólicos nas plantas, com conseqüente decréscimo na produção de biomassa.

QUADRO 7 - Nitrogênio total absorvido ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) por cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre no solo (média de três repetições).

Espécies	Níveis de enxofre ( $\text{mg S/dm}^3$ solo)			
	0	5	20	30
	----- $\text{mg N planta}^{-1}$ -----			
<i>camaldulensis</i>	121,14 (21%) <sup>1/</sup>	152,65 (0%)	148,18 (3%)	112,88 (26%)
<i>citriodora</i>	88,24 (36%)	138,02 (0%)	133,64 (3%)	133,10 (5%)
<i>grandis</i>	144,43 (29%)	202,95 (0%)	174,32 (14%)	189,75 (6%)
<i>pellita</i>	121,82 (34%)	161,08 (13%)	185,00 (0%)	170,35 (8%)
<i>pilularis</i>	63,88 (62%)	99,98 (41%)	169,82 (0%)	133,46 (21%)

<sup>1/</sup> Valores percentuais entre parênteses referem-se ao decréscimo na aquisição de nitrogênio por plantas submetidas ao estresse ou excesso de enxofre, relativa à aquisição máxima.

QUADRO 8 - Concentração de N-orgânico solúvel da parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Níveis de enxofre	Espécies				
	<i>camaldulensis</i>	<i>citriodora</i>	<i>grandis</i>	<i>pellita</i>	<i>pilularis</i>
mg S/dm <sup>3</sup> solo	----- mg N-orgânico solúvel g <sup>-1</sup> matéria seca -----				
0	10,55	12,80	8,60	11,85	9,50
5	7,02	5,64	6,31	7,64	5,68
20	9,11	5,13	6,82	8,04	5,82
30	8,18	6,40	7,71	8,58	6,00

Em algumas espécies, o estresse em enxofre induz a um certo acúmulo de nitrato no tecido vegetal, ERGLE & EATON (20) e FRIEDRICH & SCHRADER (28). Os resultados do presente estudo mostram uma certa tendência para tal acúmulo (Quadro 9).

Todavia, é mais importante observar que a participação do nitrogênio nítrico no nitrogênio total acumulado na parte aérea foi praticamente desprezível (Quadro 6). Esta forma nitrogenada representou, no máximo, 0,6% do nitrogênio total no *E. pellita* com aplicação de 20 mg S/dm<sup>3</sup> solo. KELLY & LAMBERT (46) também observaram esta baixa participação em *Pinus radiata*.

É preciso salientar que o suprimento de nitrogênio para crescimento das mudas de eucalipto se deu em igual quantidade para as formas nítrica e amoniacal. A provável preferência do eucalipto pela absorção da forma amoniacal, VALE (83), pode ter sido a causa para esta baixa contribuição da forma nítrica.

Com relação ao acúmulo de nitrogênio nítrico, é de relevada importância a observação de que o maior acúmulo, na verdade, ocorre com aplicação de 20 mg S/dm<sup>3</sup> solo (Quadro 9). O acúmulo desta forma de nitrogênio inorgânico ocorreu notadamente no caule.

O acúmulo de nitrato nas condições de baixa e adequada disponibilidade de enxofre no solo, parece ocorrer por razões distintas. Na condição de baixa disponibilidade de enxofre, o acúmulo provavelmente foi devido ao desbalanço entre os teores

QUADRO 9 - Concentrações de nitrato nas folhas e caule de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Espécies	Níveis de enxofre (mg S/dm <sup>3</sup> solo)							
	Folhas				Caule			
	0	5	20	30	0	5	20	30
	----- µg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> g <sup>-1</sup> matéria seca -----							
<i>camaldulensis</i>	83,98	79,06	92,42	80,46	107,10	83,29	196,35	129,41
<i>citriodora</i>	111,41	71,32	50,93	55,62	113,05	96,68	182,97	110,07
<i>grandis</i>	75,95	71,60	85,11	83,42	120,43	99,66	178,50	107,10
<i>pellita</i>	167,38	114,07	115,03	140,12	114,53	96,68	190,40	119,00
<i>pilularis</i>	88,49	73,05	93,80	104,41	133,87	98,17	117,02	129,41

de nitrato e sulfato na planta. Há evidências de uma relação metabólica na assimilação de nitrato e sulfato, FRIEDRICH & SCHRADER (28) e SACCOMANI et alii (71). FERREIRA (22) também comprovou esta relação em estudo com *E. grandis*. Por outro lado, na condição de adequada disponibilidade de enxofre no solo, o acúmulo provavelmente se deveu a um acentuado aumento na capacidade dessas espécies de eucalipto de absorverem nitrato, inclusive suplantando a capacidade de assimilação.

O aumento na contribuição do nitrogênio insolúvel para o nitrogênio total com o aumento dos níveis de enxofre (Quadro 5) era esperado, dado o importante papel desse nutriente na síntese protéica. Segundo BOLTON et alii (4) e GAINES & PHATAK (30) esse incremento se deve ao aumento nos teores de aminoácidos sulfurados - cisteína e metionina -, cujas presenças em quantidades adequadas não mais limitaria a síntese protéica.

#### 4.2.2. Concentração de enxofre e relação nitrogênio/enxofre

No Quadro 10, são apresentados as concentrações de S-total e relações nitrogênio/enxofre (N/S) das diferentes espécies de eucalipto quando submetidas aos diferentes tratamentos.

QUADRO 10 - Concentração de S-Total e relações N/S na matéria seca da parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Espécies	Níveis de enxofre aplicado (mg S/dm <sup>3</sup> solo)							
	S-Total (mg S g <sup>-1</sup> matéria seca)				Relação N/S			
	0	5	20	30	0	5	20	30
<i>camaldulensis</i>	1,87	3,06	2,85	4,31	27,22	15,16	16,77	12,67
<i>citriodora</i>	1,33	2,09	3,25	3,83	34,74	20,38	13,66	12,32
<i>grandis</i>	2,86	3,29	4,13	4,81	21,40	16,81	14,12	11,95
<i>pellita</i>	2,16	2,90	3,69	4,19	25,18	16,48	13,44	12,03
<i>pilularis</i>	2,84	3,94	3,73	4,15	21,02	13,43	12,44	12,92

Observa-se que com o aumento da disponibilidade de enxofre no solo há um acentuado incremento na concentração desse nutriente na matéria seca da parte aérea. A exemplo do que ocorreu com o nitrogênio (Quadro 6), o *E. grandis* foi a espécie que acumulou maiores quantidades de enxofre na matéria seca, notadamente para os níveis mais elevados do enxofre no solo. Os dados de HAAG et alii (34) também evidenciaram um acúmulo maior deste nutriente por essa espécie.

O incremento da concentração de enxofre em diferentes espécies é confirmado em estudos com pastagens, JONES (40); em alfafa e leguminosas, JONES & QUAGLIATO (42) e em milho, DAIGGER & FOX (15). Tal comportamento corrobora com a proposição de RENNEMBERG (68) de que as células do sistema radicular das plantas não apresentam um mecanismo suficientemente capaz de evitar a absorção de excesso de enxofre.

O aumento no fornecimento de enxofre para as diferentes espécies ocasionou uma redução da relação N/S da parte aérea (Quadro 10). Tal redução se deveu quase que exclusivamente ao acúmulo de enxofre pelas espécies, com o aumento na disponibilidade de enxofre no solo.

De acordo com HADDAD (35) o substrato para crescimento satisfatório de uma dada espécie vegetal deve apresentar um adequado balanço de disponibilidade dos macronutrientes N, P e S. Desta maneira, é de se esperar que existam relações ideais entre estes nutrientes, principalmente no que diz respeito à



relação N/S, dada a estreita associação entre o metabolismo de enxofre e nitrogênio.

De modo geral a relação N/S se correlacionou melhor com a produção de matéria seca da parte aérea ( $r = 0,455^*$ ) do que a concentração de S-total ( $r = 0,262$ ), ocorrendo comportamento distinto entre as espécies estudadas no tocante a estas correlações. Esta observação evidencia ser a relação N/S melhor parâmetro, quando comparado com S-total, para diagnóstico do estado nutricional das plantas em enxofre.

A comparação dos valores das relações N/S das diferentes espécies (Quadro 10) com a produção de biomassa (Figuras 1 e 2), permite verificar que relações variando entre 15:1 e 20:1 ocasionaram a máxima produção de matéria seca nas espécies estudadas. No caso do *E. pilularis* a relação N/S ideal foi mais baixa, em torno de 12:1, sugerindo que diferentes espécies apresentam comportamento distinto no tocante a este parâmetro.

Ocorre certa controvérsia quanto a relação N/S ideal na planta. Dados de literatura indicam uma variação desde 10:1 em grama perene, BOLTON et alii (4), até 17:1 em trigo, RANDALL et alii (64). Além da espécie tal relação parece variar com a idade da planta, DJIKSHOORN & VAN WIJK (18).

---

\* Significativo a 5%.

#### 4.3. Efeito do enxofre na concentração foliar de clorofila total

A Figura 5 apresenta o comportamento das diferentes espécies de eucalipto quanto a concentração de clorofila nas folhas, quando da variação dos níveis de  $S-SO_4^{-2}$  no solo.

Em todas as espécies ocorreu um aumento significativo dos teores de clorofila total com o aumento da disponibilidade do enxofre. No *E. camaldulensis* e *E. pilularis*, a níveis mais elevados de enxofre, houve um significativo decréscimo no teor de clorofila, quando comparado com aquele dos níveis ótimos de enxofre no solo. Ressalta-se que apenas estas duas espécies apresentaram acentuado decréscimo na aquisição de nitrogênio, quando submetidas ao nível mais elevado de enxofre (Quadro 7).

O decréscimo nos teores de clorofila total observado no presente estudo está de acordo com resultados obtidos por FRIEDRICH & SCHRADER (28) em plântulas de milho, quando observaram que sob deficiência de enxofre o teor de clorofila foi reduzido em 25% aos 12 dias após emergência. TERRY (80) também observou decréscimo no teor de clorofila em folhas novas de beterraba, com a redução do suprimento de enxofre.

THOMPSON (82) observou que os cloroplastos contêm proteínas ricas em enxofre, que são importantes na síntese e manutenção da clorofila. Além da redução da síntese de clorofila devido a redução da síntese proteica, deve-se considerar que a redução nos teores de sulfolipídeos, que são essenciais

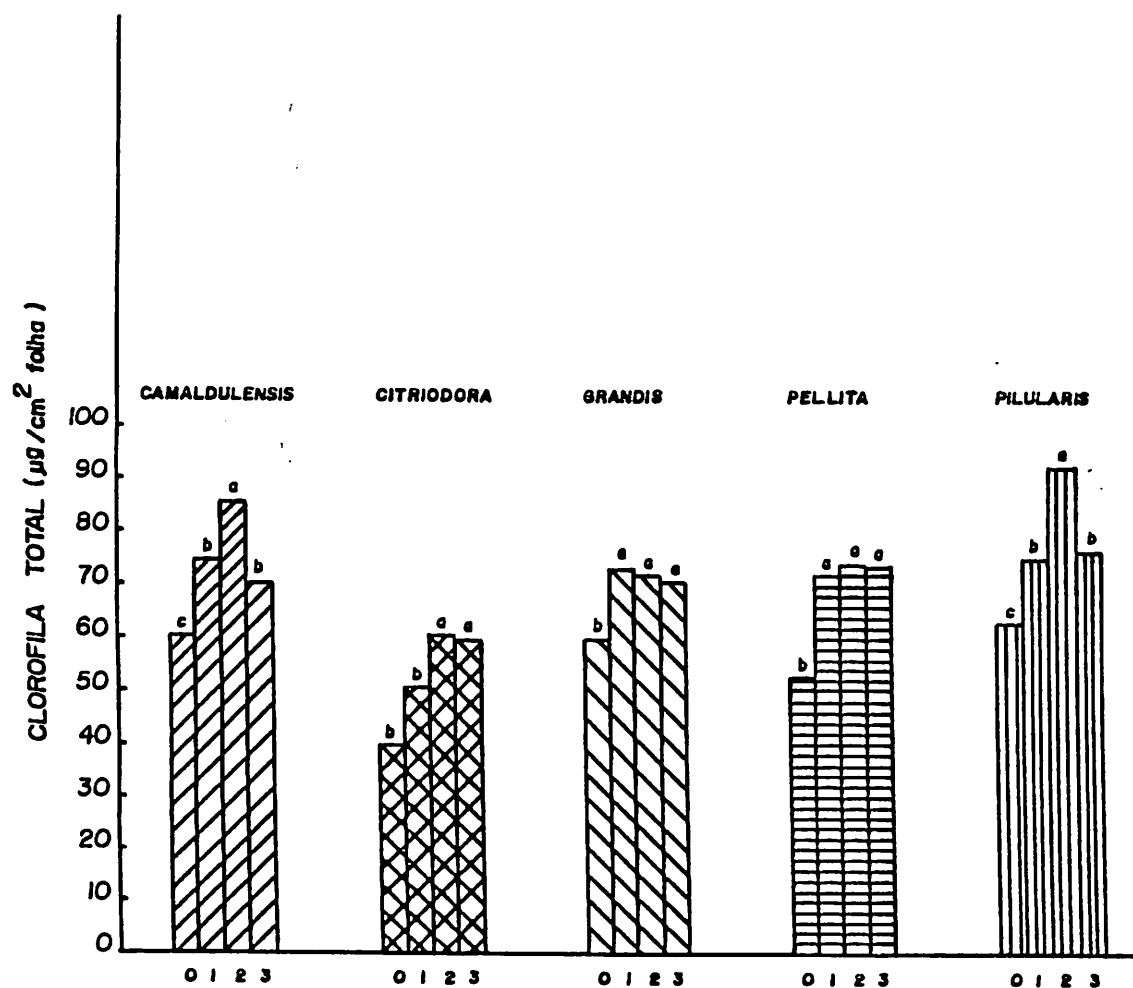


FIGURA 5 - Efeito do enxofre nos teores de clorofila total de cinco espécies de eucalipto (níveis de S aplicados: 0 = 0; 1 = 5; 2 = 20 e 3 = 30 mg S/dm<sup>3</sup> solo)

para a organização da clorofila nos cloroplastos, pode ter contribuído para o decréscimo no teor de clorofila sob condições de estresse de enxofre, HALL et alii (36).

A diminuição na produção de matéria seca observada no nível mais baixo de enxofre (Figuras 1 e 2), provavelmente está associada com distúrbios provocados no aparelho fotossintético das diferentes espécies. Relacionado a essa proposição, BOTTRILL et alii (5) ressaltam que a deficiência de enxofre reduz a fotossíntese líquida, tanto pela redução no teor de clorofila quanto pelo decréscimo na taxa de fotossíntese por unidade de clorofila.

Finalmente, deve-se ressaltar que no *E. citriodora*, sob deficiência de enxofre as folhas adquiriram tonalidade avermelhada, provavelmente devido a degradação da clorofila, acompanhada do processo de oxidação dos pigmentos carotenóides. Nas demais espécies, o sintoma foi apenas de clorose típica.

#### 4.4. Eficiência de utilização de enxofre e de nitrogênio

Na consideração de produção de biomassa em relação ao suprimento de nutriente, a eficiência de utilização do nutriente absorvido é tão importante quanto a eficiência de absorção. Os estudos nesse sentido tendem a concentrar em certos nutrientes, notadamente nitrogênio, para o qual se evidenciou diferenças genotípicas quanto a eficiência de absorção e utilização, FURLANI et alii (29).

A eficiência de utilização de um dado nutriente é definida como sendo a quantidade de biomassa produzida por unidade do nutriente presente na biomassa, GERLOFF (31). Todavia, o uso de um coeficiente de utilização nesses termos tem merecido algumas críticas. Assim sendo, optou-se pelo uso do coeficiente de utilização proposto por SIDDIQI & GLASS (74), que simplesmente é representado por: eficiência de utilização = (biomassa)<sup>2</sup>/quantidade de nutriente na biomassa.

A Figura 6 mostra a eficiência de utilização do enxofre quando as diferentes espécies de eucalipto estudadas foram submetidas a níveis crescentes desse nutriente no solo. Observa-se diferença no comportamento das espécies quanto a eficiência de utilização, quando da variação da disponibilidade de enxofre no solo. *E. pellita* e *E. pilularis* apresentaram sensível aumento na eficiência de utilização de enxofre com o aumento da disponibilidade deste nutriente até níveis ideais. Acima destes níveis de  $S-SO_4^{-2}$  no solo, ocorreu acentuado declínio na eficiência de utilização. Considerando que ambas as curvas, tanto a de crescimento quanto a de atuação enzimática, são hipérbolas retangulares, este era o comportamento típico esperado, que coincide com dados obtidos para a eficiência de utilização de potássio por SIDDIQI & GLASS (74). Todavia, para o *E. citriodora* e *E. camaldulensis*, há um decréscimo linear da eficiência de utilização com o aumento dos níveis de enxofre no solo. Sem dúvida estas espécies apresentaram menores respostas

... the ... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..

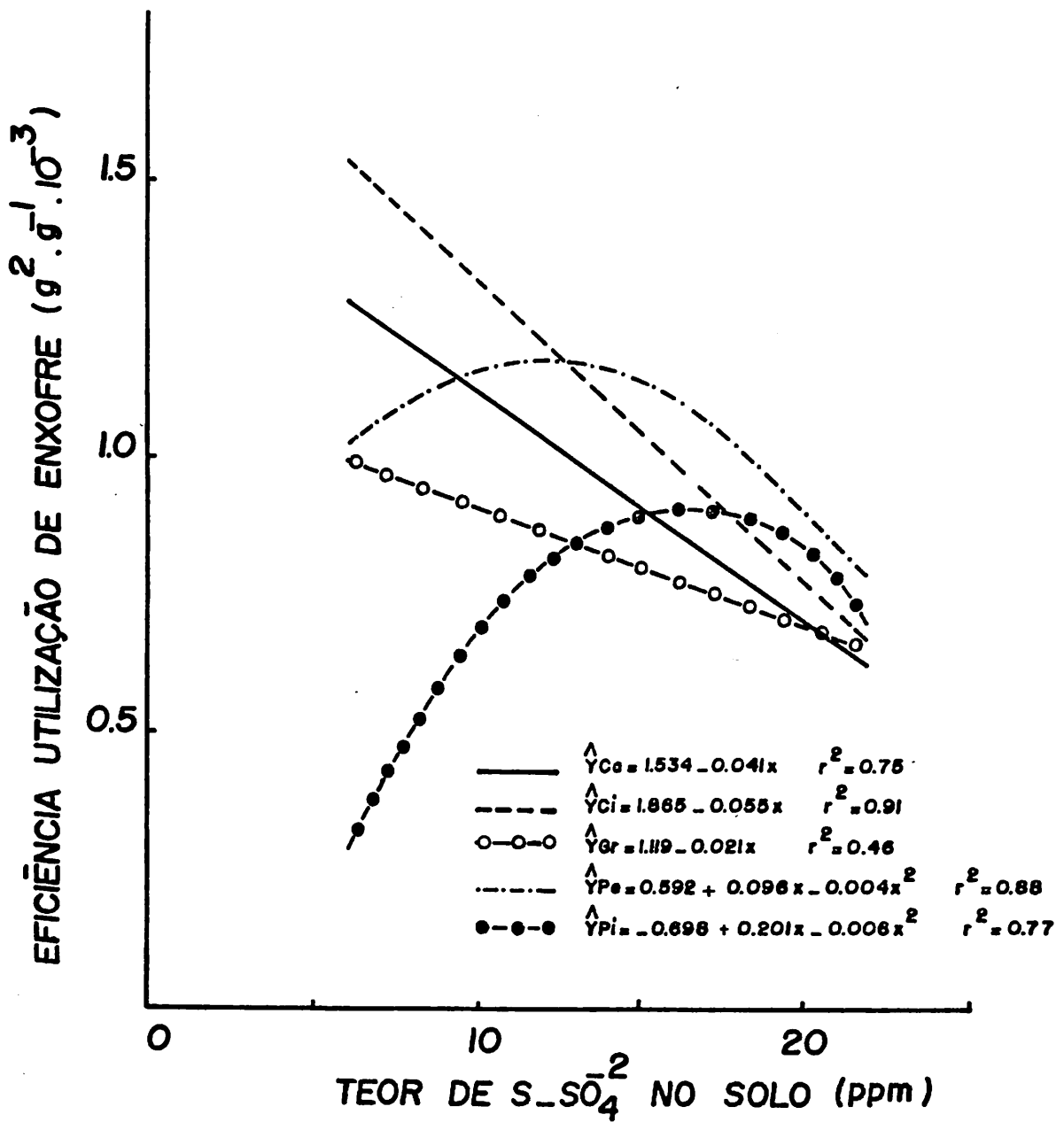


FIGURA 6 - Eficiência de utilização de enxofre por cinco espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre no solo.

de crescimento com o aumento na disponibilidade de enxofre no solo (Figura 1).

O *E. grandis* apresentou a mesma tendência observada para o *E. citriodora* e *E. camaldulensis*, embora se verifique que os dados obtidos para aquela espécie não se ajustaram ao modelo matemático utilizado ( $r^2 = 0,46$ ).

É importante notar a baixíssima capacidade do *E. pilularis* de utilizar enxofre quando esse nutriente se faz presente em baixas quantidades no solo (Figura 6). Ressalta-se que nestas condições, a concentração de enxofre na matéria seca é elevada em relação às demais espécies (Quadro 10). E, para uma utilização do enxofre tão eficiente quanto aquela das demais espécies, o *E. pilularis* exige uma maior disponibilidade de enxofre no solo.

Por outro lado, no mais elevado nível de disponibilidade de  $S-SO_4^{-2}$  no solo do presente estudo, o *E. camaldulensis* tendeu a apresentar menor eficiência de utilização do enxofre, enquanto que *E. pellita* tendeu a mais alta eficiência.

Considerando a estreita ligação entre o nitrogênio e enxofre no crescimento das plantas, torna-se importante avaliar o efeito do enxofre na eficiência de utilização do nitrogênio que é apresentado na Figura 7. Para todas as espécies foi observada a mesma tendência quadrática na variação da eficiência de utilização de nitrogênio com o aumento dos níveis de enxofre no solo.



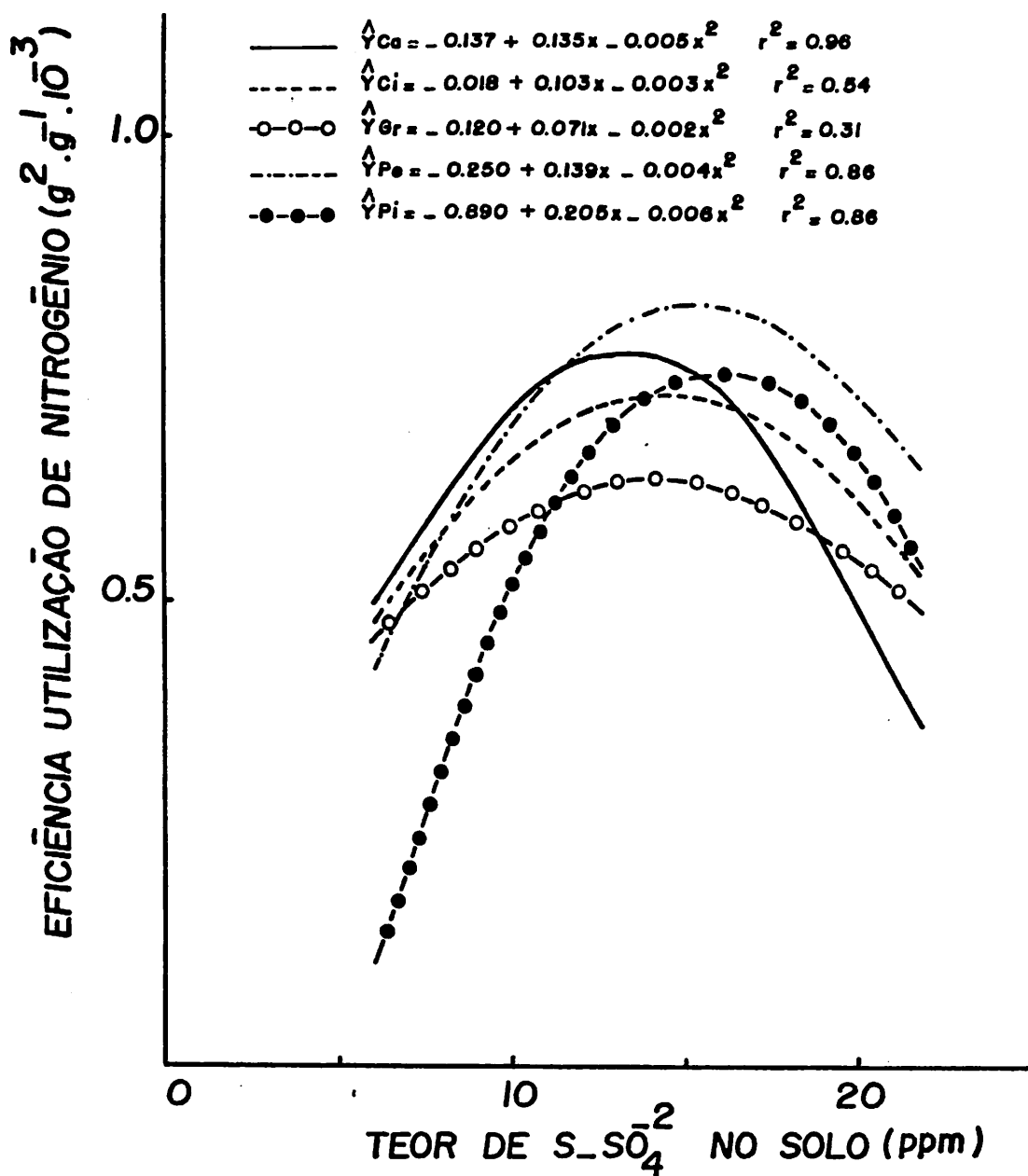


FIGURA 7 - Eficiência de utilização de nitrogênio por cinco espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre no solo.

Uma vez mais observa-se a grande desvantagem do *E. pilularis* sobre as demais espécies quando cultivado no mais baixo nível de  $S-SO_4^{-2}$  no solo.

Também se faz neste caso, ressalva com relação ao ajuste dos dados do *E. citriodora* e *E. grandis* ao modelo matemático usado ( $r^2 = 0,54$  e  $r^2 = 0,31$  respectivamente).

A eficiência de utilização do nitrogênio mostrou ser um bom parâmetro para descrever a capacidade das diferentes espécies de eucalipto em produzir biomassa na parte aérea quando cultivadas sob diferentes níveis de enxofre (Figura 8).

A maior eficiência de utilização do nitrogênio e do próprio enxofre pelo *E. pellita* em relação às demais espécies, com o aumento na disponibilidade de enxofre no solo, provavelmente, é das principais causas da acentuada resposta dessa espécie ao enxofre (Figura 7). Inclusive, sob condições de elevada disponibilidade de enxofre no solo, esta espécie ainda apresenta elevada eficiência de utilização desses nutrientes, refletindo em alta produção de biomassa na parte aérea conforme se observa na Figura 1. Desta forma, esta espécie foi a que apresentou maior capacidade de adaptação ao status de enxofre no solo, já que a produção de biomassa não foi muito prejudicada tanto sob as condições de baixa quanto de alta disponibilidade do enxofre.

FAGERIA & SINGH (21) sugerem que os efeitos do enxofre e do nitrogênio sobre o crescimento de uma cultura variam em

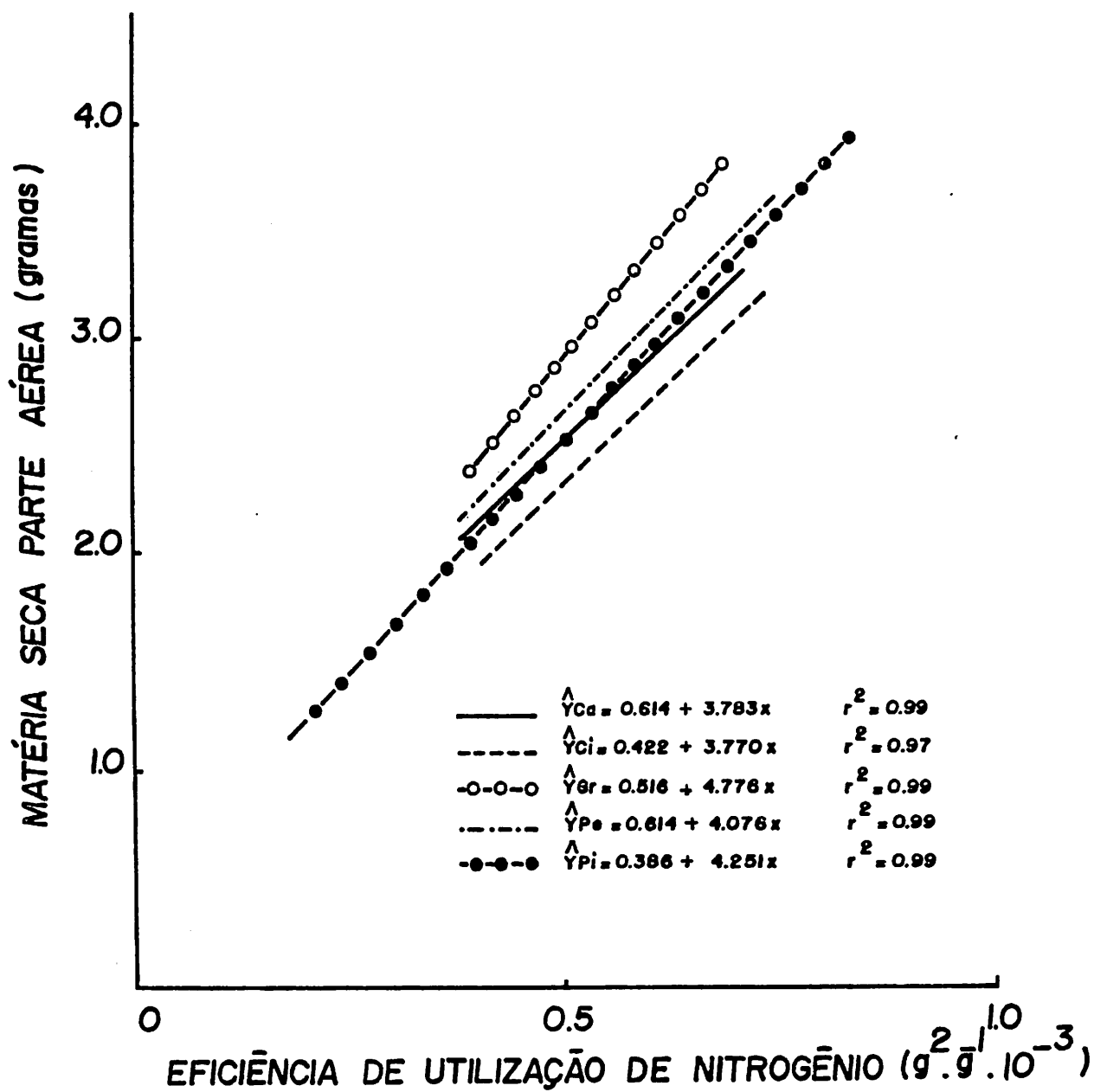


FIGURA 8 - Produção de matéria seca da parte aérea de cinco espécies de eucalipto em função da eficiência de utilização de nitrogênio.

função da espécie e do tipo de solo. Quando se considera a atividade florestal este aspecto deve merecer maior atenção em face da diversidade de espécies utilizadas, além das grandes extensões plantadas, com aproveitamento de solos de variada fertilidade, o que aumenta sobremaneira as interações solo x espécie vegetal. Os resultados desse estudo, considerando apenas o status de enxofre do solo, atestam a importância de se considerar tais interações.

## 5. CONCLUSÕES

a) As espécies de eucalipto estudadas responderam diferentemente à fertilização com enxofre, sendo o *E. pilularis*, *E. pellita* e *E. camaldulensis* mais responsivas, enquanto *E. grandis* e *E. citriodora* podem ser consideradas menos responsivas ao nutriente.

b) Dentre as espécies, o *E. pellita* foi o que apresentou melhor adaptação ao status de enxofre no solo. Por sua vez, a baixos níveis de enxofre no solo, o *E. pilularis* mostrou sério comprometimento quanto a produção de mudas.

c) os níveis de enxofre no solo que permitiram a máxima produção de matéria seca das diferentes espécies variaram entre 12,0 e 16,0 ppm de  $S-SO_4^{-2}$  no solo. Teores de enxofre acima dos níveis ideais ocasionaram decréscimos na produção de matéria seca em todas as espécies.

d) Em todas as espécies, os mais baixos teores de nitrogênio orgânico solúvel ocorreram para os níveis de enxofre

no solo que condicionaram máxima produção de biomassa. A participação do nitrogênio nítrico no nitrogênio total acumulado na parte aérea foi praticamente desprezível, provavelmente devido a preferência do eucalipto pela forma amoniacal.

e) O aumento da disponibilidade de enxofre no solo ocasionou incrementos na concentração deste nutriente na parte aérea das espécies. Este incremento provocou redução na relação nitrogênio/enxofre (N/S). A relação N/S quando comparada com S-total mostrou ser melhor parâmetro para o diagnóstico do estado nutricional das plantas em enxofre.

f) Todas as espécies apresentaram decréscimo significativo nos teores de clorofila total quando submetidas a deficiência de enxofre. Entretanto, *E. camaldulensis* e *E. pilularis* mostraram também significativo decréscimo quando os teores de enxofre estavam acima dos níveis ideais. Nestas condições, essas duas espécies apresentaram acentuado decréscimo na aquisição de nitrogênio do solo.

g) As espécies de eucalipto apresentaram comportamento distinto no tocante a eficiência de utilização de enxofre e nitrogênio. Quando submetidas a níveis crescentes de enxofre, todas as espécies estudadas mostraram tendência quadrática quanto a eficiência de utilização de nitrogênio, que coincidiu com o padrão observado na produção de matéria seca.



## 6. RESUMO

Estudou-se o efeito do enxofre no crescimento de cinco diferentes espécies de eucalipto: *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. pellita* e *E. pilularis* na fase de mudas, em condições de casa de vegetação. Foram utilizadas quatro doses de enxofre na forma de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 0, 5, 20 e 30 mg S/dm<sup>3</sup> de solo. Foram determinadas as produções de matéria seca, assimilação de nitrogênio, concentração de clorofila e a eficiência de utilização de nitrogênio e enxofre nas diferentes espécies.

Os resultados obtidos permitiram verificar que as espécies estudadas respondem de maneira distinta à fertilização com enxofre, tendo sido *E. pilularis*, *E. pellita* e *E. camaldulensis* consideradas mais responsivas ao nutriente, enquanto *E. grandis* e *E. citriodora* foram consideradas menos responsivas.

Foi observado que níveis de  $\text{S-SO}_4^{-2}$  variando entre 12,0 e 16,0 ppm ocasionaram a máxima produção de matéria seca, enquanto que acima destes níveis houve decréscimo de produção de biomassa em todas as espécies estudadas.

Os teores mais baixos de nitrogênio orgânico solúvel ocorreram nos níveis de enxofre no solo que condicionaram a máxima produção de matéria seca. O nitrogênio nítrico acumulado na parte aérea teve participação muito pequena nos teores de nitrogênio total das espécies.

A relação N/S mostrou ser melhor parâmetro para o diagnóstico do estado nutricional das plantas em enxofre quando comparado ao S-total.

Os teores de clorofila total de todas as espécies estudadas foram significativamente menores no nível mais baixo de enxofre no solo. Entretanto, *E. camaldulensis* e *E. pilularis* também apresentaram decréscimo quando os teores de enxofre estavam acima dos níveis ideais.

Todas as espécies apresentaram tendência quadrática no tocante a eficiência de utilização de nitrogênio quando submetidas a níveis crescentes de enxofre, coincidindo com o padrão observado na produção de matéria seca.

Os resultados do presente estudo evidenciam a importância de se considerar a interação solo x espécie vegetal, notadamente na atividade florestal.



## 7. SUMMARY

### THE EFFECT OF SULPHUR ON GROWTH AND NITROGEN ASSIMILATION OF SEEDLINGS OF EUCALYPT SPECIES

This study was carried out to evaluate effect of sulphur (S) on growth of seedlings of five eucalypt species (*E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. pellita* and *E. pilularis*). Four rates of S were supplied as  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 0, 5, 20 and 30 mg S/dm<sup>3</sup> of soil. The assessment included dry matter production, N assimilation, chlorophyll content, and N and S utilization efficiency by the eucalypt species, through 6 weeks age.

The eucalypt species responded differently to S fertilization with the highest responses observed for *E. pilularis*, *E. pellita*, and *E. camaldulensis*.

The maximum dry matter production was obtained when the estimated levels of S in the soil were between 12 and

16 ppm  $S-SO_4^{-2}$ . For values higher than these levels there was a decrease in growth.

The highest soluble organic-N content was detected in those treatment where S level reduced growth. Nitrate-N in the aerial part of all species represented a small proportion of the total-N. The ratio N/S was a better parameter to indicate the S nutritional status of the plants than content of total S.

Chlorophyll content of all species was significantly lower in plants grown under the lowest level of S in the soil, as compared to plants grown under S levels between 12 and 16 ppm  $S-SO_4^{-2}$ . *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus pilularis* showed decrease in the content of this pigment when S levels were higher than those associated with the maximum growth.

The efficiency of nitrogen utilization followed the pattern of dry matter production, reaching the maximum value for S levels between 12 and 16 ppm  $S-SO_4^{-2}$ .

The results of this study emphasize the importance of considering soil-species interaction specially in the forestry activity.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ V, V.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Níveis críticos de enxofre em solos de cerrado para o crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XIX, Curitiba, 1983. *Resumos...* Campinas, s. ed. 1983. p.85-6.
2. BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 12(141): 15-9, set. 1986.
3. BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acids. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 29(1):71-2, Jan./Feb. 1965.

4. BOLTON, J.; NOWAKOWSKI, T.Z. & LAZARUS, W. Sulphur-nitrogen interaction effects on the yield and composition of the protein-N, non-protein-N and soluble carbohydrates in perennial ryegrass. *Journal Science Food Agriculture*, London, 27(6): 553-60, June, 1976.
5. BOTTRILL, D.E.; POSSIGHAM, J.V. & KRIEDEMANN, P.E. The effect of nutrient deficiencies on photosynthesis and respiration in spinach. *Plant and Soil*, the Hague, 32: 424-38, 1970.
6. BREMNER, J.M. & EDWARDS, A.P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 29(5): 504-7, Sep./Oct. 1965.
7. BRUINSMA, J. A comment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. *Biochimica & Biophys Acta*, Amsterdam, 52: 576-8, 1961.
8. CALVET, J.L.R. *Estudo do enxofre em diversos solos da região de Piracicaba-SP e avaliação de métodos de extração do enxofre disponível usando  $^{35}\text{S}$* . Piracicaba, ESAIQ, 1986. 102p. (Tese MS).

9. CAMERON, D.M.; RANCE, S.J. & WILLIAMS, E.R. Effects of fertilizers on growth, form, and concentration of nutrient in the needles of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in the Northern territory. *Australian Forest Research*, Victoria, 12(2): 105-19, 1982.
10. CASAGRANDE, J.C. & SOUZA, O.C. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(1): 21-5, Jan. 1982.
11. CATALDO, D.A.; HAARON, M.; SCHRADER, L.E. & YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Science Plant Anal.*, 6: 71-90, 1975.
12. CHRISTIE, E.K. & MOORBY, J. Physiological responses of semiarid grasses. I. Influence of phosphorus supply on growth and phosphorus absorption. *Australian Journal Agricultural Research*, Victoria, 26(3): 423-36, May. 1975.
13. CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P.C., ed. *Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos*. Ilhéus, CEPLAC/SBCS, 1985. p.45-75.

14. COWLING, D.W. & JONES, L.H.P. A deficiency in soil sulfur supplies for perennial ryegrass in England. *Soil Science*, Baltimore, 110(5): 346-54, Nov. 1970.
15. DAIGGER, L.A. & FOX, R.L. Nitrogen and sulfur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. *Agronomy Journal*, Madison, 63(5): 729-30, Sept./Oct. 1971.
16. DAVIDE, A.C.; NOGUEIRA, F.D. & VENTORIM, N. Influência do fosfato de Araxá e do gesso na produção de mudas de *Eucalyptus saligna*. Smith, em casa de vegetação. *Ciência e Prática*, Lavras, 10(1): 18-29, jan./abr. 1986.
17. DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analyses. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, cap. 43, p.545-66.
18. DIJKSHOORN, W. & VAN WIJK, A.L. The sulfur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter. A review of published data. *Plant and Soil*, The Hague, 26: 129-57, 1967.
19. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.

20. ERGLE, D.R. & EATON, F.M. Sulphur nutrition of cotton. *Plant Physiology*, Maryland, 26(4): 639-54, Oct. 1951.
21. FAGERIA, N.K. & SINGH, H. Response of wheat to soil application of nitrogen and sulphur. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(8):1121-6, ago. 1982.
22. FERREIRA, F.A.S. A interação nitrato, fosfato e sulfato na absorção de fosfato e de sulfato no crescimento de eucalipto e no seu metabolismo de nitrato e sulfato. Viçosa, UFV, 1986. 95p. (Tese MS).
23. FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H. & BORGES, A.C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(2): 125-30, maio/ago. 1982.
24. FOX, R.L. Sulfur and nitrogen requirements of sugarcane. *Agronomy Journal*, Madison, 68(6): 891-6, Nov./Dec. 1976.
25. FREITAS, L.M.M. & JORGE, J.P.N. Resposta de capim swannee-bermuda à aplicação de nitrogênio, fósforo e enxofre em região de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(3): 195-202, set./dez. 1982.
26. \_\_\_\_\_; SPENCER, K. & JONES, M.B. The diagnosis of S deficiency in wheat. *Australian Journal Agricultural Research*, Victoria, 29(4)727-38. July. 1978.

27. FRENEY, J.R. & STEVENSON, F.J. Organic sulfur transformation in soils. *Soil Science*, Baltimore, 101: 307-16, 1966.
28. FRIEDRICH, J.W. & SCHRADER, L.E. Sulfur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. *Plant Physiology*, Maryland, 61(6): 900-3, June. 1978.
29. FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C. & AZZINI, L.E. Comportamento diferencial de linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 10(1): 51-9, jan./abr. 1986.
30. GAINES, T.P. & PHATAK, S.C. Sulfur fertilization effects on the constancy of the protein N:S ratio in low and high sulfur accumulating crops. *Agronomy Journal*, Madison, 74(3): 415-8, May/June. 1982.
31. GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. In: WRIGHT, M.J., ed. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. New York, Cornell University-Agricultural Experiment Station, 1976. p.161-73.
32. GOEPFERT, C.F. & KUSSOW, W.F. A necessidade de aplicar enxofre e microelementos em oito solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, 7(2): 149-56, 1971.



33. GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea de eucalipto na presença e ausência da calagem. *Revista Arvore*, Viçosa, 10(1): 91-104, jan./jun. 1986.
34. HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; OLIVEIRA, G.D.; POGGIANI, F. & FERREIRA, C.A. Análise foliar em cinco espécies de eucaliptos. IPEF, Piracicaba, (13): 99-116, dez. 1976.
35. HADDAD, C.M. *Efeito do enxofre, aplicado na forma de gesso, sobre a produção e qualidade do capim colonião (Panicum maximum Jacq)*. Piracicaba, ESALQ, 1983. 115p. (Tese Doutorado).
36. HALL, J.D.; BARR, R.; AL-ABBAS, A.H. & CRANE, F.L. The ultrastructure of chloroplasts in mineral-deficient maize leaves. *Plant Physiology*, Maryland, 50(3):404-9, Sep. 1972.
37. HARWARD, M.E. & REISENAUER, H.M. Reactions and movement of inorganic soil sulphur. *Soil Science*, Baltimore, 101(4): 326-35, 1966.
38. HOEFT, R.G.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 37(3): 401-4, May/June. 1973.

39. JANZEN, H.H. & BETTANY, J.R. Sulfur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48(1): 100-7. Jan./Feb, 1984.
40. JONES, M.B. Effect of applied sulfur on yield and sulfur uptake of various California dryland pasture species. *Agronomy Journal*, Madison, 56(2): 235-7, Mar./Apr. 1964.
41. \_\_\_\_\_. Effect of sulfur applied and date of harvest on yield, sulfate sulfur concentration, and total sulfur uptake of five annual grassland species. *Agronomy Journal*, Madison, 55(3): 251-4, May/June. 1963.
42. \_\_\_\_\_ & QUAGLIATO, J.L. Resposta de quatro leguminosas tropicais e da alfafa a vários níveis de enxofre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 5: 359-63, 1970.
43. \_\_\_\_\_ & RUCKMAN, J. E. Gypsum and elemental sulfur as fertilizers on annual grassland. *Agronomy Journal*, Madison, 58(4): 409-12, July/Aug. 1966.
44. KAMPRATH, E.J.; NELSON, W.L. & FITTS, J.W. Sulfur removed from soils by field crops. *Agronomy Journal*, Madison, 49(6): 289-93, June. 1957.

45. KANG, B.T.; OKORO, E.; ACQUAYE, D. & OSINAME, O.A. Sulfur status of some Nigerian soils from the savanna and forest zones. *Soil Science*, Baltimore, 132(3): 220-7, Sept. 1981.
46. KELLY, J. & LAMBERT, M.J. The relationship between sulphur and nitrogen in the foliage of *Pinus radiata*. *Plant and Soil*, The Hague, 37: 395-407, 1972.
47. KUMAR, V. & SINGH, M. Sulfur, phosphorus and molybdenum interactions in relation to growth, uptake, and utilization of sulfur in soybean. *Soil Science*, Baltimore, 129(5): 297-304, May. 1980.
48. LAMB, D. Relationships between growth and foliar nutrient concentrations in *Eucalyptus deglupta*. *Plant and Soil*, The Hague, 47: 495-508, 1977.
49. LAMBERT, M.J. & TURNER, J. Dieback in high site quality *Pinus radiata* stands - the role of sulphur and boron deficiencies. *New Zealand Journal of Forestry Science*, New Zealand, 7(3): 333-48, 1977.
50. LIAO, C.F.H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 45(5): 852-5, Sep./Oct. 1981.
51. LOPES, A.S. *Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo*. 2.ed. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1984. 162p.

52. MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*.  
São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 256p.
53. \_\_\_\_\_. Nutrição mineral. In: FERRI, M.G., ed. *Fisiologia Vegetal*. São Paulo, EPU, 1985. p. 97-114.
54. \_\_\_\_\_. SARRUGE, J.R. & BITTENCOURT, V.C. Toxidez de alumínio e manganês. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; bases para utilização agropecuária, 4, Brasília, 1976. *Quarto...* Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p.275-301.
55. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*.  
Berna, International Potash Institute, 1982. 655p.
56. MILCHUNAS, D.G.; LAUENROTH, W.K.; DADD, J.L. & McNARY, F.J. Effects of SO<sub>2</sub> exposure with nitrogen and sulphur fertilization on the growth of *Agropyron smithii*.  
*Journal of Applied Ecology*, London, 18(1): 291-302, Apr. 1981.
57. NASCIMENTO, J.A.L. & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4(3): 131-5, Set./Dez. 1980a.
58. \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II. Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4(3): 135-8, set./dez. 1980.

59. NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, N.A. & HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison; 39(1): 51-5, Jan./Feb. 1975.
60. OLSEN, R.A. Absorption of sulfur dioxide from the atmosphere by cotton plants. *Soil Science*, Baltimore, 84(2): 107-11, 1957.
61. RABUFFETTI, A. & KAMPRATH, E.J. Yield, N, and S content of corn as affected by N and S fertilization on coastal plain soils. *Agronomy Journal*, Madison, 69(5): 785-8, Sept./Oct. 1977.
62. RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim, 81).
63. RAMIG, R.E.; RASMUSSEN, P.E.; ALLMARAS, R.R. & SMITH, C.M. Nitrogen-sulfur relations in soft white winter wheat. I. Yield response to fertilizer and residual sulfur. *Agronomy Journal*, Madison, 67(2): 219-23, Mar./Apr. 1975.
64. RANDALL, P.J.; SPENCER, K. & FRENEY, J.R. Sulfur and nitrogen fertilizers effects on wheat. I. Concentrations of sulfur and nitrogen and the nitrogen to sulfur ratio in

- grain in relation to the yield response. *Australian Journal Agricultural Research*, Victoria, 32(2): 203-12, 1981.
65. RASMUSSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; ALLMARAS, R.R. & SMITH, C.M. Nitrogen-sulfur relations in soft white winter wheat. II. Initial and residual effects of sulfur application on nutrient concentration, uptake, and N/S ratio. *Agronomy Journal*, Madison, 67(2): 224-8, Mar./Apr. 1975.
66. REISENAUER, H.M. & DICKSON, A.D. Effects of nitrogen and sulfur fertilization on yield and malting quality of barley. *Agronomy Journal*, Madison, 53(3): 192-5, May/June. 1961.
67. RENDIG, V.V.; OPUTA, C. & McCOMB, E.A. Effects of sulfur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars, and N/S ratios in young corn (*Zea mays* L.) plants. *Plant and Soil*, The Hague, 44: 423-37, 1976.
68. RENNENBERG, H. The fate of excess sulfur in higher plants. *Annual Review Plant Physiology*, California, 35: 121-53, 1984.
69. REUVENY, Z. & FILNER, P. Regulation of adenosine triphosphate sulfurylase in cultured tobacco cells. Effects of sulfur and nitrogen sources on the formation and decay of the enzyme. *The Journal of Biological Chemistry*, Baltimore, 252: 1858-64, 1977.

70. ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P. & OLIVEIRA, G.D. Deficiência de macronutrientes boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, 35: 19-34, 1978.
71. SACCOMANI, M.; CACCO, G. & FERRARI, G. Effect of nitrogen and/or sulphur deprivation on the uptake and assimilation steps of nitrate and sulfate in maize seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, Madison, 7(7): 1043-57, 1984.
72. SANCHEZ, P.A. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley, 1976. p.618.
73. SANZONOWICZ, C. & COUTO, W. Efeito de cálcio, enxofre e outros nutrientes no rendimento e nodulação da *Leucaena Leucocephala* em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 16(6): 789-94, nov./dez. 1981.
74. SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, Madison, 4(3): 289-302, 1981.

75. SNOWDON, P. & WARING, H.D. Effects of factorial combinations of urea, dicalcium phosphate, gypsum and potassium chloride on growth and foliage composition of closely spaced *Pinus radiata*. *Australian Forest Research*, Victoria, 15(3): 333-52, 1985.
76. STEWART, B.A. & PORTER, L.K. Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum*, L.), corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomy Journal*, Madison, 61(2): 267-71, Mar./Apr. 1969.
77. STRAIN, H.H.; COPE, B.T. & SVEC, W.A. Analytical procedures for the isolation, identification, estimation, and investigation of the chlorophylls. In: SAN PIETRO, A., ed. *Methods in enzymology*. s.l., s.ed., 1971. p.452-76.
78. TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. (Boletim Técnico, 5).
79. TERMAN, G.L.; ALLEN, S.E. & GIORDANO, P.M. Dry matter yield-N and S concentration relationships and ratios in young corn plants. *Agronomy Journal*, Madison, 65(4): 633-6, July/Aug. 1973.
80. TERRY, N. Effects of sulphur on photosynthesis of intact leaves and isolated chloroplasts of sugar beets. *Plant Physiology*, Maryland, 57(4): 477-9, Apr. 1976.



81. THOMAS, W. Effect of applied nitrogen and sulfur on yield and protein content of corn. *Agronomy Journal*, Madison, 51(9): 572-3, Sept. 1959.
82. THOMPSON, J.F. Sulphur metabolism in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, California, 18: 59-84, 1967.
83. VALE, F.R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*). Viçosa, UFV, 1982. 71p. (Tese MS).
84. VETTORI, L. Métodos de análises do solo. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
85. VITTI, G.C. O enxofre na agricultura, situação, perspectivas e sugestões. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉ-SIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES; situação atual e perspectivas na agricultura, São Paulo, 1984. *Anais...* São Paulo, Manah, 1986. p.98-110.
86. WOLFFENBÜTTEL, R. & TEDESCO, M.J. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com parâmetros de solo. *Agronomia Sulrio-grandense*, Porto Alegre, 17(2): 357-76, 1981.

**APÉNDICE**

QUADRO 11 - Altura (cm) determinada em 4 épocas após o desbaste em plantas de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Espécies	Dias após desbaste															
	0				5				20				30			
	20	40	60	80	20	40	60	80	20	40	60	80	20	40	60	80
	----- mg S/dm <sup>3</sup> solo -----															
<i>camaldulensis</i>	1,70	4,83	20,03	38,50	2,20	5,87	23,73	38,30	1,50	5,00	23,90	42,00	1,73	3,77	17,83	37,67
<i>.citriodora</i>	6,76	11,43	21,00	32,20	6,83	11,73	29,33	47,33	6,76	11,53	25,00	45,17	6,33	10,37	23,67	39,00
<i>grandis</i>	1,83	3,77	12,03	23,30	2,56	5,40	15,73	25,67	2,00	3,97	13,57	24,70	2,13	4,47	13,73	24,33
<i>pellita</i>	1,80	4,10	13,33	26,83	2,43	5,23	17,37	27,83	2,36	6,43	16,57	25,90	2,30	5,07	16,77	29,83
<i>pilularis</i>	1,96	2,77	6,90	19,50	1,66	2,77	8,90	29,83	2,90	5,20	14,67	30,17	1,96	3,33	9,57	26,00

QUADRO 12 - Relações raiz/parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de 3 repetições).

Níveis de enxofre mg S/dm <sup>3</sup> solo	Espécies				
	<i>camaldulensis</i>	<i>citriodora</i>	<i>grandis</i>	<i>pellita</i>	<i>pilularis</i>
0	0,32	0,37	0,35	0,42	0,33
5	0,33	0,27	0,20	0,29	0,24
20	0,29	0,25	0,24	0,29	0,18
30	0,28	0,22	0,21	0,27	0,12

QUADRO 13 - Concentração de clorofila total em folhas de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Níveis de enxofre	Espécies				
	<i>camaldulensis</i>	<i>citriodora</i>	<i>grandis</i>	<i>pellita</i>	<i>pilularis</i>
mg S/dm <sup>3</sup> solo	----- µg clorofila total cm <sup>-2</sup> folha -----				
0	60,18	39,04	59,61	53,08	62,78
5	74,37	51,92	73,03	71,91	75,07
20	81,47	61,52	71,94	74,43	91,98
30	70,18	59,35	70,48	74,05	76,17

QUADRO 14 - Análise de variância do parâmetro teor de clorofila total de folhas de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
Níveis	3	3.662,58	1.220,86	61,88**
Espécies	4	3.733,20	933,30	47,30**
Níveis x espécies	12	557,10	46,42	2,35*
Tratamentos	(19)	(7.952,88)		
Resíduo	40	789,09	19,73	
Total	59	8.741,97		
CV = 6,57%				

\* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade de F.

DMS (Doses) Tukey 5% = 9,72.

QUADRO 15 - Análise de variância do parâmetro matéria seca da parte aérea de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
Níveis	3	14,971	4,990	73,38**
Espécies	4	5,520	1,380	20,29**
Níveis x espécies	12	10,992	0,916	13,47**
Tratamentos	(19)	(31,483)		
Resíduo	40	2,712	0,068	
Total	59	34,195		
CV = 9,36 %				

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

QUADRO 16 - Análise de variância do parâmetro matéria seca total de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
Níveis	3	18,460	6,153	53,50**
Espécies	4	12,604	3,151	27,40**
Níveis x espécies	12	14,770	1,231	10,70**
Tratamentos	(19)	(45,834)		
Resíduo	40	4,596	0,115	
Total	59	50,430		
CV = 9,62%				

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.



QUADRO 17 - Análise de variância do parâmetro matéria seca da raiz de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
Níveis	3	0,508	0,169	4,57**
Espécies	4	1,833	0,458	12,38**
Níveis x espécies	12	0,466	0,039	1,05**
Tratamentos	(19)	(2,807)		
Resíduo	40	1,485	0,037	
Total	59	4,292		
CV = 25,94%				

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

QUADRO 18 - Análise de variância do parâmetro relação raiz/parte aérea (R/P) de diferentes espécies de eucalipto submetidas a níveis crescentes de enxofre

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
Níveis	3	0,151	0,050	12,50**
Espécies	4	0,087	0,022	5,50**
Níveis x espécies	12	0,038	0,003	0,75 <sup>ns</sup>
Tratamentos	(19)	(0,276)		
Resíduo	40	0,164	0,004	
Total	59	0,440		
CV = 23,34%				

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

QUADRO 19 - Teores de fósforo na parte aérea de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de três repetições).

Espécies	Níveis de enxofre (mg S/dm <sup>3</sup> solo)			
	0	5	20	30
	----- mg P g <sup>-1</sup> matéria seca -----			
<i>camaldulensis</i>	4,90	3,46	2,81	4,00
<i>citriodora</i>	2,73	2,52	2,82	3,43
<i>grandis</i>	5,42	3,78	3,98	4,15
<i>pellita</i>	5,36	3,31	2,57	3,14
<i>pilularis</i>	5,81	4,43	2,76	4,22

QUADRO 20 - Teores foliares de cálcio, magnésio, potássio e relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/k de cinco espécies de eucalipto submetidas a diferentes níveis de enxofre (média de 3 repetições).

Espécies	Níveis de Enxofre	Elementos			Relações		
		Ca	Mg	K	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
	mg S/dm <sup>3</sup> solo	-----	%	-----			
<i>camaldulensis</i>	0	0,70	0,30	3,18	2,33	0,22	0,09
	5	0,61	0,26	2,48	2,35	0,24	0,10
	20	0,50	0,28	2,78	1,78	0,18	0,10
	30	0,82	0,38	3,15	2,16	0,26	0,12
<i>citriodora</i>	0	0,62	0,29	2,48	2,14	0,25	0,12
	5	0,56	0,33	2,43	1,70	0,23	0,13
	20	0,76	0,34	2,31	2,23	0,33	0,15
	30	0,78	0,37	2,44	2,11	0,32	0,15
<i>grandis</i>	0	0,84	0,44	3,20	1,91	0,26	0,14
	5	0,77	0,41	2,47	1,88	0,31	0,16
	20	0,70	0,37	2,56	1,89	0,27	0,14
	30	0,70	0,41	2,72	1,71	0,26	0,15
<i>pellita</i>	0	1,02	0,52	2,53	1,96	0,40	0,20
	5	0,91	0,43	2,30	2,12	0,39	0,19
	20	1,04	0,46	1,96	2,26	0,53	0,23
	30	1,08	0,47	2,30	2,30	0,47	0,20
<i>pilularis</i>	0	1,24	0,89	3,09	1,39	0,40	0,29
	5	0,94	0,51	2,89	1,84	0,32	0,18
	20	0,95	0,48	1,99	1,98	0,48	0,24
	30	0,98	0,53	2,66	1,85	0,37	0,20