

Nutrição e Adubação Fosfatada em *Eucalyptus*¹

Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira²
José Luiz Gava³

I. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é constituído pelas indústrias de papel e celulose, carvão vegetal, madeira serrada, chapas, aglomerados, resinas e óleos essenciais. Esse setor é responsável por dois milhões de empregos diretos e indiretos, sendo de destacar que, nesse conjunto, o manejo de florestas plantadas alcança 25% do total (500 mil empregos diretos e indiretos). No ano de 2001, a atividade florestal correspondeu a 4,5% do PIB equivalentes a US\$ 28 bilhões.

As exportações do setor totalizaram US\$ 5,4 bilhões em 2001, 8% do total. Analisados separadamente, alguns de seus componentes, ocupam posição destacada na pauta brasileira de produtos exportados. Assim, os derivados de papel e celulose são o segundo item entre os produtos industrializados, com geração de divisas superiores a US\$ 2,5 bilhões. O Brasil tornou-se exportador de celulose, sendo que as vendas externas desse produto alcançaram US\$ 1,2 bilhões em 2001. Entre os produtores mundiais de celulose, o Brasil já ocupa o sétimo lugar, ao tempo em que se constitui no maior produtor mundial da celulose de eucalipto.

Segundo CEPEA (2002), existem estimativas de que a produção mundial de celulose alcance 37 milhões de toneladas em 2003. O Brasil produziu em 2002, 8 milhões de toneladas, sendo que cerca de 6 milhões foram de fibra curta.

A madeira, matéria prima utilizada pelo setor florestal, é obtida normalmente, a partir de plantios homogêneos realizados com espécies de pinus e eucalipto. A elevada utilização do eucalipto nos reflorestamentos ocorreu pelo seu rápido crescimento e por sua boa adaptação às nossas condições edafo-climáticas. A área reflorestada com eucalipto no Brasil está apresentada na Tabela 1. Atualmente, os plantios com eucalipto no Brasil, estão em torno de 3 milhões de hectares, sendo que aproximadamente 70% estão concentrados nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Os reflorestamentos no Brasil, têm se concentrado, em solos com baixa reserva de nutrientes, acidez elevada e altos teores de Al. Nesses solos, a deficiência de fósforo tem sido freqüentemente menos encontrada que a de potássio e boro conforme levantamentos nutricionais realizados por Bellote & Ferreira (1993); Silveira *et al.* (1995a, 1995b, 1998, 1999, 2001, 2002 e 2003) e Sgarbi & Silveira (2001). No entanto, considerando a baixa fertilidade dos solos florestais, a aplicação de fósforo tem sido essencial para o aumento e manutenção da produtividade das florestas implantadas. Para isso, é importante que algumas medidas

sejam tomadas para se aumentar a eficiência da adubação fosfatada, como: selecionar genótipos mais eficientes na absorção e utilização de fósforo; determinar a dose adequada e econômica em função do tipo de solo (acidez do solo, quantidade e qualidade das argilas) e do material genético; estabelecer a melhor fonte de fósforo em função dos aspectos técnicos e econômicos; determinar a melhor forma e época de aplicação; determinar a resposta à aplicação de fósforo (dose, fonte e forma) em brotação e em florestas deficientes.

Tabela 1. Área reflorestada com espécies de eucalipto em alguns Estados do Brasil até 1999.

Estado	Área (ha)	%
Amapá	12.500	0,4
Bahia	213.400	7,2
Espírito Santo	152.330	5,1
Mato Grosso do Sul	80.000	2,7
Minas Gerais	1.535.290	51,7
Pará	45.700	1,5
Paraná	67.000	2,2
Santa Catarina	41.550	1,4
São Paulo	574.150	19,3
Rio Grande do Sul	115.900	3,9
Outros	128.060	14,5
Total	2.965.880	100

Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

2. FUNÇÕES DO FÓSFORO

As plantas absorvem fósforo na forma de $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} . Após a absorção, 80 a 90% do fósforo é rapidamente incorporado a compostos orgânicos, principalmente na forma de hexose fosfato (Figura 1) e uridina fosfato (Mengel & Kirkby, 1978 e Marschner, 1995).

O fósforo faz parte estrutural dos ésteres de carboidratos, fosfolipídeos das membranas celulares, coenzimas e ácidos nucleicos (Marschner, 1995; Malavolta *et al.*, 1997).

O fósforo faz parte das moléculas de preservação e transferência de energia como uridina trifosfato (UTP), cistidina trifosfato (CTP), guanosina trifosfato (GTP) e adenosina trifosfato (ATP). A Figura 2 mostra o fósforo como um constituinte da adenosina trifosfato, principal trifosfato de nucleotídeos requerido para a síntese de amido. A energia liberada pela hidrólise dos radicais fosfatos terminais das moléculas de ATP, ADP e AMP, em torno de $7600 \text{ cal mol}^{-1}$, é usada pela célula na fotossíntese, biossíntese de amido, gorduras e processo ativo de absorção iônica (Malavolta *et al.*, 1980; Mengel & Kirkby, 1978; Marschner, 1995).

¹Capítulo do livro "Fósforo na Agricultura Brasileira", POTAFOS.

²Diretor da RR Agroflorestal S/C Ltda - Rua Alfredo Guedes, 1949, Sala 802, Piracicaba/SP, 13416-901. ronaldo@rragroflorestal.com.br

³Engenheiro responsável pela área de Solos e Nutrição da Companhia Suzano de Papel e Celulose - Av. Dr. José Lembo, 1010, Itapetinga/SP, 18207-780. jgava@suzano.com.br

Os outros trifosfatos que participam de outras biossínteses são: UTP que é necessário para a síntese de sacarose e calose; CTP para a síntese de fosfolipídeos e GTP para a síntese de celulose (Mengel & Kirkby, 1978; Marschner, 1995). Todos os trifosfatos (ATP, CTP, GTP e UTP) estão também envolvidos na síntese de RNA.

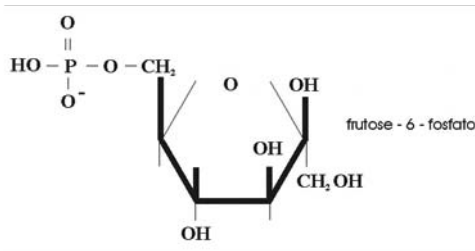


Figura 1. Molécula da frutose-6-fosfato.

Fonte: extraída de Mengel & Kirkby (1978).

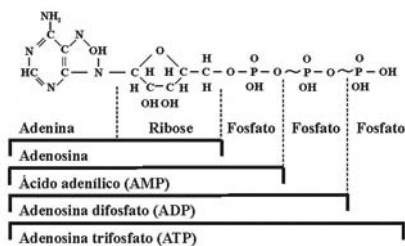


Figura 2. Molécula adenosina trifosfato.

Fonte: extraída de Arnon (1959).

A fitina (ácido fítico ligado a sais de Ca e Mg) tem a função de reserva de fósforo na semente, sendo a principal forma de armazenamento de fósforo nas plantas.

3. SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO

O fósforo é móvel nos tecidos, com isso, os sintomas de deficiência surgem nas folhas mais velhas. No estágio inicial da carência, as folhas mais velhas ficam com coloração verde escura mostrando-se arroxeadas próximo às nervuras e com pontuações escuras ao longo do limbo foliar. No estágio final, as pontuações progridem em tamanho e tornam-se necróticas (Kaul *et al.*, 1966, 1968, 1970a e 1970b; Balloni, 1978; Dell *et al.* 1995; Dell, 1996; Silveira *et al.* 1996, 2000 e 2001a).

No campo, em condições de deficiência severa, ocorre drástica redução do tamanho das plantas, que ficam completamente arroxeadas. Isso tem sido comumente observado no final das linhas de plantio, onde muitas vezes o adubo fosfatado acaba não sendo aplicado.

As Figuras 3 e 4 mostram os sintomas de deficiência de fósforo em algumas espécies de *Eucalyptus*.

A deficiência de fósforo pode ser confundida com manchas foliares causadas por fungos como *Cylindrocladium* spp., *Phaeoseptoria eucalypti* e *Mycosphaerella* (Figura 5).

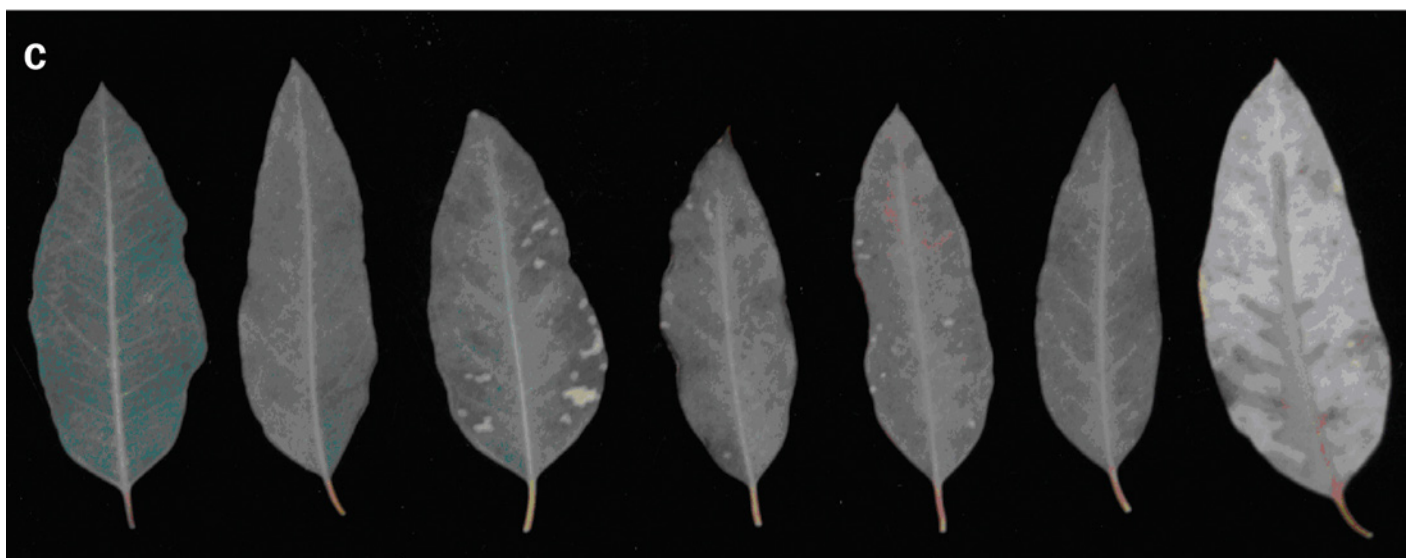
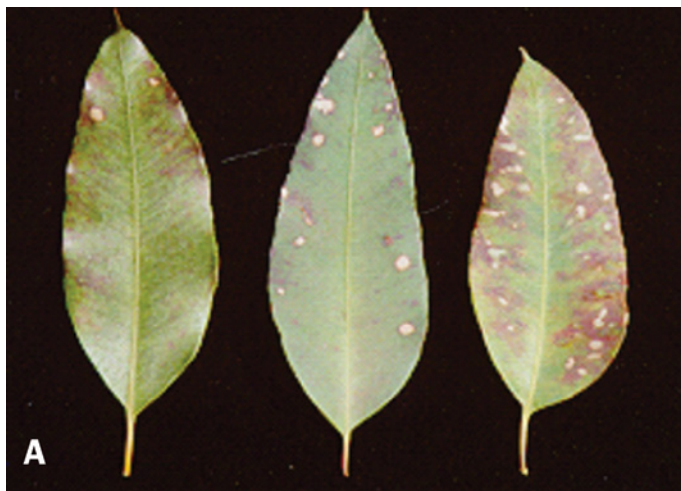


Figura 3. Sintomas de deficiência de fósforo. A) Clone híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*. B) *E. citriodora*. C) Progressão dos sintomas em clone híbrido de *Eucalyptus*.

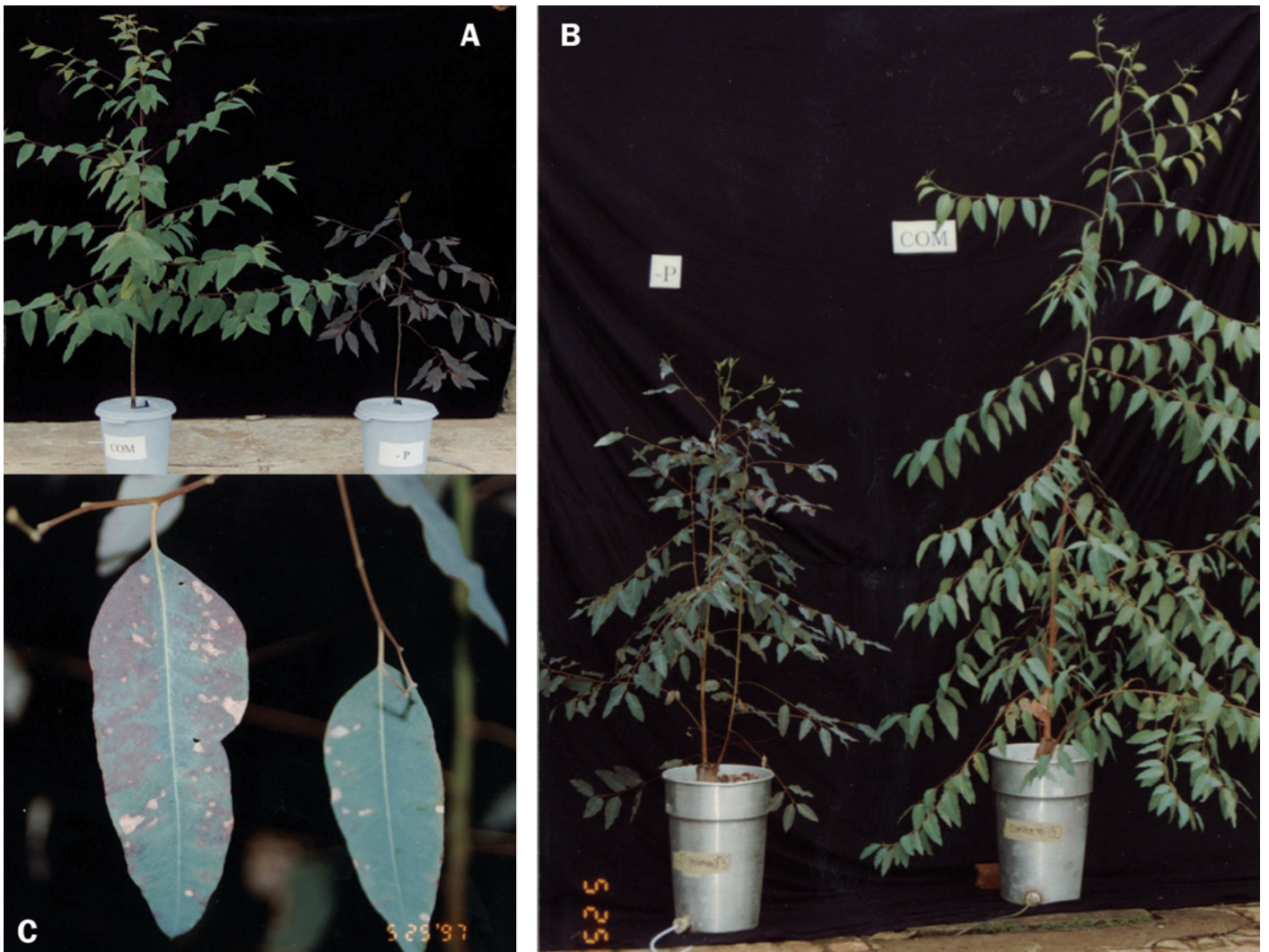


Figura 4. Sintomas de deficiência de fósforo. A) Planta normal comparada com deficiente. B) Brotação normal comparada com deficiente. C) Condição severa em clone de *E. grandis* x *E. urophylla*.

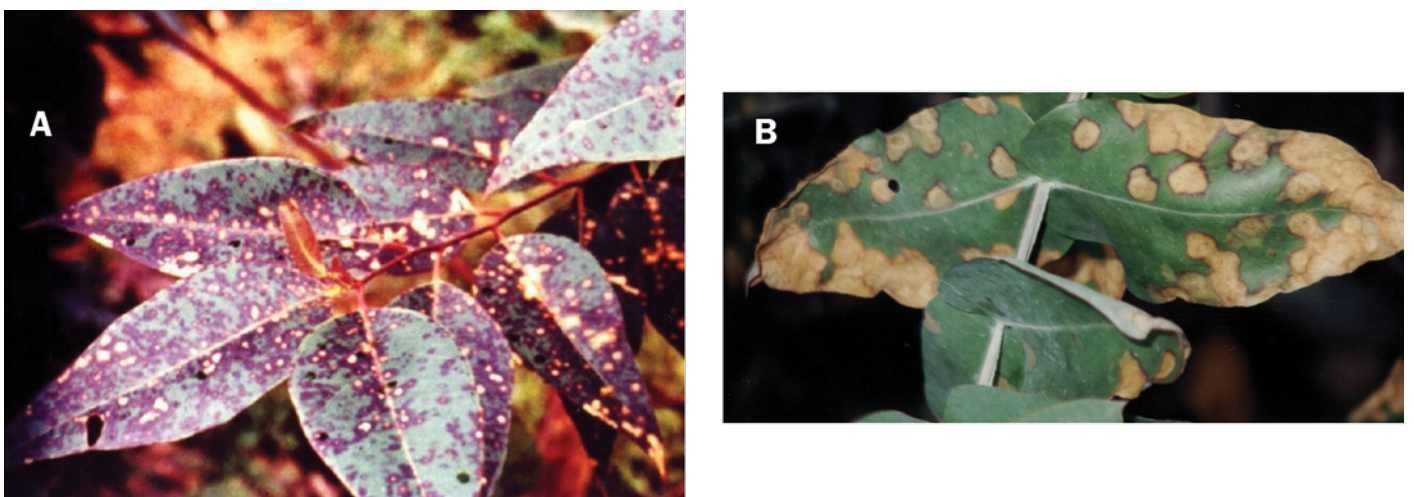


Figura 5. Sintomas de manchas foliares em eucalipto similares aos sintomas de deficiência de fósforo. A) *Cylindrocladium* spp. (Furtado et al., 2003). B) *Mycosphaerella* em *Eucalyptus globulus*.

4. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DO *Eucalyptus* EM RELAÇÃO A FÓSFORO

4.1. Quantidade acumulada

O fósforo foi o macronutriente com menor quantidade acumulada pelo *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade segundo Bellote (1979). O conteúdo (kg ha^{-1}) dos macronutrientes obedeceu a seguinte ordem: Ca (518), N (472), K (245), S (160), Mg (125) e P (30). Portanto o conteúdo de

fósforo foi cerca de 17 e 16 vezes menor que o de cálcio e nitrogênio, respectivamente.

Os solos florestais apresentam baixo teor de fósforo disponível (Tabela 2). Além disso, apresentam alta capacidade de adsorção e precipitação de fósforo, uma vez que são extremamente ácidos e com altos teores de Al trocáveis. A quantidade média de P disponível pelo método da resina nos primeiros 20 cm foi de $9,8 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo insuficiente

para atender uma demanda total média de P pelo *Eucalyptus* com idade aproximadamente de 7 anos, cujo o valor está em torno de 44 kg de P ha⁻¹ (Tabela 3). Mesmo considerando profundidades de amostragens maiores, até 60 cm, em latossolos vermelhos amarelos, a quantidade de P disponível estava aquém da necessidade média requerida por plantações de *Eucalyptus* de alta produtividade, exceção feita para a região de Itapetininga/SP, cuja quantidade de P disponível no solo equivale a quantidade acumulada na floresta. No entanto, os resultados apresentados na Figura 6, têm pouca utilidade prática, uma vez que as raízes finas, que apresentam maior habilidade de absorção de água e nutrientes, concentram-se nos primeiros 30 cm, principalmente nos solos menos produtivos (Gonçalves *et al.*, 1994).

Os resultados obtidos por Bellote (1979), Pereira *et al.* (1984), Reis *et al.* (1987), Morais *et al.* (1990), Santana *et al.* (1999) e Schumacher & Caldeira (2001) mostram que a aplicação de fósforo é essencial em programas de adubação, uma vez que a quantidade presente na maioria dos solos não é suficiente para atender a demanda de florestas de eucalipto de alta produtividade.

Em relação ao conteúdo de fósforo, verifica-se uma grande variação em função da espécie, idade, fertilidade do solo e produtividade (Tabela 3). Os valores médios mostram que cerca de 29% do conteúdo total encontram-se nas folhas, 14% nos ramos, 20% na casca e 37% na madeira.

Tabela 2. Características químicas de alguns solos florestais na profundidade de 0-20 cm.

Local	Fonte	pH	MO	P-resina	K	Ca	Mg	CTC	V -%	P kg ha ⁻¹
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³					
Neossolo Quartzarênico										
Itatinga/SP	1	3,7	12	9	0,5	3	1,5	37	13	18
Lençóis Paulista/SP	1	3,8	14	4	0,4	4	1,0	34	15	8
Bofete/SP	1	3,6	17	3	0,2	2	1,0	45	7	6
Luiz Antônio/SP	2	4,0	21	5	0,3	4	2,0	54	11	10
Latosolo Vermelho não férrico										
Lençóis Paulista/SP	1	3,9	21	4	0,4	1	1,0	-	-	8
Guataparã/SP	2	4,1	24	10	0,6	7	3,0	72	15	20
São Miguel Arcaño/SP	4	4,0	47	3	0,6	2	3,0	141	4	6
Latosolo Vermelho férrico										
Capão Bonito/SP	1	3,8	38	4	0,3	2	1,0	101	3	8
Latosolo Vermelho Amarelo										
Itatinga/SP	1	3,4	19	5	0,6	3	2,0	70	9	10
Prata/SP	3	3,6	17	4	0,3	1	1,0	35	6	8
Angatuba/SP	4	3,9	10	2	0,2	1	1,0	62	4	4
Itapetininga/SP	4	3,7	19	7	0,1	1	1,0	54	4	14
Paraibuna/SP	4	3,7	33	3	0,6	1	1,0	97	3	6
Argissolo Amarelo										
Sul da Bahia	5	4,3	15	3	0,7	12	2,0	44	33	6
Espodossolo										
Sul da Bahia	5	4,2	11	3	0,4	2	1,8	31	14	9
Média		3,85	21	4,6	0,41	3,0	1,6	63	10	9,8

Fontes: ¹Silveira *et al.* (1995c); ²Silveira *et al.* (2003); ³Silveira *et al.* (2001); ⁴Santana *et al.* (1999); ⁵Silveira (2000).

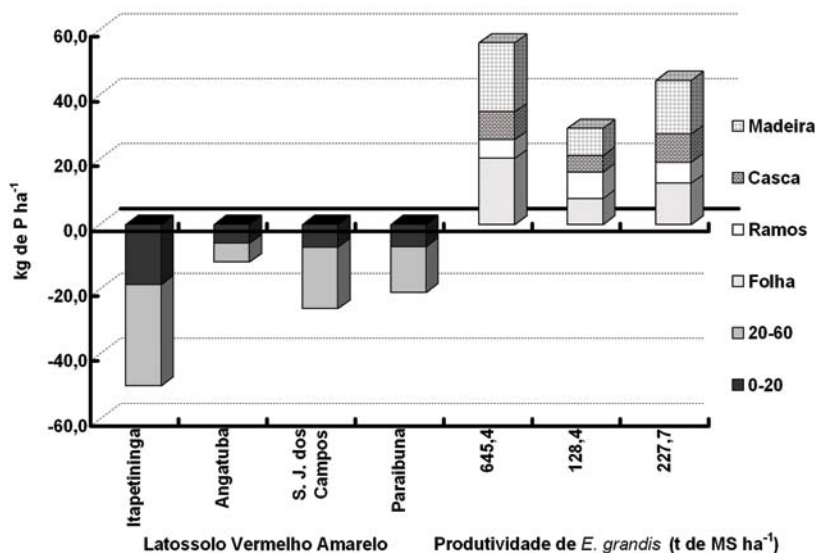


Figura 6. Estimativa do balanço de fósforo em florestas de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade.

Fonte: modificado de Morais *et al.* (1990) e Santana *et al.* (1999).

A quantidade média exportada pela casca e madeira do eucalipto é de 25,3 kg ha⁻¹ P (Tabela 3), que equivaleria a uma reposição de 57,9 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Portanto, para que a quantidade exportada seja reposta, é necessária a aplicação de no mínimo 135 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo ou 193 kg ha⁻¹ de fórmula (06-30-06) ou 322 kg de superfosfato simples ou 362 kg ha⁻¹ de termofosfato magnésiano (16% P₂O₅ solúvel em ácido cítrico) ou 644 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (9% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico). No entanto,

a aplicação dessa quantidade não garantiria a sustentabilidade das próximas rotações, principalmente em solos argilosos, onde a adsorção de fósforo pelos minerais de argila, óxidos de Fe e Al é alta. Nesse caso, haveria a necessidade de se utilizar doses maiores para manter o fornecimento adequado de P no próximo ciclo. Uma das alternativas além da melhor localização do adubo fosfatado, seria a seleção de genótipos mais eficientes na absorção e translocação de fósforo.

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

Espécie	Idade (anos)	Local	P na planta						Total	Produtividade		Fonte**
			Copa			Caule				MS	Volume	
			Folhas	Ramos	F+R	Casca	Madeira	C + M				
kg ha ⁻¹												
<i>E. grandis</i> (Atherton)	8	Viçosa/MG	20,3 (37)*	5,7 (10)	26,0 (47)	8,6 (15)	21,3 (38)	29,9 (53)	55,9	448,3	-	1
	8	Paraopeba/MG	7,9 (27)	8,2 (28)	16,1 (55)	5,1 (17)	8,3 (28)	13,4 (45)	29,6	128,4	-	1
<i>E. grandis</i> (Belthorpe)	8	Viçosa/MG	21,9 (30)	7,6 (10)	29,5 (40)	15,5 (21)	29,2 (39)	44,7 (60)	74,2	645,4	-	1
	8	Paraopeba/MG	11,1 (20)	17,4 (32)	28,5 (52)	11,6 (21)	14,3 (27)	25,9 (48)	54,4	236,2	-	1
<i>E. grandis</i>	6	Mogi Guaçu/SP	4,4 (14)	2,3 (8)	6,7 (22)	-	-	23,8 (78)	30,2	245,0	249	2
<i>E. grandis</i>	6,5	Estado de São Paulo***	-	-	8,8 (32)	6,9 (25)	12,1 (43)	19,0 (68)	27,8	145,5	351	6
<i>E. globulus</i>	4	Butia/RS	8,1 (45)	2,0 (11)	10,1 (56)	2,7 (15)	5,2 (29)	7,9 (44)	18,0	83,3	-	3
<i>E. grandis</i>	6	Bom Despacho/MG	5,6 (23)	3,8 (16)	9,4 (39)	8,3 (34)	6,6 (27)	14,9 (61)	24,3	85,3	-	4
<i>E. saligna</i>	9	Curvelo/MG	15,2 (27)	5,3 (9)	20,5 (36)	12,9 (23)	22,9 (41)	35,8 (64)	56,3	177,4	289	5
<i>E. saligna</i>	6,5	Estado de São Paulo***	-	-	8,5 (32)	7,8 (29)	10,2 (38)	18,0 (68)	26,5	132,6	286	6
<i>E. citriodora</i>	9	Curvelo/MG	20,1 (29)	5,1 (8)	25,2 (37)	7,2 (10)	36,3 (53)	43,5 (63)	68,7	177,3	195	5
Média	7,2		12,7 (29)	6,4 (14)	19,1 (43)	8,7 (20)	16,6 (37)	25,3 (57)	44,4	227,7	274	

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

** ¹Morais et al. (1990); ²Belotte (1979); ³Schumacher & Caldeira (2001); ⁴Reis et al. (1987); ⁵Pereira et al. (1984); ⁶Santana et al. (1999).

*** média de 5 localidades (Angatuba, Itapetininga, Paraibuna, São José dos Campos e São Miguel de Arcanjo)

4.2. Eficiência nutricional

Os materiais genéticos apresentam diferentes capacidades de absorção, translocação e uso de fósforo conforme verificado para o eucalipto por Furtini Neto et al. (1996). Esses autores estudaram a exigência nutricional de 5 espécies de eucalipto quanto ao fósforo e verificaram que em condições de baixa disponibilidade de fósforo, *E. pilularis* e *E. urophylla* apresentaram maior eficiência de absorção e utilização de fósforo quando comparadas às espécies *E. cloeziana*, *E. grandis* e *E. pellita* (Tabelas 4 e 5). O aumento da eficiência de absorção nas maiores doses de fósforo foi mais acentuado para *E. cloeziana* em relação às demais espécies (Tabela 4). Apesar do *E. cloeziana* apresentar menor volume de raízes, nota-se elevada capacidade de absorver P em condições de alta concentração. Em relação a eficiência de utilização do fósforo, as espécies *E. urophylla* e *E. cloeziana* apresentaram baixa capacidade de utilizar fósforo em solo

com baixa quantidade disponível do elemento (Tabela 5). Para que essas espécies tenham uma utilização de fósforo igual a das demais espécies é necessário uma maior disponibilidade do nutriente no solo.

A Figura 7 mostra o comportamento das cinco espécies de *Eucalyptus* em relação à aplicação de fósforo. Com base nesses resultados, Furtini Neto et al. (1996) estabeleceram 3 grupos quanto ao comportamento da produção de matéria seca em relação à aplicação de fósforo: espécie com maior facilidade de adaptação em solos pobres e com resposta intermediária à adição de fósforo, *E. pilularis*; espécies com dificuldades de estabelecimento em solos pobres, porém com elevada resposta à aplicação de fósforo, *E. pellita*, *E. grandis* e *E. urophylla*; e espécie com dificuldade de adaptação em solos pobres e resposta pequena à aplicação do nutriente, *E. cloeziana*.

Tabela 4. Eficiência de absorção de fósforo (EAP)^a por mudas de cinco espécies de *Eucalyptus* submetidas a doses de fósforo.

Espécies	Doses de P(mg kg ⁻¹)			
	0	100	250	500
	mg de P/mg de raiz			
<i>E. cloeziana</i>	2,87	40,67	78,40	281,54
<i>E. grandis</i>	2,92	39,10	50,10	74,51
<i>E. pellita</i>	3,04	35,94	41,67	67,93
<i>E. pilularis</i>	5,03	56,72	91,94	113,24
<i>E. urophylla</i>	4,45	37,47	46,81	93,65

a = conteúdo de P na planta/matéria seca de raiz.

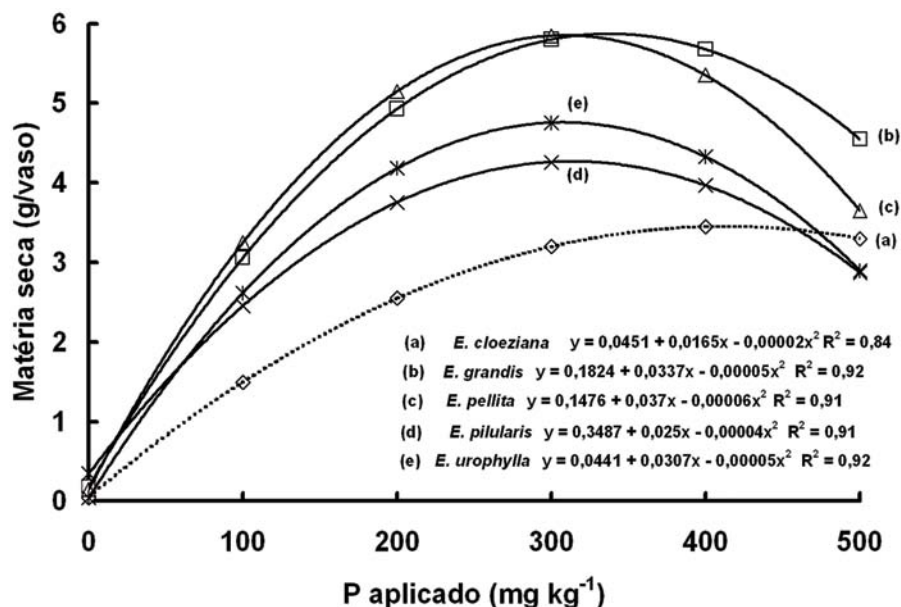
Fonte: adaptado de Furtini Neto et al. (1996).

Tabela 5. Eficiência de utilização de fósforo (EUP)^a por mudas de cinco espécies de *Eucalyptus* submetidas a doses de fósforo.

Espécies	Doses de P(mg kg ⁻¹)			
	0	100	250	500
	mg de MS mg de P ⁻¹			
<i>E. cloeziana</i>	231	179	346	102
<i>E. grandis</i>	278	507	749	494
<i>E. pellita</i>	336	540	1043	422
<i>E. pilularis</i>	334	428	477	357
<i>E. urophylla</i>	144	438	729	334

a = (matéria seca total)²/quantidade de P na biomassa.

Fonte: adaptado de Furtini Neto et al. (1996).

**Figura 7.** Produção de matéria seca total de cinco espécies de eucalipto em resposta à aplicação de fósforo.

Fonte: Furtini Neto et al., 1996.

4.3. Faixas adequadas e deficientes

As faixas adequadas e deficientes de fósforo nas folhas de espécies de *Eucalyptus* no estágio juvenil e adulto segundo diversos autores, estão apresentadas na Tabela 6. Nota-se que existe variação das faixas de interpretação em função do material genético e da idade.

A Figura 8 mostra a relação entre o teor de fósforo nas folhas e o crescimento do *Eucalyptus globulus* na Austrália. A faixa adequada estava compreendida entre 1,4 a 3,0 g kg⁻¹. Resultados similares foram obtidos para *Eucalyptus grandis* cultivado em latossolo vermelho escuro álico, na região de Luiz Antônio, em São Paulo. Nesse estudo, Ismael et al. (1998) encontraram que os níveis críticos foliares de fósforo foram de 1,43 e 1,35 g kg⁻¹, respectivamente, para o crescimento em altura e diâmetro das plantas aos seis meses após o plantio.

4.4. Monitoramentos nutricionais

Os levantamentos nutricionais dos plantios de eucaliptos mostram que a deficiência de fósforo tem sido menos freqüente que a de potássio nas regiões de Minas Gerais e São Paulo e, que a de cálcio e nitrogênio nas regiões do norte do Espírito Santo e sul da Bahia.

A Tabela 7 mostra a interpretação do estado nutricional do eucalipto em relação a fósforo para diferentes regiões. Nota-se que a amplitude dos teores foliares de fósforo na região sul da Bahia foram maiores quando comparadas às demais regiões. Comparando os teores obtidos com os considerados adequados pela literatura, observa-se que a deficiência de fósforo foi mais freqüente na região sul do estado de São Paulo, que é caracterizada por solos argilosos, ácidos e com alto teor de óxidos de ferro e alumínio (latossolo vermelho não férrico e férrico), ou seja, com alta capacidade de adsorção. Já para as regiões de solos mais arenosos, Bofete e Itatinga (neossolos quartzarênicos e latossolos arenosos) e sul da Bahia (argissolos e espodosolos), a deficiência foi raramente encontrada. Esses resultados mostram a necessidade de se priorizar os experimentos, visando determinar qual é a dose, forma, época e fonte adequada, nos solos arenosos e argilosos.

A Tabela 8 mostra a concentração de fósforo nas folhas de clones de *Eucalyptus*, no sul da Bahia, nas diferentes unidades de manejo. A deficiência de fósforo foi raramente encontrada nas unidades de manejo sob clima Aw (presença de déficit hídrico no inverno). Nas unidades de clima Af (temperaturas elevadas sem presença de déficit hídrico) a deficiência foi mais freqüente, com exceção feita para o espodosolo com lençol freático a 45 cm. Nesse tipo de solo, os plantios não apresentaram carência de fósforo, sendo que os nutrientes mais limitantes foram nitrogênio e enxofre.

Tabela 6. Faixas deficientes e adequadas das concentrações de fósforo nas folhas recém maduras de espécies de *Eucalyptus* no estágio juvenil e adulto.

Espécie	Faixa		Autor
	Deficiente	Adequada	
g kg ⁻¹			
Estádio juvenil			
<i>E. camaldulensis</i>	< 0,8	1,0-1,4	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. globulus</i>	< 1,0	1,4-2,6	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. globulus</i>	< 0,9	1,4-3,0	Judd <i>et al.</i> (1996)
<i>E. globulus</i>	< 0,6	1,5-3,8	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. grandis</i>	< 0,8	1,5-2,2	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. maculata</i>	0,4-0,5	1,0-2,6	Dell & Robinson (1993)
<i>E. pellita</i>	< 0,4	1,3-3,0	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>Eucalyptus</i> spp	< 0,8	1,0-1,2	Malavolta (1987)
<i>E. grandis</i>	< 0,7	1,0-3,0	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. nitens</i>	< 1,0	1,0-2,0	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. urophylla</i>	< 0,4	1,9-4,0	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. urophylla</i>	< 0,9	1,0-3,0	Boardman <i>et al.</i> (1997)
Varição	0,4-1,0	1,0-4,0	
Estádio adulto			
<i>E. camaldulensis</i>	< 0,7	1,8-2,2	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. globulus</i>	< 0,9	1,1-1,8	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. globulus</i>	< 0,9	1,3-2,7	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. grandis</i>	-	1,0-2,2	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	< 1,0	1,5-2,6	Dell <i>et al.</i> (1995)
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	< 1,0	1,2-1,7	Silveira <i>et al.</i> (2001)
<i>E. grandis</i>	< 1,1	1,7-2,2	Silveira <i>et al.</i> (1998 e 1999)
<i>E. saligna</i>	< 0,7	0,8-2,0	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. tereticornis</i>	< 1,0	1,7-2,5	Boardman <i>et al.</i> (1997)
<i>E. urophylla</i>	< 0,9	1,0-3,1	Dell <i>et al.</i> (1995)
Varição	0,7-1,1	0,8-3,1	

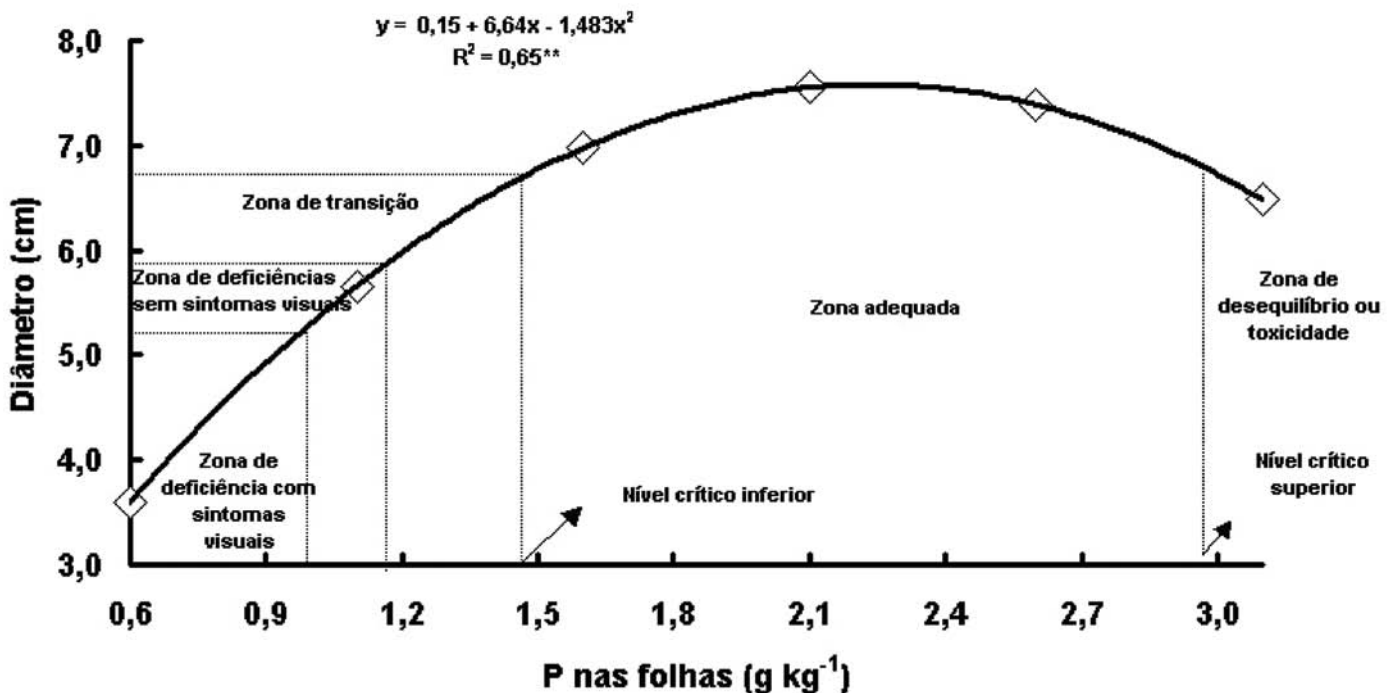


Figura 8. Relação entre o diâmetro de *Eucalyptus globulus*, aos 26 meses de idade, e o teor de fósforo nas folhas coletadas aos 12 meses de idade.

Fonte: adaptado de Judd *et al.* (1996).

Tabela 7. Concentrações foliares de fósforo em plantios de *Eucalyptus*, em diferentes regiões e suas interpretações.

Região	Fonte	Idade (meses)	Faixa de variação		Deficiente	Adequada	Acima da adequada
			Mínima	Máxima			
			g kg ⁻¹		(% da área amostrada)		
Bofete e Itatinga/SP	1	12 e 24	0,9	2,6	3	94	3
Itatinga/SP	2	12 a 60	0,9	2,0	5	95	0
Sul da Bahia	3	12	0,7	3,7	13	81	6
Sul do estado de SP	4	18	0,4	1,1	80	20	0
Sul do estado de SP	2	12 e 24	0,8	1,5	44	56	0
Vale do Paraíba/SP	4	18	0,8	1,4	38	62	0

Fonte: 1 - Silveira et al. (2002); 2 - Silveira et al. (1995b); 3 - Silveira et al. (2001); 4 - Sgarbi & Silveira (2001).

Tabela 8. Concentração de fósforo nas folhas de clones de *Eucalyptus*, aos 12 meses de idade, nas diferentes unidades de manejo e suas interpretações.

Unidade de Manejo	Textura	Observações	Faixa de variação		Deficiente	Adequada	Acima da adequada
			Mínima	Máxima			
			mg kg ⁻¹		(% da área amostrada)		
Clima Af¹							
Argissolo Amarelo	Areia/média/argila ou areia/argila	Mosqueado a 80-100 cm. Relevo mais ondulado	0,7	2,4	18	77	5
Argissolo Amarelo	Areia/média/argila	Mosqueado a 60 – 100 cm. Bem drenado	0,7	3,7	21	74	5
Argissolo Amarelo	Areia/média	Relevo Plano	0,8	2,2	10	85	5
Argissolo Amarelo	Areia/média/argila	Mosqueado a 60 cm. Relevo plano. Bh incipiente. Drenagem moderada	0,7	2,6	26	68	6
Espodossolo	Areia ou areia/média/argila	Presença de horizonte Bth (húmico)	0,8	2,5	27	66	7
Espodossolo	Areia ou areia/média/argila	Lençol Freático a 45 cm. Hidromorfismo. Cota inferior a 20 m	1,1	2,0	0	100	0
Clima Aw²							
Argissolo Amarelo	Areia/média/argila ou areia/argila	Sem mosqueado. Textura mais argilosa	0,8	2,4	8	84	8
Argissolo Amarelo	Areia/média/argila	Sem mosqueado	0,9	2,6	3	83	14
Argissolo Amarelo	Areia/média	Relevo Plano	0,8	3,4	4	94	2

1 - Clima Af: temperatura elevada sem estação seca. Temperaturas sempre maiores que 20°C. 2 - Clima Aw: temperaturas elevadas com chuva no verão e seca no inverno. As médias de temperatura dos meses é maior que 20°C e no mês mais frio do ano as mínimas são menores que 18°C.

5. RESPOSTA DO *Eucalyptus* À APLICAÇÃO DE FÓSFORO

Segundo Novais et al. (1982), a exigência de fósforo diminui com o aumento da idade, em razão disso, o nível crítico de P no solo é mais alto na fase inicial do desenvolvimento (Figura 9). Nesse estágio, o nível crítico de fósforo no solo arenoso e argiloso foi de 80 e 60 mg dm⁻³, respectivamente, diminuindo drasticamente na fase de manutenção da floresta. Nessa fase, o nível crítico para obtenção de produtividades de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em solos argilosos e de textura média/arenosa foi de 4,5 e 6,5 mg dm⁻³. O nível crítico de manutenção considerado por Novais et al. (1986) foi estabelecido em função da produtividade esperada e do tipo de solo. Esses resultados mostram a importância do fornecimento de fontes com alto teor de fósforo disponível na adubação de plantio, como os superfosfatos, com o objetivo de promover maior crescimento inicial da floresta.

Os valores de nível crítico de fósforo no solo variam em função do extrator utilizado. A maioria dos estudos para eucalipto foi realizado utilizando-se os extratores Mehlich-1, Bray-1 e Bray-2 (Novais et al., 1986; Gonçalves et al. 1986 e Neves et al., 1987). No entanto, Ismael et al. (1998) determinaram os níveis críticos de fósforo no solo pelos extratores Mehlich-1 e resina trocadora de íons, os quais foram mais elevados para a resina quando comparados aos obtidos pelo Mehlich-1. O nível crítico em latossolo vermelho não férrico com alto teor de Al para o crescimento em altura de *E. grandis*, aos 6 meses após o plantio, foi de 8 e 13 mg dm⁻³ para Mehlich-1 e resina, respectivamente. Os níveis críticos para crescimento em diâmetro foram menores que os encontrados para altura, sendo de 6 mg dm⁻³ para Mehlich-1 e 11 mg dm⁻³ para resina.

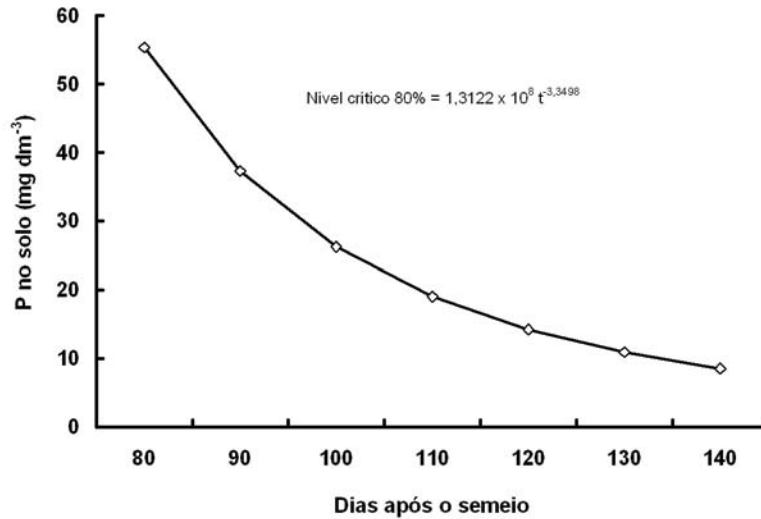


Figura 9. Variação do nível crítico de fósforo no solo, pelo extrator Mehlich-1, para que se tenha 80% do crescimento máximo estimado de mudas de eucalipto.

Fonte: Novais *et al.* (1982).

Os níveis críticos de fósforo obtidos em solos com diferentes teores de argila, para o crescimento de mudas de *E. grandis* foram maiores no extrator Bray-2, seguido pelo Bray-1 e Mehlich-1 (Neves *et al.*, 1987). Em solo com 70% de areia (grossa + fina), o nível crítico para o crescimento em altura de mudas de *E. grandis*, aos 85 de idade, foi de 24, 76,4 e 89,2 mg de P dm⁻³ pelos extratores Mehlich-1, Bray-1 e Bray-2, respectivamente. Em outro solo com 66% de argila, o nível crítico foi de 9,1, 30,7 e 35,5 g dm⁻³ obtido pelos extratores Mehlich-1, Bray-1 e Bray-2, respectivamente. Esses autores também verificaram que os níveis críticos de fósforo obtidos em diferentes tipos de solos pelos extratores utilizados correlacionaram com todas as características físicas testadas, exceção feita ao conteúdo percentual de argila. A ausência de correlação entre o teor de argila e os níveis críticos deve-se provavelmente as diferenças existentes entre os solos quanto à qualidade da argila.

Novais *et al.* (1995) mostraram a relação existente entre a textura do solo, a aplicação de fósforo e o crescimento de mudas de eucalipto (Figura 10). Os solos arenosos foram mais responsivos à aplicação de fósforo quando comparado aos argilosos, uma vez que apresentam menor adsorção

de fósforo. Ao comparar o latossolo vermelho amarelo de textura média (LVm), 17,6% de argila, com o latossolo vermelho não férrico argiloso, 74,7% de argila, verificam-se diferenças de produtividades entre os dois solos para doses crescentes de fósforo. Esses resultados mostram que quanto maior o teor de argila menor a produtividade do eucalipto para uma mesma dose de fósforo aplicada.

O efeito de fontes e doses de fósforo sobre a produtividade de *Eucalyptus grandis* é apresentada na Figura 11. O experimento foi instalado na região de Ribeirão Preto/SP, em latossolo vermelho não férrico de textura média (27-34% de argila) com teores de P-disponível pelo extrator resina na faixa de 3 a 4 mg dm⁻³. Todos os tratamentos receberam uma adubação complementar aos 45 dias de (kg ha⁻¹): 112 de uréia, 67 de KCl e 33 de FTE BR 08. Os fertilizantes fosfatados foram distribuídos em sulcos paralelos a linha de plantio aos 45 dias após o plantio. As doses recomendadas para se obter a máxima produção foram: 74 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples (411 kg ha⁻¹), 82 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de fosfato parcialmente acidulado – FAPS (315 kg ha⁻¹) e 107 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (238 kg ha⁻¹). O superfosfato simples foi superior

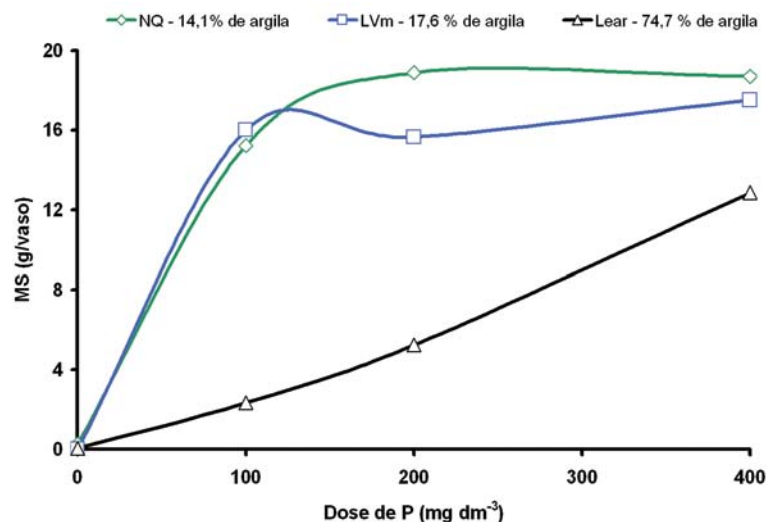


Figura 10. Efeito da aplicação de fósforo na forma de superfosfato triplo sobre a produção de matéria seca de mudas de eucalipto em solos com diferentes teores de argila.

Fonte: Novais *et al.* (1995).

quando comparado ao superfosfato triplo, provavelmente devido ao maior fornecimento de cálcio e principalmente enxofre. Rezende *et al.* (1983) também verificaram efeitos distintos de fontes de fósforo sobre a produtividade do eucalipto em latossolo vermelho amarelo, argiloso, na região do Vale do Jequitinhonha e em argissolo vermelho amarelo na região costeira do sul da Bahia. Na primeira região, foi constatada superioridade do superfosfato simples em relação ao termofosfato magnésiano, sendo esse efeito atribuído à presença de enxofre na sua composição. Na região sul da Bahia, o resultado foi inverso, sendo o termofosfato mais eficiente quando comparado ao superfosfato simples.

A superioridade do termofosfato encontrada por Rezende *et al.* (1983) também foi observada por Gava *et al.* (1997). Esses autores determinaram o efeito de diferentes fontes de fósforo sobre a produtividade de mudas de *Eucalyptus grandis*, em dois tipos de solos, neossolo quartzarênico e latossolo vermelho não férrico de textura média (Figura 12). Os resultados mostraram que o termofosfato foi o adubo que proporcionou o maior crescimento das mudas no neossolo quartzarênico, sendo superior 64% ao superfosfato simples, 57% ao fosfato parcialmente acidulado (FAPS). Por outro lado, apresentou a menor eficiência quando comparado

ao superfosfato simples e FAPS no latossolo. Nesse solo, o superfosfato simples foi superior 55% ao termofosfato e 34% ao FAPS. A resposta das mudas às fontes de fósforo estava mais relacionada aos efeitos secundários dos outros nutrientes que simplesmente ao fósforo.

A boa eficiência do termofosfato magnésiano em solos mais arenosos e ácidos também foi encontrada por Wichert (2001), em latossolo vermelho amarelo de textura média, na região de Taubaté/SP (Figura 13). Verificou-se maior produtividade do tratamento que recebeu termofosfato no sulco à profundidade de 10 cm. Não houve grande diferença quando se comparou esse tratamento com o superfosfato triplo aplicado em sulco a 20 cm de profundidade. Acredita-se que além do suprimento de fósforo, os efeitos positivos do termofosfato, que depende da acidez do solo para ser solubilizado, foram devido a uma melhoria global da fertilidade do solo através do fornecimento de Ca, Mg e micronutrientes. Constatou-se ainda que o local de aplicação do adubo fosfatado foi importante, sendo que o melhor resultado foi encontrado para o superfosfato triplo localizado à 20 cm de profundidade quando comparado a 10 cm de profundidade ou cova.

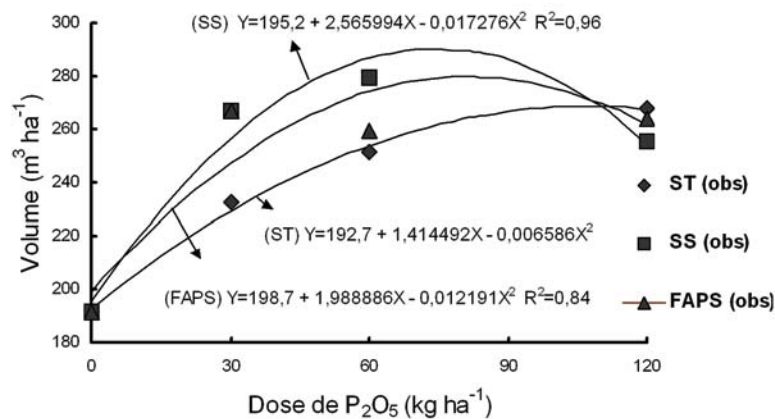


Figura 11. Efeito de doses e fontes de fósforo sobre a produtividade de *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade, em latossolo vermelho não férrico, na região de Ribeirão Preto/SP.

Fonte: Teixeira *et al.* (2000).

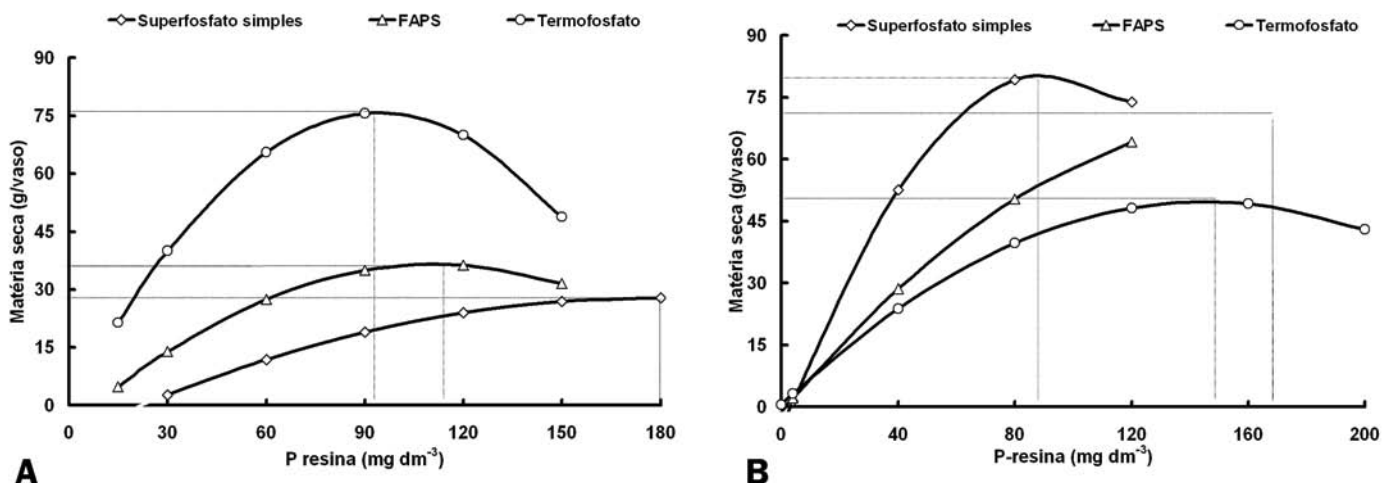


Figura 12. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, aos 90 dias de idade, em função das concentrações de fósforo recuperadas pela resina. As linhas descontinuas destacam os níveis de fósforo para obtenção da máxima produção das diferentes fontes e solo (A) neossolo quartzarênico e (B) latossolo vermelho não férrico.

Fonte: adaptado de Gava *et al.* (1997).

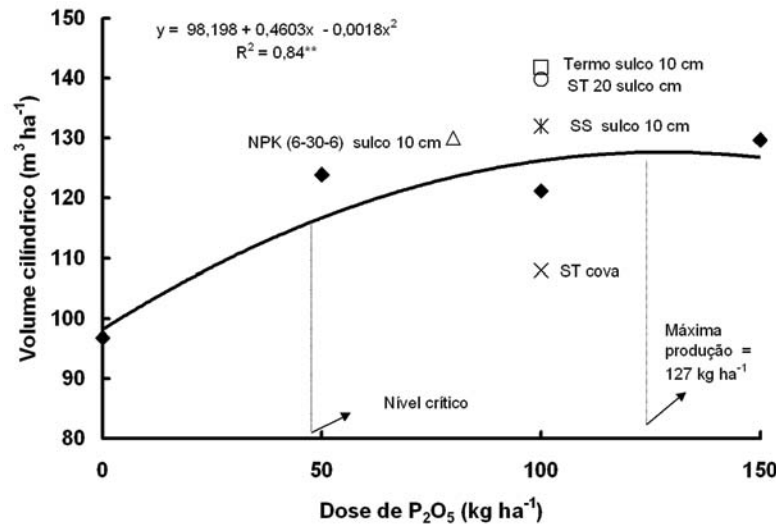


Figura 13. Resposta do *Eucalyptus grandis*, aos 25 meses de idade, à aplicação e localização de diferentes adubos fosfatados.

Fonte: Wichert (2001).

Gava (2003) comparou a eficiência do fosfato natural reativo com o superfosfato triplo em latossolo vermelho não férrico distrófico de textura argilosa, com as seguintes características químicas: pH $\text{CaCl}_2 = 3,5$; M.O. (g dm^{-3}) = 57; Presina (mg dm^{-3}) = 6; K (mmolc dm^{-3}) = 0,7; Ca (mmolc dm^{-3}) = 3; Mg (mmolc dm^{-3}) = 5; Al (mmolc dm^{-3}) = 27; CTC (mmolc dm^{-3}) = 197; V(%) = 4 e m(%) = 76. Os resultados mostraram melhor eficiência econômica quando o fósforo foi fornecido através de fonte solúvel em água, superfosfato triplo (Figura 14). O crescimento em altura para as doses de 250 e 450 kg ha^{-1} de fosfato reativo estava abaixo do obtido para 180 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e 890 kg ha^{-1} de fosfato reativo. Isso mostra que somente a maior dose de fosfato reativo aproximou-se da produtividade da fonte solúvel, indicando que o fósforo disponível (ácido cítrico 2%) no fosfato reativo não foi superior a 9%. As principais considerações desse estudo foram: o custo do fosfato natural reativo em termos de P_2O_5 disponível (ácido cítrico 2%) para o crescimento do eucalipto, comparativamente ao superfosfato triplo, é elevado; assumindo custos iguais para quantidades de uma ou outra fonte que forneçam quantidades iguais de P_2O_5 disponível à planta, respectivamente 890 kg ha^{-1} de fosfato reativo e 180 kg ha^{-1} de superfosfato triplo, o custo de transporte, armazenamento e aplicação inviabilizariam o uso do fosfato natural reativo.

Estudo realizado em solo arenoso, neossolo quartzarênico, também mostrou menor eficiência do fosfato natural reativo quando comparado a outras fontes de fósforo para o crescimento do eucalipto (Figura 15). As características químicas do solo da área experimental foram: pH $\text{CaCl}_2 = 4,1$; M.O. (g dm^{-3}) = 17; Presina (mg dm^{-3}) = 2; K (mmolc dm^{-3}) = 0,7; Ca (mmolc dm^{-3}) = 3; Mg (mmolc dm^{-3}) = 4; Al (mmolc dm^{-3}) = 5; CTC (mmolc dm^{-3}) = 39; V(%) = 20 e m(%) = 39. Esses resultados obtidos por Gava (2003) mostram que o uso de fosfato natural reativo em povoamentos de eucalipto deve ser repensado

principalmente, em solos que receberam calagem para fornecimento de Ca e Mg. Pois nesses solos, a eficiência dos fosfatos deve ser muito pequena ou até nula. Além dos aspectos técnicos, o econômico tem elevado peso na decisão, uma vez que o custo do kg de P_2O_5 do fosfato natural é mais alto quando comparado com o das fontes solúveis. Apesar dessas considerações, deve-se ressaltar que vários trabalhos mostram o aumento de produtividade do eucalipto com a aplicação de fosfatos naturais. Leal *et al.* (1988) citado por Barros *et al.* (1992) encontraram resposta positiva do eucalipto à aplicação de fosfato natural (Figura 16). Esses autores recomendam 1000 kg ha^{-1} de fosfato (50 a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico 2%) aplicado em área total ou 500 kg ha^{-1} (25 a 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico 2%) aplicado em faixas de 1,0-1,5 m, sendo incorporado antes do plantio, em ambos os casos.

Gava (2003) verificou melhor resposta do eucalipto à aplicação de fósforo na forma de superfosfato triplo quando na presença de calcário dolomítico (300 kg ha^{-1} no sulco de plantio). O estudo foi realizado em latossolo vermelho não férrico distrófico de textura argilosa com as seguintes características químicas: pH $\text{CaCl}_2 = 3,6$; M.O. (g dm^{-3}) = 48; Presina (mg dm^{-3}) = 3; K (mmolc dm^{-3}) = 1,7; Ca (mmolc dm^{-3}) = 3; Mg (mmolc dm^{-3}) = 2; Al (mmolc dm^{-3}) = 30; CTC (mmolc dm^{-3}) = 234; V(%) = 3 e m(%) = 82. A máxima produção foi obtida com a aplicação de 111 e 104 kg ha^{-1} de P_2O_5 na presença e ausência de calagem, respectivamente (Figura 17). Nesse ponto, o ganho de produtividade alcançado pela aplicação de calcário dolomítico foi de 22% (76,7 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ na presença e 62,8 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ na ausência). Provavelmente, a aplicação de calcário proporcionou aumento do pH do solo, neutralizando os sítios de adsorção de fósforo nos óxidos de ferro e alumínio ($\text{OH}^- \times \text{H}_2\text{PO}_4^-$). Além desse efeito, deve ter ocorrido complexação de Fe^{+2} , $+3$ e Al^{+3} , na forma de hidróxidos, diminuindo dessa forma a precipitação do fósforo por esses íons presentes na solução do solo.

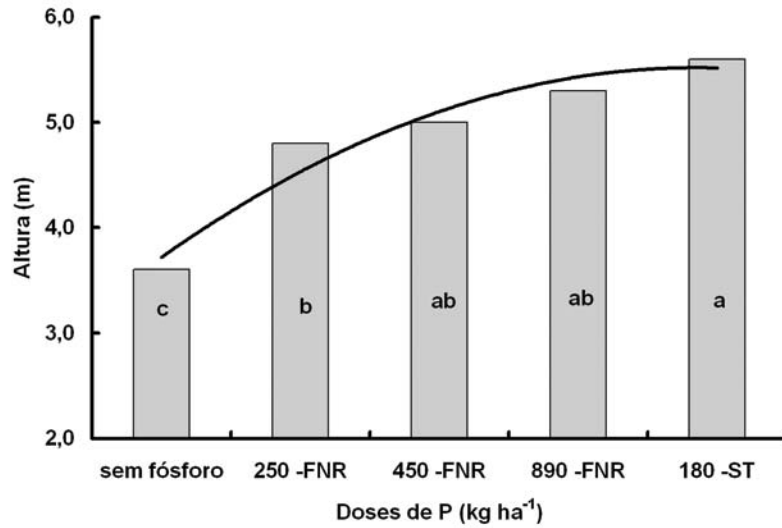


Figura 14. Efeito comparativo entre fosfato natural reativo e superfosfato triplo sobre o crescimento inicial do *Eucalyptus grandis*, aos 9 meses de idade, em latossolo vermelho não férrico de textura argilosa (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade).

Fonte: Gava (2003).

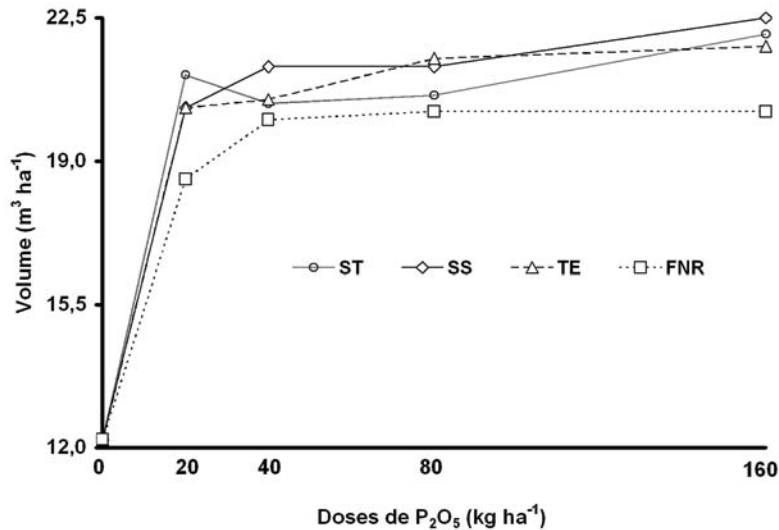


Figura 15. Efeito comparativo entre doses de diferentes fontes fosfatadas sobre o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis*, aos 14 meses de idade, em neossolo quartzarênico.

Fonte: Gava (2003).

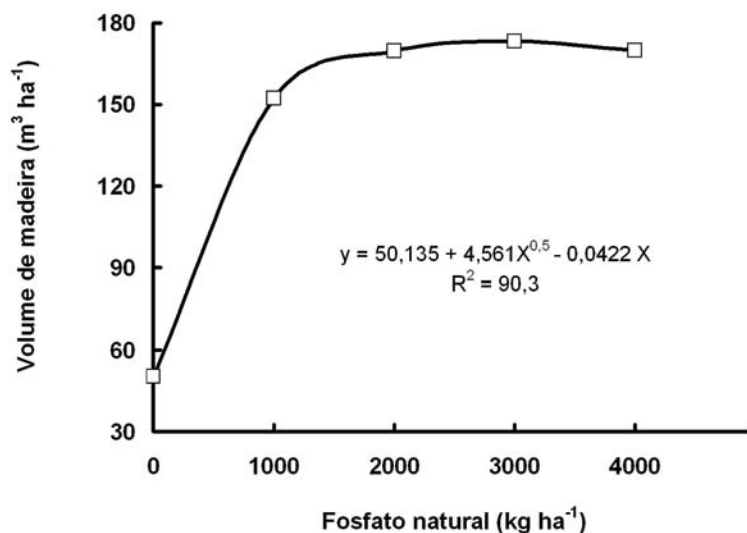


Figura 16. Volume de *Eucalyptus grandis*, aos 6,5 anos de idade, em resposta à aplicação de fósforo.

Fonte: Leal citado por Barros et al. (1992)

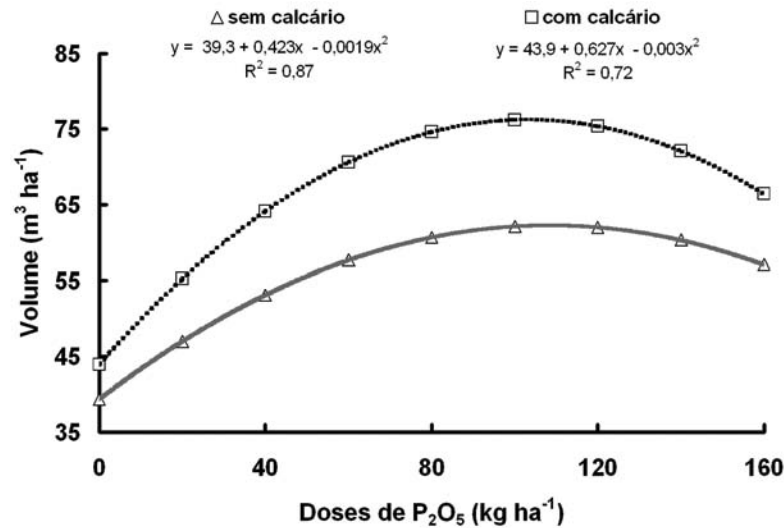


Figura 17. Resposta do *Eucalyptus grandis* à aplicação de fósforo, aos 4 anos de idade, na presença e ausência de calagem.

Fonte: Gava (2003).

6. RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO FOSFATADA

6.1. Localização

A localização da adubação fosfatada de plantio deve levar em consideração 2 fatores, capital disponível e a topografia do terreno segundo Malavolta *et al.* (2002). As seguintes condições são consideradas:

- Topografia favorável e disponibilidade de capital: deve-se realizar a adubação corretiva em área total ou faixa seguida de incorporação com adubos de alta solubilidade ou fosfatos naturais reativos.
- Topografia favorável e menor disponibilidade de capital: deve-se realizar a aplicação em sulco de plantio. O uso de fosfato natural reativo não deve ultrapassar 25% da dose total recomendada.
- Topografia desfavorável: deve-se realizar a aplicação em cova com o uso de fontes solúveis.

Caso seja detectada deficiência de fósforo através de monitoramento nutricional entre 12 e 24 meses de idade, realizar adubação de correção ou manutenção, entre 18 e 30 meses, com o uso de fontes solúveis como superfosfato simples, superfosfato triplo ou MAP. A aplicação poderá ser realizada sobre a superfície do solo em área total em solos arenosos. Normalmente, as raízes ativas nesses solos encontram-se nos primeiros centímetros. Em solos argilosos, deve-se dar preferência para a aplicação em sulcos superficiais de 10-15 cm de profundidade, em entrelinhas alternadas, desde que não haja a presença de tocos nas entrelinhas.

Às vezes devido a problemas operacionais não é possível aplicar o fósforo no sulco ou cova de plantio. Apesar de não ser a forma mais adequada, nessa situação, a aplicação deve ser feita através de duas covetas de 15 cm de profundidade localizadas ao lado da muda.

Em algumas ocasiões tem se observado a aplicação de fósforo em superfície, sem incorporação, 15-30 dias após o plantio. Essa forma não deve ser utilizada nem mesmo em solos extremamente arenosos. Outra recomendação que não deve ser utilizada é a aplicação de fosfato natural à lâncõ ou em filete contínuo sobre o solo, sem incorporação, pois a eficiência do fosfato depende do contato com o solo,

uma vez que os íons H⁺ fornecidos pelo solo ou planta é que serão responsáveis pela sua solubilização (Novais & Smith, 1999).

6.2. Fontes de fósforo

A Tabela 9 mostra as concentrações de fósforo e outros nutrientes nos principais fontes de fósforo. Os fertilizantes mais comumente utilizados nos plantios de eucalipto no Brasil são o superfosfato simples ou triplo seja sozinho ou juntamente com nitrogênio e potássio (fórmula NPK 06-30-06), aplicados na cova ou sulco de plantio, e os fosfatos naturais reativos aplicado em faixas de 1,0 a 1,5 m de largura e incorporado ou em sulco de 15-30 cm de profundidade.

A escolha da fonte de fósforo deve levar em consideração os elementos secundários além da solubilidade do fósforo. Muitas vezes, a maior produtividade alcançada pode não estar associada somente a disponibilidade de fósforo e sim aos efeitos dos elementos secundários. Como por exemplo, a aplicação de superfosfato simples fornece enxofre e diminui os efeitos tóxicos do Al (gesso), enquanto, a aplicação de termofosfato magnésiano corrige a acidez e fornece Ca e Mg.

Na Tabela 10 são apresentadas as principais fontes de fósforo e as condições consideradas mais adequadas para o uso de cada uma delas.

Segundo Gava (2003) a questão que se tem debatido sobre as fontes de fósforo está, principalmente, relacionada ao uso do fosfato natural reativo. O autor faz uma análise de comparação desses fosfatos com fontes solúveis de fósforo. Os principais pontos a serem colocados dizem respeito a: à garantia que o produto oferece em termos de fósforo solúvel, no caso em ácido cítrico 2%; ao preço da fonte com base no teor de P₂O₅ que estará disponível à planta, que via de regra é medido pelo teor solúvel ou que seja disponível à planta no momento que ela necessite. Neste sentido algumas questões devem ser respondidas: quando se aplica fosfato natural reativo, qual o teor solúvel em ácido cítrico 2% que se deve considerar como disponível à planta no momento que ela necessita, 9%, 18% ou 30%; qual é o

equivalente em termos de P_2O_5 disponível à planta entre o fosfato natural reativo e outros fosfatos como o superfosfato simples ou superfosfato triplo?

Responder estas questões é fundamental para se recomendar o uso de uma ou outra fonte. Porém, isso nem sempre é fácil e requer experimentação. Entretanto, é possível fazer um exercício considerando alguns pontos fundamentais, visando à escolha de uma ou outra fonte, conforme segue. Alguns novos pontos devem ser considerados:

a) O fato dos superfosfatos apresentarem teores solúveis em água dá a eles maiores garantias de aproveitamento, principalmente em solos com pH mais elevado, em relação ao fosfato natural que apresenta maior solubilidade em meio ácido;

b) O valor do quilograma de P_2O_5 solúvel, por exemplo no superfosfato triplo, é menor do que o mesmo valor no fosfato reativo (preços atuais: kg de fosfato reativo = 117 dólares/90 kg de P_2O_5 = 1,3 dólares/kg e superfosfato triplo = 150 dólares/180 kg de P_2O_5 = 0,83 dólares/kg). Portanto, o custo do kg do P_2O_5 do superfosfato triplo nessa condição representa 36% (0,83/1,3) a menos que o do fosfato reativo;

c) Se aceite um teor aproveitável de 18% de fósforo disponível às plantas para o fosfato reativo o valor passaria a ser de 0,64 dólares/kg, implicando numa economia de 15 dólares, favorável ao fosfato reativo, para uma adubação com 80 kg de P_2O_5 ha⁻¹ via fosfato reativo, em relação ao superfosfato triplo;

d) A diferença entre a dose aplicada de P_2O_5 , via fosfato reativo, seria de 40 kg ha⁻¹ para menos, caso o aproveitamento fosse de 9%, reduzindo para 20 kg ha⁻¹, caso o aproveitamento subisse para 13,5%, valor intermediário;

e) Tomando como base a curva de resposta ao P_2O_5 apresentada na **Figura 14**, com dose de 80 kg ha⁻¹ para a máxima produção, a utilização de 20 ou 40 kg ha⁻¹ a menos significa uma perda em produção muito acima da economia feita com a aplicação de fosfato reativo com base no teor de 18%.

Portanto, ainda que o assunto mereça uma investigação, a conclusão pela escolha de uma fonte solúvel, pelo menos com base nos dois aspectos levantados, é a mais recomendada.

A incerteza da disponibilidade do fósforo do fosfato reativo no momento em que a planta necessita é elevada, aumentando com isso os riscos do insucesso da fertilização. O uso do fosfato reativo apenas seria justificável se o valor do kg de P_2O_5 fosse tal que permitisse uma dose mais elevada do produto a fim de garantir as variações de tamponamento na liberação de fósforo. Em resumo: é como comprar uma moeda cujo câmbio é altamente flutuante e cuja certeza só existe para as cotações mínimas, quando se pode, pelo mesmo valor, comprar uma outra moeda, cujo câmbio não flutua e há certeza da cotação máxima.

Malavolta (2003) recomenda que a dose de fosfato natural reativo não deve ultrapassar 25% da dose total de P_2O_5 recomendada. Por exemplo, para solos ácidos com 2 mg dm⁻³ de P-resina e 25% de argila, a dose de P_2O_5 recomendada com base em Gonçalves *et al.* (1996) seria de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Desse total, a dose máxima de fosfato natural reativo, com 9% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico seria de 250 kg ha⁻¹. No entanto, em cima dessa recomendação deve-se também levar em consideração aspectos técnicos (tipo de fosfato, acidez do solo, teor de Al e Fe do solo e teor de argila) e econômicos (eficiência e custo do kg de P_2O_5).

6.3. Doses adequadas

Tabela 9. Características dos principais adubos fosfatados usados no Brasil.

Adubo	P_2O_5 (*)				N	Ca	Mg	S
	Total	HCl	CiNH ₄	H ₂ O				
Solúveis								
	(%)							
Superfosfato simples	20	18	18	17	-	19	-	12
Superfosfato triplo	45	40	44	38	-	11	-	1
Fosfato monoamônico	52	50	52	50	10	-	-	-
Fosfato diamônico	45	42	44	40	17	-	-	-
Termofosfato	19	16	13	0	-	2	9	-
Parcialmente acidulados	26	10	12	8	-	25	-	6
Multifosfato magnésiano	18	-	18	-	-	18	3,5	11
Insolúveis								
Fosforitas								
Olinda	26	5	1	-	-	29	-	-
Hiperfosfato (Gafsa)	27	12	6	-	-	28	-	-
Arad	34	4	-	-	-	-	-	-
Norte Carolina	30	5	-	-	-	-	-	-
Flórida	30	7	5	-	-	29	-	-
Apatitas								
Patos de Minas	23	4	1,5	-	-	25	-	-
Alvorada	33	6	2,5	-	-	29	-	-
Jacupiranga	33	2	-	-	-	-	-	-
Araxá	36	5	2	-	-	29	-	-
Catalão	37	2,5	0,5	-	-	30	-	-
Tapira	37	2,5	2	-	-	30	-	-

(*) HCl = ácido cítrico a 2%, relação 1/100; CiNH₄ = citrato de amônio pH 7,0, relação 1/100, + solúvel em água.

Fonte: modificado de Malavolta, (1988).

Tabela 10. Fontes de fósforo e condições mais adequadas para o seu uso.

Fontes	Condição mais adequada para uso
Superfosfato simples $Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4$	Fonte solúvel, apresenta excelente resultado quando utilizada na cova ou sulco de plantio. É recomendada para solos de cerrado com baixo teor de matéria orgânica (< 20 g dm ⁻³), enxofre (< 5 mg dm ⁻³) e com altos teores de alumínio. Não é recomendada para solos com pH em CaCl ₂ maior que 7.
Superfosfato triplo $Ca(H_2PO_4)_2$	Fonte solúvel, apresenta excelente resultado quando utilizada na cova ou sulco de plantio. O seu uso em solos com baixo teor de matéria orgânica (enxofre) deve estar associado a aplicação de gesso como corretivo antes do plantio ou a uma fonte de S na cobertura (sulfato de amônio). Não é recomendada para solos com pH em CaCl ₂ maior que 7.
Termofosfato magnesiano [3 MgO CaO P ₂ O ₅ 3(CaO SiO ₂)]	A solubilidade depende da acidez do solo. É recomendado para solos ácidos e naqueles com topografia acidentada, cuja calagem seja de difícil aplicação, pois nesse caso, além de ser boa fonte de P, corrige o solo (silicatos e óxidos) e fornece Ca e Mg.
Fosfatos naturais 3Ca ₃ (PO ₄) ₂ CaX onde X pode ser: flúor (F) hidróxido (OH ⁻) carbonato (CO ₃ ⁻²)	Produzem melhores efeitos em solos ácidos, ricos em matéria orgânica, com baixo teor de Al trocável e com boa distribuição da precipitação durante o ano. Dentro dos fosfatos naturais deve se dar preferência para o uso dos sedimentares (fosforitas) em relação aos de origem ígnea (apatitas). Não é recomendado para aplicação superficial e também em solos que receberam calagem (pH CaCl ₂ > 6,0
Fosfato monoamônio (MAP) NH ₄ H ₂ PO ₄	São excelentes fontes quando se deseja fornecer nitrogênio juntamente com o fósforo. Para uso no plantio, são recomendadas para solos com pH mais elevados (pH CaCl ₂ > 6,5). Além disso, por apresentarem alta solubilidade podem ser utilizadas em adubações corretivas em povoamentos implantados.
Fosfato diamônio (DAP) (NH ₄) ₂ HPO ₄	
Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)	Fonte muito utilizada em adubos líquidos. Para solos de pH alto, com abundância de Ca, pode ser uma fonte alternativa de P.

A Tabela 11 recomenda as doses de fósforo da adubação de plantio em função do teor de P disponível em resina e do teor de argila do solo. Para um neossolo quartzarênico (> 90% de areia) com 2 mg de P dm⁻³, a dose utilizada seria de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto que para o mesmo teor de fósforo no latossolo vermelho não férrico (> 50% de argila), a dose seria o dobro.

Para locais em que não haja experimentação, Malavolta (2002) sugere que a dose de fósforo utilizada leve em conta o acúmulo anual de fósforo e o teor de argila do solo (f=2 para solos arenosos, f=3 para solos de textura média e f=4 para solos argilosos). Assim considerando que o acúmulo de fósforo para *E. grandis* aos 6 anos foi de 30 kg ha⁻¹ (Bellote, 1979), a dose de P₂O₅ seria de 60 (30 x 2), 90 (30 x 3) e 120 (30 x 4) kg ha⁻¹ para solos arenosos, textura média e argilosos, respectivamente.

Tabela 11. Recomendação de fósforo para *Eucalyptus*, de acordo com o teor de argila e de fósforo disponível do solo (camada de 0-20 cm).

Teor de argila (%)	Teor de P-resina (mg dm ⁻³)			
	0-2	3-5	6-8	>8
	kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅			
< 15	60	40	20	0
15-35	90	70	50	20
> 35	120	100	60	30

Fonte: Gonçalves et al. (1996).

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- BALLONI, E.A. **Fertilização florestal**. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 1978, 34p.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; Leal, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forestry Journal**, v.160, p.7-12. 1992.
- BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**, n.26/27, p.17-28. 1993.
- BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade**. Piracicaba, 1979. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BOARDMAN, R; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J.; WEBB, M.J. Forest plantations. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant Analysis an Interpretation Manual**. Collingwood: CSIRO, 1997. cap.10, p.505-566.
- CEPEA – Centro de estudos avançados em economia aplicada. ESALQ/USP, 2002. (<http://cepea.esalq.usp.br>).
- DELL, B. Diagnosis of nutrient deficiencies in Eucalypts. In: Attiwill, P.M. & Adams, M.A. (Eds.). **Nutrition of Eucalypts**, Collingwood, CSIRO Publishing. 1996. p.417-40.
- DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104p.

- DELL, B.; ROBINSON, J.M. Symptoms of mineral nutrition deficiencies and the nutrient concentration ranges in seedlings of *Eucalyptus maculata* Hook. **Plant and Soil**, v. 155, p.255-261, 1993.
- FURTADO, E.L.; SANTOS, C.A.G.; SAMBUGARO, R. **Doenças em viveiros de *Eucalyptus*: diagnose e manejo**. Piracicaba, RR Agroflorestal, 2003, 32p.
- FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; GODOY, M.F.; NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **Revista Árvore**, v.20, n.1, p.17-28, 1996.
- GAVA, J.L. Efeito comparativo de fontes e doses de fósforo em plantios de eucalipto. **Relatório Técnico da Companhia Suzano de Papel e Celulose**, 25p, 2003.
- GAVA, J.L.; GONÇALVES, J.L.M.; SHIBATA, F.Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.497-504, 1997.
- GONÇALVES, J.L.M. **Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1994, 84p. (Tese de Livre Docência).
- 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 Árvore**, v.10, n.1, p.91-104, 1986.
- GONÇALVES, J.L.M.; RAIS, B.VAN; GONÇALVES, J.C. Florestas. In: RAIS, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLAN, A.M.C. (Eds). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1996, p.245-259.
- ISMAEL, J.J.; VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; ALVARENGA, S.F.; VALLE, C.F.; FERREIRA, M.E.; BANZATTO, D.A. Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em quatro tipos de solos. **Scientia Forestalis**, n.54, p.29-40, 1998.
- JUDD, T.S.; BENNETT, L.T.; WESTON, C. J.; ATTIWILL, P. T.; WHITEMAN, P. H. The response of growth and foliar nutrients to fertilizer in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, v.82, p.87-101, 1996.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; BORA, N.K.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. I. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus* Hybrid seedlings. **Indian Forester**, v.92, n.4, p.264-268. 1966.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. **Indian Forester**, v.96, n.10, p.787-90, 1970b.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. III. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus grandis* seedlings. **Indian Forester**, v.94, n.11, p.831-34, 1968.
- KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. IV. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus globulus* seedlings. **Indian Forester**, v.96, n.6, p.453-56, 1970a.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 1980, 253p.
- MALAVOLTA (2002). **Tópicos de nutrição e adubação do eucalipto**. RR Agroflorestal, Piracicaba, 25p, 2002.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5a ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 1988, 292p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, E.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas (princípios e aplicações)**, 2a ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego, Academic Press, 2a ed., 1995. 888p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Berna, International Potash Institute, 1978. 593p.
- MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.3, p.353-362, 1990.
- NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MUNIZ, A.S. Níveis críticos de fósforo em diferentes solos e extratores químicos para o crescimento de mudas de eucalipto. **Acta Forestalia Brasiliensis**, v.2, n.1, p.63-79, dez.1987.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P.; VILLANI, E.M.A.; TEIXEIRA, J.L.; LEAL, P.G.L. Avaliação da eficiência do fosfato de Norte Carolina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. **Resumos**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995, p.2214-2216.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. Níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, v.10, n.1, p. 105-111, 1986.
- NOVAIS, R.F.; RÊGO, A.K.; GOMES, J.M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, v.6, n.1, p.29-37, 1982.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999, 399p.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.C.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, v.15, n.1/2, p.8-16, 1984.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.11, n.1, p.1-15, 1987.
- REZENDE, G.C.; GONÇALVES, J.C.; SIMÕES, J.W. Competição entre fertilizantes fosfatados em plantios de eucalipto. **Silvicultura**, v.8, n.28, p.451-454, 1983.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**, n.56, p.155-169, 1999.
- SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura (www.sbs.org.br), 2000.

- SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura (www.sbs.org.br), 2002.
- SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. *Ciência Florestal*, v.11, n.1, p.45-53, 2001.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R.L.V.A. Monitoramento nutricional e da fertilidade do solo em plantios de eucalipto na Votorantim Celulose e Papel, no sul do estado de São Paulo. **Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel**, 43p, 2001.
- SILVEIRA, R.L.V.A. Monitoramento nutricional em plantios de clones de *Eucalyptus* na região sul da Bahia. **Relatório de pesquisa da Bahia Sul Celulose**, 61p, 2000.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, A.J. Avaliação do estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus* pelo método do nível crítico e DRIS. **Relatório de pesquisa da Bahia Sul Celulose**, 82p, 2001.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *E. grandis* da região de Itatinga/SP. II. Micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995a. **Resumos expandidos**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995a. p.899-901.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *E. grandis* da região de Itatinga/SP. I. Macronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995b. **Resumos expandidos**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995b. p.896-898.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, J.L.M.; GONÇALVES, A.N.; BRANCO, E.F. Levantamento e estudo do mercado e uso de fertilizantes em florestas brasileiras. **Relatório técnico**, Piracicaba, IPEF/ESALQ, 1995c, 117p.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; ANDRADE, T.A. Monitoramento nutricional do clone C219 na unidade de Luiz Antônio. **Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel**, 13p, 2003.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnóstico visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e Fertilização Florestal Piracicaba**. IPEF, 2000. p.79-104.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; MOREIRA, A. Monitoramento Nutricional na Lwarcel. **Relatório de Assessoria e Pesquisa**. 62p. 1999.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; POMPERMAYER, P.N. Monitoramento Nutricional na Siderúrgica Barra Mansa. **Relatório de Pesquisa e Assessoria**, 92p. 1998a.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. Piracicaba, Potafos, 2001a, 32p.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; LOPES, G.A.; ANDRADE, A.; BENEDETTI, V. Caracterização da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em diferentes condições edafoclimáticas. **Relatório de pesquisa da Faber-Castell**, 22p, 2001b.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; SILVEIRA, R.I.; HIGASHI, E.N. Monitoramento nutricional nos povoamentos de *Eucalyptus* pelos métodos do nível crítico e DRIS. **Relatório de pesquisa da Eucatex**, 29p. 2002.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96, trabalhos, Águas de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Sociedade Latinoamericana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.
- TEIXEIRA, P.C.; NOVAIS, R.F.; VALLE, C.F. Fontes e doses de fertilizantes fosfatados em plantações de *Eucalyptus grandis*. In: XXV REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, VIII REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, III REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO – FERTIBIO 2000. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Microbiologia, Santa Maria, 2000. CD ROM.
- WICHERT, M.C.P. Competição entre fontes fosfatadas em área de cultivo mínimo do solo. **Revista O Papel**, 2001.