

**Anais da 46^a Reunião Técnico-Científica do
Programa Temático de Silvicultura e Manejo
“Nutrição e Fertilização Florestal”**

**Dias 10 e 11 de outubro de 2012
Porto Seguro, Bahia, Brasil**

**José Henrique Bazani, ESALQ/USP
Rodrigo Eiji Hakamada, International Paper
José Carlos Arthur Junior, IPEF
José Leonardo de Moraes Gonçalves, ESALQ/USP**



Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

SÉRIE TÉCNICA IPEF



IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS

Série Técnica. IPEF (ISSN 0100-8137) é publicada sem periodicidade regular pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) em convênio com o Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. *Série Técnica. IPEF* divulga trabalhos apresentados em reuniões técnicas e científicas promovidas pelo IPEF.

Os manuscritos devem ser submetidos à Comissão Editorial em três cópias. Inicialmente, somente manuscritos impressos são necessários. Após a aceitação do trabalho, será solicitado o manuscrito em formato digital. Para maiores informações contate:

Editora Executiva
IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 530
13400-970 - Piracicaba, SP – Brasil
Fone: (19) 2105-8618
Fax: (19) 2105-8603
E-mail: scientia.forestalis@ipef.br

O conteúdo e as opiniões apresentadas nos trabalhos publicados não são de responsabilidade de *Série Técnica. IPEF* e não representam necessariamente as opiniões do IPEF.

Série Técnica. IPEF (ISSN 0100-8137) teve início em 1979.

COMISSÃO EDITORIAL/EDITORIAL BOARD

Editor Chefe / Editor-in-chief

Prof. Dr. Walter de Paula Lima
Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil

Conselho Editorial / Editorial Board

Dr. Arno Brune – Lúrio Green Resources, Nampula, Moçambique
Dr. Dário Grattapaglia – EMBRAPA, Cenargen, Brasília, DF, Brasil
Prof. Dr. José Luiz Stape – North Caroline State University, Raleigh, USA
Dr. Niro Higuchi – INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Editora Executiva / Executive Editor

Kizzy França
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Editoração e Diagramação / Design and Composition

Luiz Erivelto de Oliveira Júnior
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Coordenação do evento

José Leonardo de Moraes Gonçalves
Professor Doutor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP
Luciana Duque Silva
Professora Doutora do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP
José Carlos Arthur Junior
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil
Helton Maycon Lourenço
Especialista em Solos, Nutrição e Manejo Florestal da Veracel Celulose S/A

Equipe de Apoio do evento

Aline Formággio de Oliveira Falcão
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil
Olicina Maria de Góes
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Apresentação

A competitividade das florestas plantadas no Brasil passa, sem sombra de dúvidas, pelo eficiente manejo nutricional das árvores, sendo este responsável por 30 a 50% da evolução da produtividade florestal ao longo dos anos. Em contrapartida, o custo com fertilizantes e sua aplicação em campo remetem à uma parcela significativa do desembolso inicial para formação das florestas.

A 46ª Reunião Técnico-Científica do Programa de Silvicultura e Manejo do IPEF, ocorrida nos dias 10 e 11 de outubro de 2012 na cidade de Porto Seguro (BA), trouxe à tona a discussão sobre o tema fertilização de florestas plantadas apresentando atualizações sobre as práticas silviculturais que envolvem a nutrição das árvores, além da exposição de novos conceitos, questionamentos e perspectivas futuras. Representantes das empresas filiadas (setor produtivo), das universidades (academia) e das empresas produtoras de fertilizantes durante as apresentações e as visitas de campo debateram mudanças e ajustes necessários ao processo de produção de floresta plantada. Neste documento estão reunidas, em forma de capítulos, as principais discussões.

Às empresas filiadas coube a apresentação das técnicas de aplicação de fertilizantes, as preocupações com a qualidade do insumo e a tecnologia de aplicação, que influenciam diretamente na uniformidade de distribuição de nutrientes dentro do talhão. Aspectos relacionados às metodologias de recomendação de fertilizantes também foram abordados durante as discussões. As empresas produtoras de fertilizantes trouxeram inovações disponíveis no mercado, com preços competitivos e com grande expectativa de sucesso para ciclos florestais. Dentre elas destacam-se a tecnologia de proteção da uréia e do fósforo que objetivam aumentar a eficiência de utilização destes nutrientes, os produtos de liberação controlada, a inclusão de enxofre elementar nas misturas NPK e as misturas granuladas, com maior homogeneidade entre os nutrientes.

Foram apresentados os resultados iniciais da “Rede Aduba”, projeto que visa averiguar as recomendações nutricionais praticadas atualmente com os materiais genéticos em vigor, a fim de se detectar possíveis alterações e revisões nos níveis críticos dos macronutrientes para a cultura do eucalipto. Outro destaque é o capítulo que apresenta a síntese de 10 anos de estudos sobre ciclagem de nutrientes desenvolvidos pela parceria ESALQ-CIRAD na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga. São discutidas e apresentadas informações sobre as interações entre fertilização e arranque inicial da floresta, a dinâmica de nutrientes, a fertilização de cobertura e o efeito da substituição do K por Na em floresta de eucalipto.

Um novo conceito de intensificação ecológica promovido pelo consórcio entre eucalipto e leguminosas revelou o potencial de utilização desta estratégia para maximizar o uso dos recursos naturais (nutrientes, luz e água) disponíveis às plantações.

Diante da relevância do tema e das implicações para o setor, o PTSM disponibiliza as discussões ocorridas durante seus encontros, no intuito de contribuir e de fortalecer o setor florestal brasileiro, assegurando a competitividade de nossas florestas plantadas.

Coordenadores

Sumário (Contents)

Aspectos do manejo de nutrientes na Veracel	7
Helton Maycon Lourenço; Sérgio Ricardo Silva	
Dez anos de pesquisa sobre os ciclos biogeoquímicos em ecossistemas de <i>Eucalyptus</i> no Brasil: consequências para a fertilização das plantações comerciais.....	19
Jean-Paul Laclau; José Leonardo de Moraes Gonçalves; Rildo Moreira e Moreira; Jean-Pierre Daniel Bouillet; Yann Nouvellon	
Efeito da associação de leguminosas no ciclo de nitrogênio nas plantações de eucaliptos.....	26
Jean-Pierre Daniel Bouillet; Maureen Voigtlaender; Jean-Paul Laclau; José Leonardo de Moraes Gonçalves; José Luiz Gava; Fernando Palha Leite; Rodrigo Eiji Hakamada; Louis Mareschal; André Mabiala; Yann Nouvellon	
Respostas às fertilizações com doses crescentes de N-P-K em quatro sítios florestais	37
Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo; Rodrigo Eiji Hakamada; Daiana Queiroz; Jarbas Silva Borges; José Leonardo de Moraes Gonçalves	
Volatilização de N em plantações de eucalipto fertilizadas com ureia	45
Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo; José Carlos Arthur Junior; José Leonardo de Moraes Gonçalves	
Manejo de solos e nutrição de plantas na ArcelorMittal BioFlorestas	51
Roosevelt de Paula Almado; Lafayette Gonçalves Campelo Martins	
Nutrição de plantações de eucalipto em áreas do cerrado de Minas Gerais	58
Sharlles Christian Moreira Dias; David Evandro Fernandes; Carlos Eduardo Afonso	
Estudos de caso em fertilização florestal: qualidade da operação, do fertilizante e da recomendação de fertilização.....	66
Rodrigo Eiji Hakamada; Cristiane Camargo Zani de Lemos; Guilherme Zaghi Borges Batistuzzo; Renato Meulman Leite Silva	
Novas tecnologias na produção de fertilizantes – TIMAC Agro Brasil	74
Danilo José Libardi; Eloá Cabrera Machado Mendes; Rone Patricio Ferreira; José Henrique Bazani; José Leonardo de Moraes Gonçalves	
Tecnologia de aplicação de nitrogênio e de enxofre	80
Camila Beig Jordão; Tales Graciano Coelho	
Síntese do questionário sobre mecanização e das entrevistas com profissionais do setor	85
José Carlos Arthur Junior; José Henrique Bazani	
Considerações.....	91
José Henrique Bazani; Rodrigo Hakamada; José Carlos Arthur Junior; José Leonardo de Moraes Gonçalves	
Lista de participantes.....	94

Aspectos do manejo de nutrientes na Veracel

Helton Maycon Lourenço

Engenheiro Agrônomo, especialista em Solos, Nutrição e Manejo Florestal da Veracel.

E-mail: helton.lourenco@veracel.com.br

Sérgio Ricardo Silva

Engenheiro Agrônomo. E-mail: sergioufv@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A Veracel Celulose S.A. é fruto de uma parceria de duas grandes empresas do setor de celulose: a brasileira Fibria e a suecofilandesa StoraEnso (igual participação de 50 %). A empresa possui 83.546 ha de florestas de eucalipto distribuídas em uma área que abrange 10 municípios na região do Extremo-Sul da Bahia (Figura 1).



Figura 1 - Localização dos plantios florestais da Veracel Celulose S.A.

Na região ocorrem dois tipos climáticos, segundo Köppen: o Af, ou seja, chuvoso, quente e úmido, nas áreas mais próximas ao litoral em uma faixa de 50 km de largura, e o Am, também quente e úmido, mas com precipitações inferiores ao Af, ocorrendo na faixa mais a oeste da região. Em geral, os solos encontrados na região são de baixa fertilidade, sendo mais comuns o Argissolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho-Amarelo (GONÇALVES, 1975). Nas áreas de reflorestamento predominam os solos da classe Argissolo Amarelo, apresentando horizonte B textural, com muitas derivações desde arenosos a muito argilosos, com ocorrência frequente de camada adensada em subsuperfície com alto grau de coesão. Estes solos são geralmente, susceptíveis à compactação se manejados de forma intensiva e sob condições de elevada umidade.

Essa diversidade de ambientes edafoclimáticos é um desafio ao manejo sustentável do solo, principalmente em relação ao manejo da matéria orgânica e da fertilidade; e à redução da compactação pelo tráfego de máquinas. Dentre os elementos do meio físico determinantes da produtividade vegetal - temperatura, radiação solar, gás carbônico, água e nutrientes - apenas os dois últimos são passíveis de serem manejados pelo homem (BARROS; COMERFORD, 2002), porém, como

a prática de irrigação não é realizada na atividade florestal apenas o fluxo de nutrientes pode ser alterado por práticas de manejo.

Solos tropicais altamente intemperizados contribuem com uma pequena quantidade de nutrientes requeridos pelas plantas, sendo necessária uma compreensão via fertilização. Considerando que nos últimos anos tem-se observado uma forte tendência de elevação do custo de fertilizantes, a adoção de insumos alternativos como fonte de nutrientes e o uso de sistemas mecanizados que permitem a aplicação uniforme de adubos, são importantes estratégias a serem adotadas para obter a otimização da fertilização florestal. Por sua vez, o material orgânico, seja na forma de resíduos florestais ou de matéria orgânica do solo, exerce importante papel na ciclagem e retenção de nutrientes no sistema.

Durante a realização da 46ª Reunião Técnica do PTSM a Veracel apresentou, no formato de dia de campo, algumas tecnologias praticadas pela empresa para a nutrição de suas florestas de eucalipto. O objetivo deste trabalho é sintetizar os pontos discutidos e apresentar alguns resultados experimentais obtidos ao longo dos últimos anos.

TRABALHOS APRESENTADOS

Manejo de resíduos florestais

A manutenção no campo dos resíduos florestais após a colheita, ou seja, de todo material vegetal que não é aproveitado no processo de fabricação de celulose, constituído basicamente por folhas, galhos e casca, é uma prática adotada sistematicamente pela Veracel que agrega benefícios à floresta, como a minimização da exportação de nutrientes e o maior aporte de material orgânico, que pode ser incorporado às frações mais estáveis da matéria orgânica do solo (MOS) favorecendo a manutenção de seus teores. Esta prática conservacionista no manejo de resíduos na Veracel permite a adição média de 14 t/ha de casca, 2,5 t/ha de folhas e 6,87 t/ha de galhos (base matéria seca), em florestas colhidas aos sete anos de idade e com volume de 300 m³/ha (SILVA, 2005) - Tabela 1.

Tabela 1 - Matéria seca de eucalipto em povoamentos florestais da Veracel⁽¹⁾

Matéria seca (t/ha)						
Folha	Galho	Casca	Lenho	Tronco	Manta	Total
2,5	6,87	14,06	157,05	171,11	1,67	182,15
(1,4 %)	(3,8 %)	(7,7 %)	(86,2 %)	(93,9 %)	(0,9 %)	(100 %)

⁽¹⁾ Valores médios de 66 talhões da Veracel com média de sete anos. (Nota: não inclui raízes)

Baseado nos teores médios de nutrientes na matéria seca dos componentes das árvores foi estimado o conteúdo dos macro e micronutrientes que são exportados e que permanecem no campo por ocasião da colheita florestal (SILVA, 2005). Estes valores estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Conteúdo de nutrientes nos diversos componentes das árvores de eucalipto em povoamentos florestais da Veracel⁽¹⁾

Nutriente	Folha	Galho	Casca	Lenho	Tronco	Manta	Total/ Árvore	Total/ Árv+Manta	Resíduo (Folha+Galho+Casca)
kg/ha									
N	60,93	21,46	42,68	64,15	106,83	12,80	189,22	202,02	125,07
P	3,40	3,17	7,67	8,90	16,57	0,54	23,14	23,68	14,24
K	27,18	35,29	89,02	88,17	177,19	2,46	239,66	242,12	151,49
Ca	16,89	38,68	388,97	92,01	480,98	14,95	536,55	551,5	444,54
Mg	7,82	9,86	43,72	19,00	62,72	2,54	80,4	82,94	61,40
S	2,07	1,1	3,11	16,26	19,37	1,27	22,54	23,81	6,28
Zn	0,028	0,047	0,081	0,994	1,075	0,029	1,150	1,179	0,156
Fe	0,181	0,293	0,264	2,865	3,129	1,339	3,603	4,942	0,738
Mn	0,611	0,887	1,856	1,130	2,986	0,367	4,484	4,851	3,354
Cu	0,013	0,028	0,048	0,082	0,130	0,011	0,171	0,182	0,089
B	0,088	0,154	0,333	1,339	1,672	0,046	1,914	1,960	0,575

⁽¹⁾ Valores médios de 66 talhões da Veracel com média de sete anos (Nota: não inclui raízes).

Os resultados indicam que a maior fração dos nutrientes, exceção ao enxofre, permanece no campo no sistema de colheita florestal adotado pela Veracel. Para efeito comparativo, as quantidades de nutrientes presentes nos resíduos (casca + galhos + folhas) correspondem a aproximadamente 14 % do fósforo, 89 % do cálcio, 78 % do nitrogênio e 72 % do potássio, em relação às médias de nutrientes aplicados via adubação em áreas de Reforma na Veracel. É importante destacar que, no cálculo da adubação, são considerados todos os nutrientes presentes nos resíduos, ou seja, a quantidade de nutrientes a serem adicionados ao solo via adubação correspondem à diferença entre a demanda pelas plantas e as quantidades disponíveis no solo e fornecidas pelos resíduos vegetais (SILVA, 2005).

Pelos resultados apresentados na tabela 2, percebe-se que a biomassa de resíduos representa uma fração importante no suprimento de nutrientes para a floresta. A tabela 3 apresenta a quantidade equivalente em fertilizantes necessários para a reposição ao solo, caso toda a biomassa de resíduos fosse exportada na ocasião da colheita.

Tabela 3 - Equivalência financeira em insumos dos resíduos florestais da colheita ⁽¹⁾

	Sulfato de Amônio (SA)	Fosfato Natural Reativo (FNR)	KCl	CCM 40:4⁽²⁾	Total
	R\$/ha				
Casca + Galhos + Folhas	579,00	79,90	423,00	17,68	1.100,00

⁽¹⁾ Valores médios de 66 talhões da Veracel com média de sete anos (Nota: não inclui raízes). Valores aproximados cotados em out/12

⁽²⁾ CCM = Cinza-cálcio-magnésio

Sulfato de Amônio: R\$ 972,00/ton

Fosfato natural reativo: R\$ 500,00/ton

KCl: R\$ 1.600/ton

CCM 40:4: R\$ 11,00/ton

Os altos valores encontrados de equivalência de fertilizantes indicam uma significativa redução do custo de formação florestal com a permanência dos resíduos no campo, uma vez que os nutrientes exportados necessitam ser repostos visando à manutenção da capacidade produtiva do sítio.

A taxa de liberação desses nutrientes ao solo, bem como a transferência do C dos resíduos para frações estáveis da MOS é influenciada por sua própria composição química (EPRON et al., 2006; HERNÁNDEZ et al., 2009; JONES et al., 1999; NZILA et al., 2002; SHAMMAS et al., 2003) e também pela precipitação pluviométrica e temperatura (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; HOBIE, 2005). Souza (2012), estudando o efeito do ambiente e da composição química do resíduo sobre sua taxa de decomposição em diferentes ambientes do Brasil, na presença e ausência da casca e com e sem incorporação do solo, obteve estimativas dessas taxas para o sítio da Veracel (Tabela 4).

Tabela 4 – Taxa de decomposição (k), tempo de meia via ($t_{0,5}$), matéria seca remanescente (MSR) após 365 dias e perdas de C para a atmosfera estimados para o sítio da Veracel

Manejo	Casca	k	$t_{0,5}$ (anos)	MSR₃₆₅ (%)	Perda de C (Mg ha⁻¹)
Superficial	Com Casca	0,6352	1,09	51,51	7,08
Superficial	Sem Casca	0,5612	1,24	57,30	4,38
Incorporado	Com Casca	1,1700	0,59	28,83	10,39
Incorporado	Sem Casca	0,8446	0,82	39,68	6,19

O manejo operacional de resíduos de colheita na Veracel tem como objetivo mantê-los na superfície do solo. Nesta situação, o trabalho de Souza (2012) estimou que o tempo de meia vida é pouco superior a um ano e neste período pouco mais de 50 % de todo material vegetal foi decomposto.

Uso de resíduos industriais como fonte de nutrientes para o eucalipto

Os resíduos do processo industrial de fabricação de celulose, quando não tratados e não comercializados, são depositados em aterros sanitários, podendo representar um risco ao meio ambiente, além de onerar os custos (ZANDONADI, 2008).

Alguns resíduos gerados na indústria de celulose apresentam características de corretivos de acidez do solo, devido aos altos teores de cálcio, hidróxidos e carbonatos, conferindo alto poder de neutralização, assim, são uma boa alternativa em substituição ao calcário dolomítico. Como exemplo, podemos citar a lama de cal, os dregs e grits e a cinza de biomassa. Ainda, no caso dos dregs, ocorre a presença de outros nutrientes como potássio e fósforo.

No processo industrial esses resíduos são gerados na linha de recuperação de químicos. Os dregs e grits são resíduos removidos em etapas diferentes do processo de caustificação, porém apresentam características químicas bastante similares sendo tratados como um único produto (ZANDONADI, 2008). Na origem, o dregs é composto pelos elementos insolúveis da biomassa retirados no processo de clarificação do licor verde e o grits é obtido das impurezas não reagentes da cal (Figura 2). Já a lama de cal é o precipitado gerado pela reação de caustificação em que o carbonato de sódio (Na_2CO_3) reage com hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) formando carbonato de cálcio (CaCO_3).

Em situação normal o carbonato de cálcio é queimado no forno e reutilizado na forma de óxido de cálcio (CaO) no processo de caustificação. Eventualmente ocorrem quebras ou paralisações no forno de cal e esse material pode ser descartado como resíduo (Figura 2). Há ainda a cinza leve de biomassa que é o resíduo retido no precipitador eletrostático da caldeira de biomassa dentro do processo de produção de energia.

A partir destes componentes são fabricados a cinza-cálcio-magnésio (CCM) 40:4 (relação CaO/MgO), constituída basicamente por lama de cal, cinza de biomassa e dregs e grits e a CCM 38:8 que é composta de cinza de biomassa, dregs e grits e, no lugar da lama de cal, é adicionada Magnesita (MgCO_3) (ZANDONADI, 2008).

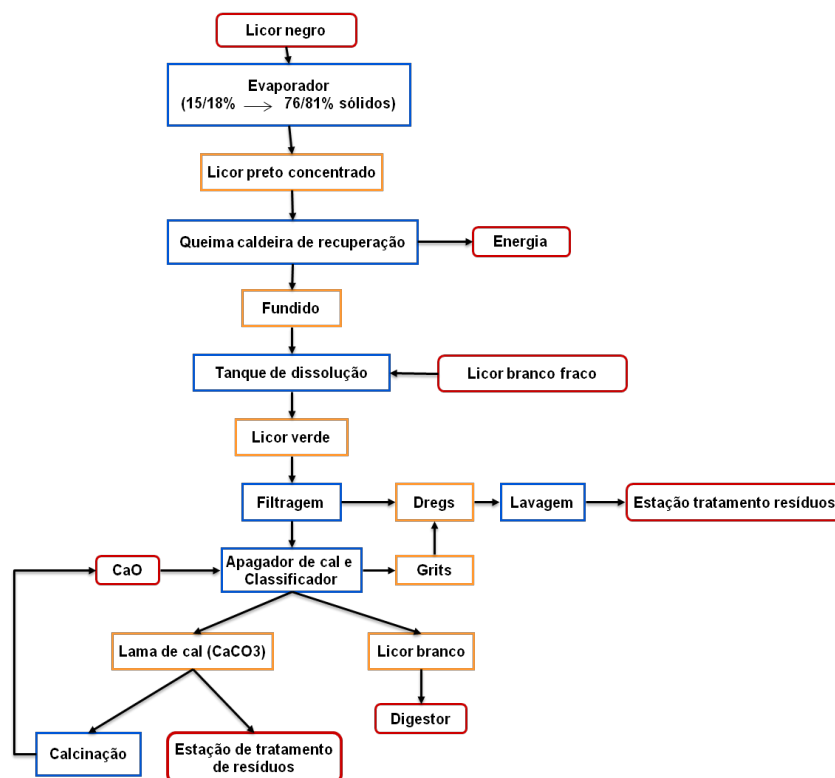


Figura 2 – Fluxograma do processo de recuperação de químicos (ZANDONADI, 2008).

A tabela 5 apresenta uma caracterização química de ambos os insumos, CCM 40:04 e 38:08, além de um comparativo com um calcário dolomítico.

Tabela 5 – Caracterização química de insumos utilizados como fonte de Ca^{2+} e Mg^{2+}

Características	CCM 40:4	CCM 38:8	Calcário Dolomítico
ER (%) ⁽¹⁾	66,3	87,25	-
PN (%) ⁽²⁾	88	84,33	-
PRNT (%) ⁽³⁾	58,7	73,50	90,87
pH ⁽⁴⁾	11,3	10,76	-
Umidade (dag kg ⁻¹)	19	16,33	-
P ₂ O ₅ (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	0,46	0,38	-
K ₂ O (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	1,33	0,70	-
CaO (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	44,33	38,11	28,88
MgO (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	4,77	8,22	21,57
Na (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	1,20	1,36	-

⁽¹⁾ Eficiência Relativa; ⁽²⁾ Poder de neutralização pelo método da titulação ácido-base; ⁽³⁾ Poder Relativo de Neutralização Total via granulometria seca; ⁽⁴⁾ Relação amostra:água 1:5; ⁽⁵⁾ Digestão úmida nitro-perclórica (Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos do MAPA)

Trabalhos experimentais foram desenvolvidos a fim de avaliar a reatividade e a capacidade desses insumos em suprir a demanda de Ca e Mg pelas plantas de eucalipto. A reatividade de um corretivo de solo pode ser avaliada pela sua capacidade de neutralizar a acidez do solo e disponibilizar Ca na solução do solo.

Assim, foi instalado experimento buscando obter uma curva de neutralização da acidez de solo por meio da incubação do solo utilizando o insumo cinza-cálcio-magnésio (CCM) e comparando-o com o calcário dolomítico comercial e uma mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$. Os resultados indicaram que apenas uma pernoite (12 horas) foi suficiente para a solubilização de praticamente toda a CCM aplicada (ZANDONADI, 2008). Assim, podemos recomendar o uso desse insumo como substituto ao calcário dolomítico, como corretivo da acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para os plantios de eucalipto na Veracel.

Além de reduzir a pressão sobre o aterro sanitário, o uso desses resíduos, como fonte de Ca e Mg para as florestas, traz também grandes benefícios econômicos para a silvicultura. A tabela 6 apresenta uma estimativa da redução de custo pela adoção da CCM como substituto ao calcário dolomítico.

Tabela 6 – Estimativa dos custos médios de uso da CCM e Calcário Dolomítico como fonte de nutrientes

	CCM	Calcário Dolomítico
	-----R\$/ha-----	
Custo do insumo ⁽¹⁾	44,00	234,00
Transporte para o campo	52,00	52,00
Custo de Aplicação	100,00	100,00
Total	196,00	386,00

⁽¹⁾Valores considerando uma dose média de 1.800 kg/ha e valores de março de 2011.

Monitoramento nutricional

Os solos ocupados por florestas de eucalipto na Veracel são predominantemente de baixa fertilidade natural e, portanto, necessitam de suplementação nutricional para que altas produtividades possam ser alcançadas. Em ambientes tropicais, onde a radiação não é limitante, a manutenção de fluxos satisfatórios de água e nutrientes são essenciais para sustentabilidade florestal (BARROS; COMERFORD, 2002). A análise foliar, se interpretada adequadamente, por refletir esses fluxos, tornando-se uma importante ferramenta para a correta recomendação de fertilizantes para florestas. Entretanto, nem sempre a interpretação dos resultados desta análise é fácil, sendo frequentemente sujeita a erros de diagnósticos. O uso de métodos baseados no equilíbrio e balanço nutricional permite uma melhor interpretação dos resultados.

Neste sentido, o método DRIS (Sistema integrado de recomendação e diagnose) (BEAUFILS, 1973), tem-se destacado como ferramenta de monitoramento nutricional em florestas plantadas. Na Veracel, o uso dessa ferramenta tem auxiliado na identificação de desvios nutricionais nas florestas de eucalipto. Para o acompanhamento do status nutricional das florestas a empresa realiza amostragem de folhas em florestas com um ano de idade. A intensidade amostral corresponde a uma amostra para cada 30 ha, sendo que a coleta é sempre realizada nas parcelas de inventário.

Esta é uma interessante estratégia, já que os teores obtidos podem ser relacionados com a informação de crescimento. Uma vez disponíveis os resultados da análise química foliar e do crescimento, os dados são processados com auxílio do software MN_Eucalyptus® (<http://www.tmconsultoriaflorestal.com.br/>) e são obtidos, em nível de projeto, os nutrientes que apresentam maior nível de carência, e, portanto, precisam de suplementação nutricional.

A figura 3 apresenta exemplos da avaliação do status nutricional em dois projetos da empresa.

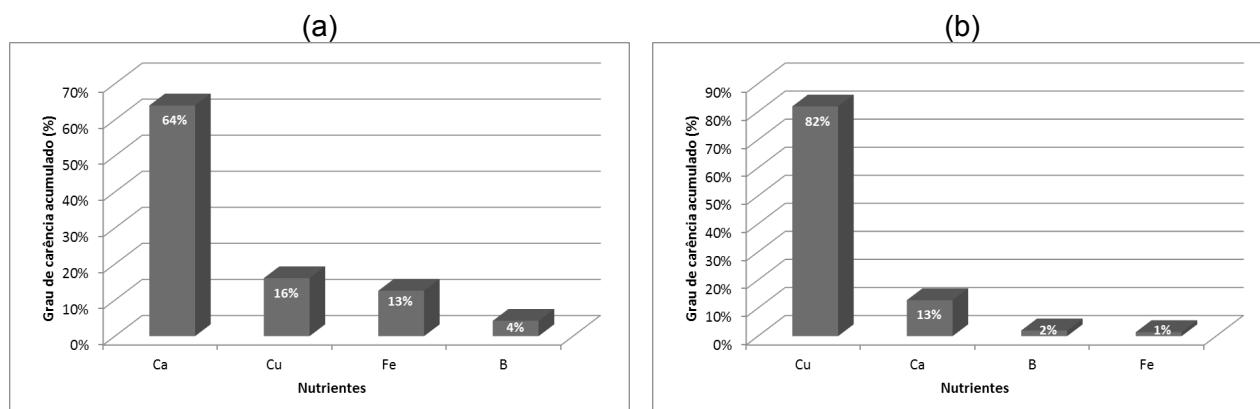


Figura 3 - Avaliação do grau de carência nutricional em dois projetos da Veracel (a): Projeto Sucupira e (b) Projeto Sapucaia.

Apesar de o DRIS ser um método eficiente de detecção de desvios nutricionais, ele está baseado em interpretações realizadas em florestas em estágio relativamente jovem de crescimento, assim, faz-se necessária a instalação de uma rede de parcelas permanentes onde se pode acompanhar o efeito da suplementação nutricional sobre o crescimento das florestas ao longo de um ciclo completo.

A escolha das parcelas é realizada com base no índice DRIS, classificados em alto, médio e baixo. De forma sistemática, são escolhidas três áreas de cada uma destas três categorias de índices, as quais receberão adubações corretivas para o nutriente em estudo. Desta forma, espera-se que somente as áreas com menores valores de Índice DRIS respondam de forma positiva à adubação corretiva.

A instalação destas parcelas seguiu uma sequência padrão. Primeiro foi identificada a parcela de inventário contínuo, na qual foram coletadas as folhas para análise química e posteriormente gerados índices DRIS. Cada parcela foi mensurada (de acordo com o procedimento convencional da equipe de Inventário da Veracel) e calculado o diâmetro à altura do peito (*dap*) médio da parcela.

Ao redor desta parcela, a 20 m de distância, dentro das oito posições mostradas na figura 4, foram locadas mais duas parcelas de plantas (idênticas à parcela de inventário). Ambas as parcelas permaneceram livres de matocompetição durante todo o ciclo. Somente em uma parcela foi efetuada a adubação, deixando uma bordadura simples, como ilustrado na figura 04. Portanto, em cada área selecionada foram locadas 03 parcelas: a de inventário

convencional (já existente), a parcela de adubação adicional corretiva (e sempre livre de matocompetição) e uma terceira parcela sem matocompetição (e sem adubação adicional). À exceção da parcela de inventário contínuo, as outras duas parcelas permaneceram livres de plantas competidoras ao longo de todo o ciclo.

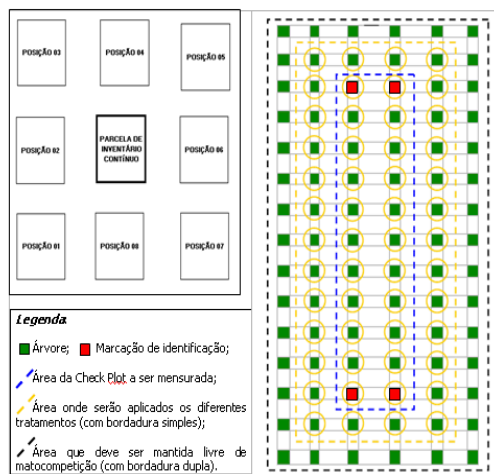


Figura 4 – Distribuição das diferentes posições das parcelas de monitoramento permanente e croqui detalhado de uma das parcelas de monitoramento

Todas as parcelas foram submetidas ao teste de equidade para avaliar a variação de *dap* em relação à parcela central (Inventário Florestal), sendo aceito um desvio de $\pm 5\%$ (Figura 5).

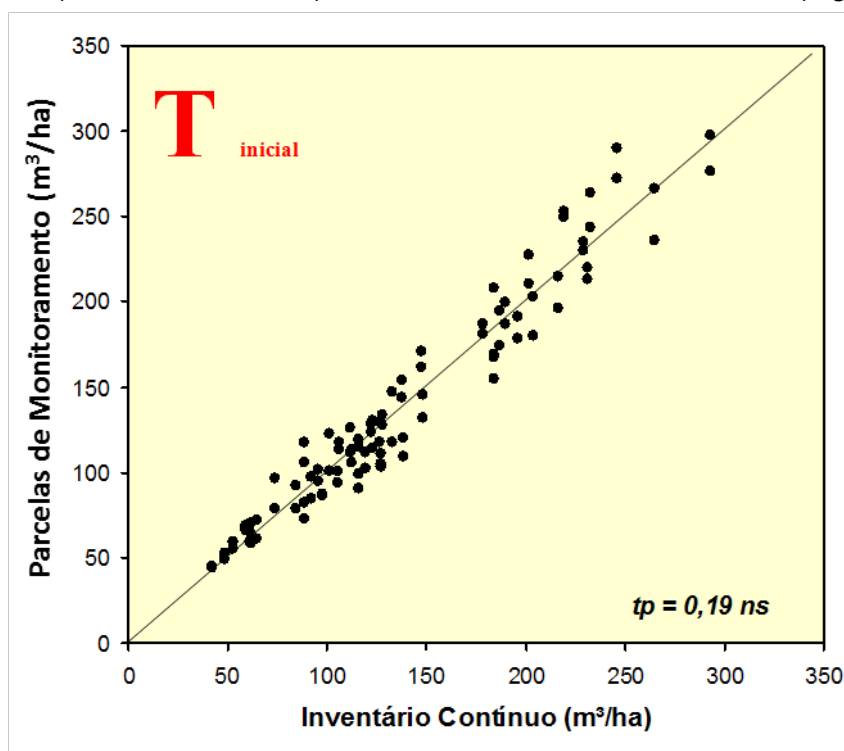


Figura 5 – Teste de média entre os *dap* das parcelas escolhidas para o monitoramento permanente

Os resultados obtidos por esse monitoramento permitiram avaliar a eficácia do uso do DRIS como método de avaliação do estado nutricional das florestas de eucalipto, considerando uma série de nutrientes, bem como verificar se as doses aplicadas são suficientes para suprir a demanda das plantas. O gráfico da figura 6 apresenta os resultados de aplicação suplementar de Magnésio em florestas de sete anos apontadas como sendo este o elemento de maior limitação.

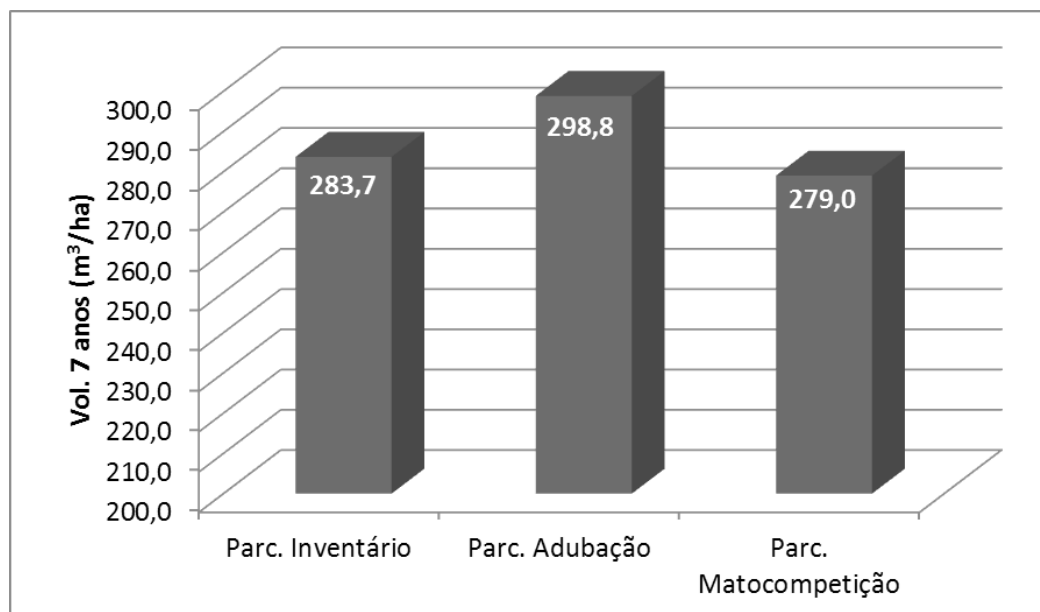


Figura 6 – Crescimento em volume de parcelas permanentes, aos sete anos de idade, para avaliação de resposta a adubação suplementar de Magnésio

SILVICULTURA DE PRECISÃO

A partir do ano 2000 a área florestal tornou o termo “silvicultura de precisão” cada vez mais presente nas discussões internas das organizações, vislumbrando uma nova alternativa para melhoria contínua do processo de produção florestal.

Este termo pode ser definido como um método de gerenciamento das atividades silviculturais, utilizando-se de coletas e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções com exatidão e precisão adequadas (VETORRAZI; FERRAZ, 2000).

Na Veracel os trabalhos de silvicultura de precisão tiveram início no ano de 2005, sendo o foco inicial o controle da aplicação dos insumos da adubação de cobertura. A figura 6 resume o histórico do tema desde sua concepção até a implementação a nível operacional.

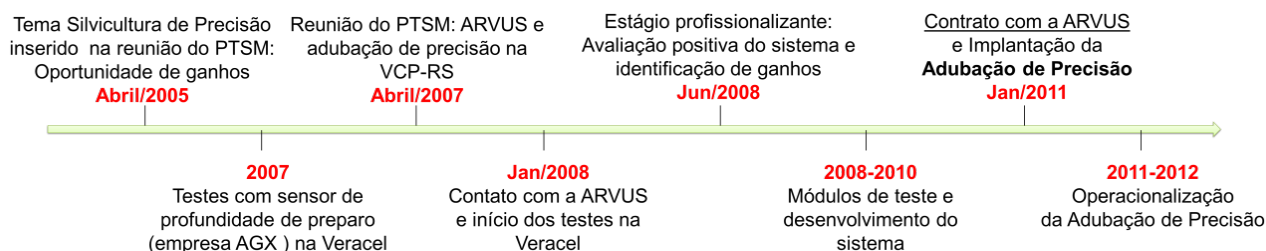


Figura 7 - Histórico dos principais momentos do desenvolvimento do sistema de adubação de precisão desde sua concepção até sua operacionalização na adubação de cobertura

A adoção desse sistema proporcionou uma redução no custo do componente “insumo”, principalmente pela possibilidade de recomendação de uma dose menor devido à garantia de uma distribuição mais adequada dos fertilizantes nas áreas de plantio. As informações obtidas pela Veracel, com uso do sistema de silvicultura de precisão, apontam uma variação da dose aplicada ao longo da área de $\pm 5\%$ da dose recomendada, o que representa um grande ganho em qualidade de distribuição de insumos no campo, conforme pode ser observado na figura 8.

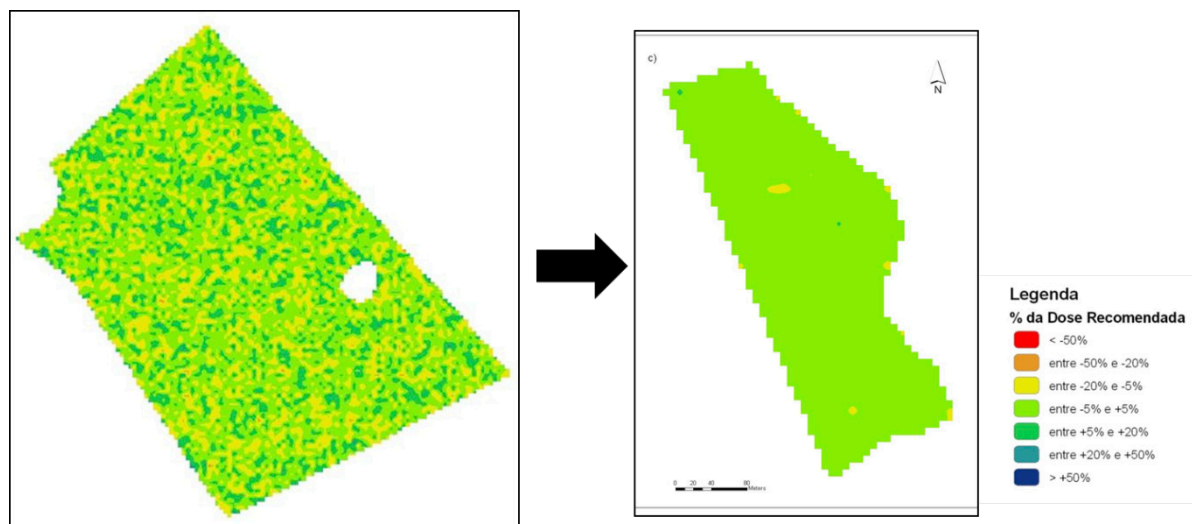


Figura 8 – Variação na aplicação da dose recomendada sem o uso do sistema de precisão (mapa a esquerda) e utilizando o sistema de precisão (mapa a direita)

MONITORAMENTO DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE FERTILIZANTES

Nos últimos anos o mercado de fertilizantes e corretivos apresentou uma oscilação muito significativa nos custos dos insumos. Podemos destacar como agentes causadores deste fato a elevação de preço do barril de petróleo; acidentes naturais ocorridos nas jazidas de nutrientes, como inundações; aumento de área agrícola e florestal e consequente elevação do consumo mundial de adubos minerais.

Os fertilizantes minerais representam, aproximadamente, 40 % do custo total de insumos utilizados para formação da floresta até o primeiro ano e, a preocupação com a qualidade deste produto é, portanto, indiscutível.

A Veracel adota a prática de avaliar a qualidade física e química de todos os lotes de fertilizantes comprados pela empresa, de forma sistemática desde o ano de 2006 e, ao menos duas vezes ao ano, solicita a visita dos fiscais do Ministério da Agricultura (MAPA).

O MAPA disponibiliza, gratuitamente, a todo consumidor o serviço de fiscalização das garantias dos fertilizantes. O consumidor deve apenas arcar com o serviço de coleta das amostras. Para tanto, o interessado deve enviar uma solicitação ao escritório local do Ministério da Agricultura informando o tipo, quantidade e fornecedor do produto a ser fiscalizado bem como as análises que deverão ser realizadas.

O ministério comunica o fornecedor sobre a fiscalização e esta acontece em um prazo de até 30 dias da solicitação. Os fiscais agropecuários fazem a coleta e encaminham as amostras ao laboratório credenciado pelo MAPA e em caso de não conformidade dos resultados, a empresa fornecedora do fertilizante é autuada. Até o final de 2012 a Veracel havia realizado a coleta de 586 amostras de cinco diferentes fertilizantes, vendidos por 10 diferentes fornecedores.

Neste trabalho serão apresentados os resultados de apenas um dos fertilizantes utilizados pela empresa, a formulação NPK 10:00:30 + 0,5 % B. Os dados relativos aos teores médios de N-Total, K₂O e B são apresentados na figura 9.

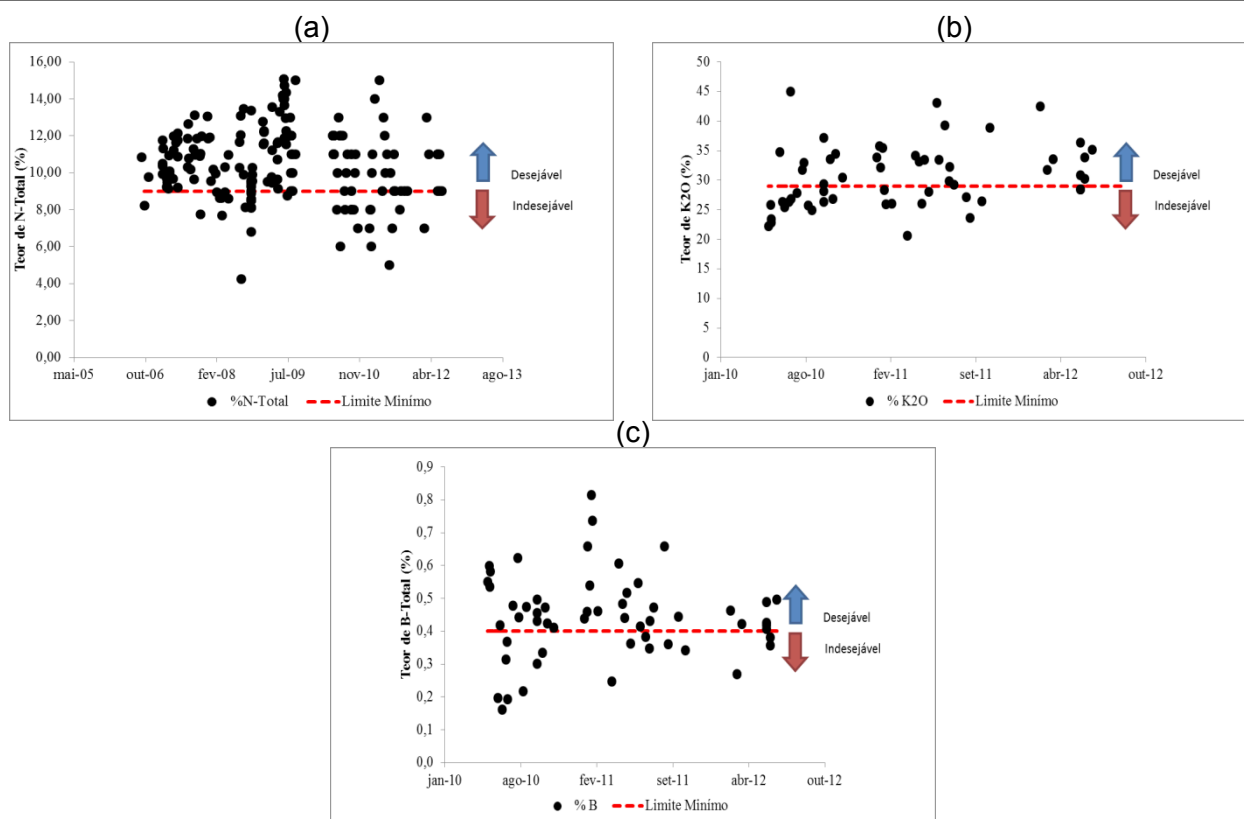


Figura 9 – Resultados dos teores de N-Total (a), K₂O (b) e B-Total (c) em amostras coletadas de lotes de fertilizantes comprados pela Veracel no período de 2006 a 2012

Os teores de N-Total apresentaram um teor médio de 9,78%, com coeficiente de variação (CV) igual a 22,44%, sendo que 41% das amostras apresentaram valores inferiores ao especificado pelo fabricante. Para os teores de K₂O o teor médio foi igual a 29,90%, com CV de 17,83%. Do total das amostras, 41,6% apresentaram teores de K₂O inferiores ao especificado pelo fabricante. Para o B-Total o valor médio foi de 0,4% com o coeficiente de variação igual a 38%, sendo que 30% das amostras apresentaram valores abaixo do especificado pelo fornecedor.

A qualidade física dos fertilizantes também foi insatisfatória nas avaliações realizadas. Segundo a norma do MAPA, para fertilizantes compostos por mistura de grânulos, 95 % do volume da amostra deve passar pela peneira de 4 mm, entretanto, 35 % das amostras estavam não conformes (figura 10). Destacamos que o maior desvio foi observado para a avaliação de material fino, sendo que, de acordo com MAPA, é permitido que apenas 5 % da amostra passe pela peneira de 1 mm, no entanto, para 84 % das amostras avaliadas esta norma não foi atendida. Os problemas físicos refletem também na qualidade química dos fertilizantes, uma vez que se trata de uma mistura de grânulos com tamanhos e densidades diferentes, que estão sujeitos a uma segregação natural, e distribuição irregular durante a adubação no campo.

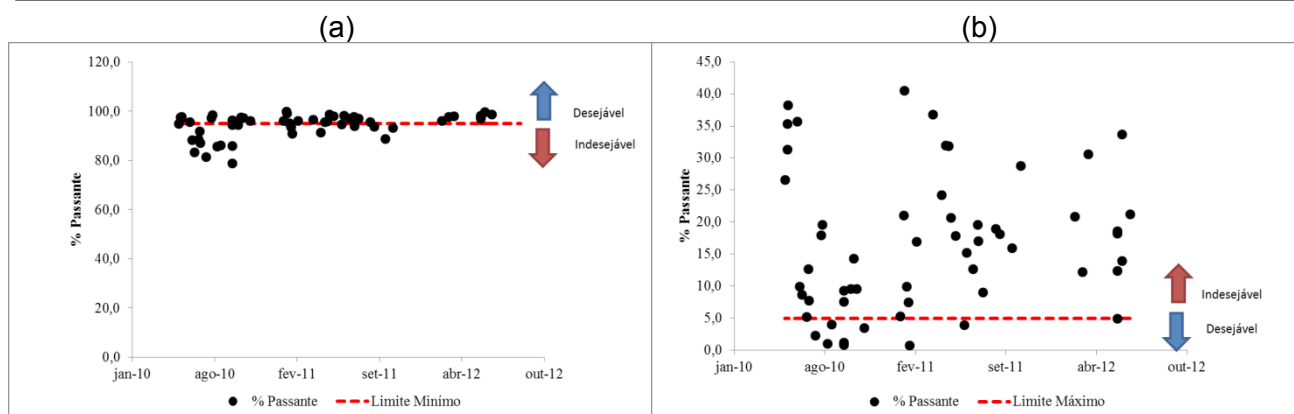


Figura 10 – Avaliação da qualidade física de amostras da formulação NPK 10:00:30 + 0,5 % B coletadas em amostras de fertilizantes vendidos à Veracel entre 2006 a 2012.

(a) porcentagem da amostra que passou pela peneira de 4 mm; (b) porcentagem da amostra que passou pela peneira de 1 mm

CONCLUSÃO

O manejo sustentável de florestas plantadas passa, impreterivelmente, pela adoção de práticas tecnicamente adequadas em relação ao uso de recursos nutricionais. A adoção de fontes alternativas, sistemas de distribuição mais eficientes e práticas de monitoramento, podem contribuir significativamente para reduções de custos e para ganhos em qualidade das florestas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 487-592.
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg, South Africa : University of Natal, 1973. 132 p (Soil Science. Bulletin).
- EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; DELEPORTE, P.; IFO, S.; KAZOTTI, G.; M'BOU, A.T.; MOUVONDY, W.; SAINT ANDRÉ, L.; ROUPSARD, O.; JOURDAN, C.; HAMEL, O. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. **Global Change Biology**, v. 12, 2006. p. 1021-1031.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 893-901, 2005.
- GONÇALVES, E. **Geologia econômica e recursos minerais**. Ilhéus: CEPLAC/IICA, 1975. 142 p. (Diagnóstico socioeconômico da região cacauieira, 6).
- HERNÁNDEZ, J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of Eucalyptus dunnii Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology Management**, v. 258, p. 92-99, 2009.
- HOBBIE, S. Contrasting effects of substrate and fertilizer nitrogen on the early stages of litter decomposition. **Ecosystems**, v. 8, p.644 - 656, 2005.
- JONES, H. E.; MADEIRA, M.; HERRAEZ, L.; DIGHTON, J.; FABIÃO, A.; GONZÁLEZ-RIO, F.; MARCOS, M. F.; GOMEZ, C.; TOMÉ, M.; FEITH, H.; MAGALHÃES, M. C.; HOWSON, G. The effect of organic-matter management on the productivity of Eucalyptus globulus stands in Spain and Portugal: tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment. **Forest Ecology Management**, v. 122, p. 73-86, 1999.

NZILA, J. D.; BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P.; RANGER, J. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in Eucalyptus plantations in the Congo. **Forest Ecology Management**, v. 171, p.209-221, 2002.

SHAMMAS, K.; O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; MCMURTRIE, R.; DAMON, P.; RANCE, S. J. Contribution of decomposing harvest residues to nutrient cycling in a second rotation Eucalyptus globulus plantation in south-western Australia. **Biology Fertility of Soils**, v. 38, p. 228-235, 2003.

SILVA, S. R. Importância da permanência de resíduos florestais no campo. **Relatório Técnico da Veracel**, 2005. (dados não publicados)

SOUZA, I. F. **Decomposição de resíduos da colheita e transferência de carbono para o solo em plantações de eucalipto**. 2012. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BOREM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M. (Eds.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: os autores, 2000. p. 65 - 75.

ZANDONADI, L. U. **Uso de corretivos de solo produzidos a partir de resíduos da indústria de celulose em plantações de eucalipto**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

Dez anos de pesquisa sobre os ciclos biogeoquímicos em ecossistemas de *Eucalyptus* no Brasil: consequências para a fertilização das plantações comerciais

Jean-Paul Laclau

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, jean-paul.laclau@cirad.fr

José Leonardo de Moraes Gonçalves

Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, jlmgonca@usp.br

Rildo Moreira e Moreira

Coordenador da Estação Experimental de Itatinga da ESALQ/USP, rmoreira@usp.br

Jean-Pierre Daniel Bouillet

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, jean-pierre.bouillet@cirad.fr

Yann Nouvellon

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, yann.nouvellon@cirad.fr

INTRODUÇÃO

A produtividade das plantações comerciais de eucalipto foi multiplicada por 3 desde os anos 1970. Manter estes níveis de produção no futuro vai necessitar uma fertilização adaptada às mudanças do solo ao longo das rotações sucessivas e às demandas específicas de cada material vegetal num contexto de mudança globais. Após varias décadas de pesquisa florestal no Brasil, melhorias na silvicultura necessitam de uma compreensão detalhada dos processos que influenciam o crescimento das árvores.

Dada a importância da adaptação da silvicultura às mudanças globais desenvolve-se, desde 2002, numa parceria entre o Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento (CIRAD) e o Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (LCF/ESALQ/USP), pesquisas sobre ciclos biogeoquímicos em ecossistemas de *Eucalyptus* na Estação Experimental da USP, em Itatinga.

O objetivo deste capítulo é evidenciar a importância dos resultados obtidos nestas pesquisas, mostrando as possíveis aplicações práticas para o setor florestal brasileiro. Os estudos na Estação Experimental de Itatinga foram desenvolvidos com a hipótese que uma melhor compreensão dos processos biogeoquímicos em alguns povoamentos “modelos” poderia contribuir a reduzir os custos econômicos e ambientais da silvicultura nas condições edafo-climáticas da região estudada, mas também em outras regiões do Brasil.

Principais resultados e consequências para o manejo

O setor florestal brasileiro atingiu o atual patamar de excelência na produção de madeira em plantações com o gênero *Eucalyptus* por diversos fatores. A melhoria nas práticas de preparo de solo, a seleção e o melhoramento do material genético são alguns exemplos dos fatores que contribuíram para esta excelência. A fertilização química é essencial para maximizar a produtividade nas plantações florestais brasileiras e o presente trabalho busca contribuir com a seleção de melhores procedimentos para esta atividade.

Fertilização inicial

Diversas pesquisas confirmam a importância da fertilização realizada concomitantemente ao plantio e a resposta que se tem no desenvolvimento inicial da floresta. Neste sentido fica evidente a relevância da fertilização, particularmente com os três macro-nutrientes principais (nitrogênio, fósforo e potássio), para o arranque inicial das mudas, a homogeneidade do povoamento e o rápido sombreamento do solo e assim reduzir o mato-competição.

Todavia algumas pesquisas evidenciam que, em algumas situações, o impacto positivo da fertilização na produtividade verificado na fase inicial da floresta não se mantém com a mesma intensidade até o final da rotação. Para os casos de delineamento experimental adequado, onde as parcelas experimentais são planas, homogêneas e grandes (maiores que 600 metros quadrados), uma possível explicação para o decréscimo do impacto positivo na parcela fertilizada, no final da rotação, é a ocorrência de outro fator limitante (outro que a fertilização) para o desenvolvimento da floresta ao longo da rotação.

Experimento instalado na Estação Experimental de Itatinga, em abril de 2004, comparando diferentes níveis de fertilização nitrogenada evidenciou a existência de outro fator limitante. A figura 1 mostra que a porcentagem da área basal dos tratamentos adubados com nitrogênio é mais de 10% superior ao tratamento testemunha (sem nitrogênio) até o terceiro ano após o plantio. Todavia, através dos inventários realizados semestralmente até a idade de corte do experimento, nota-se que não existiu diferença estatística após esta idade, ou seja, outro fator (possivelmente água disponível no solo) limitou o desenvolvimento da floresta.

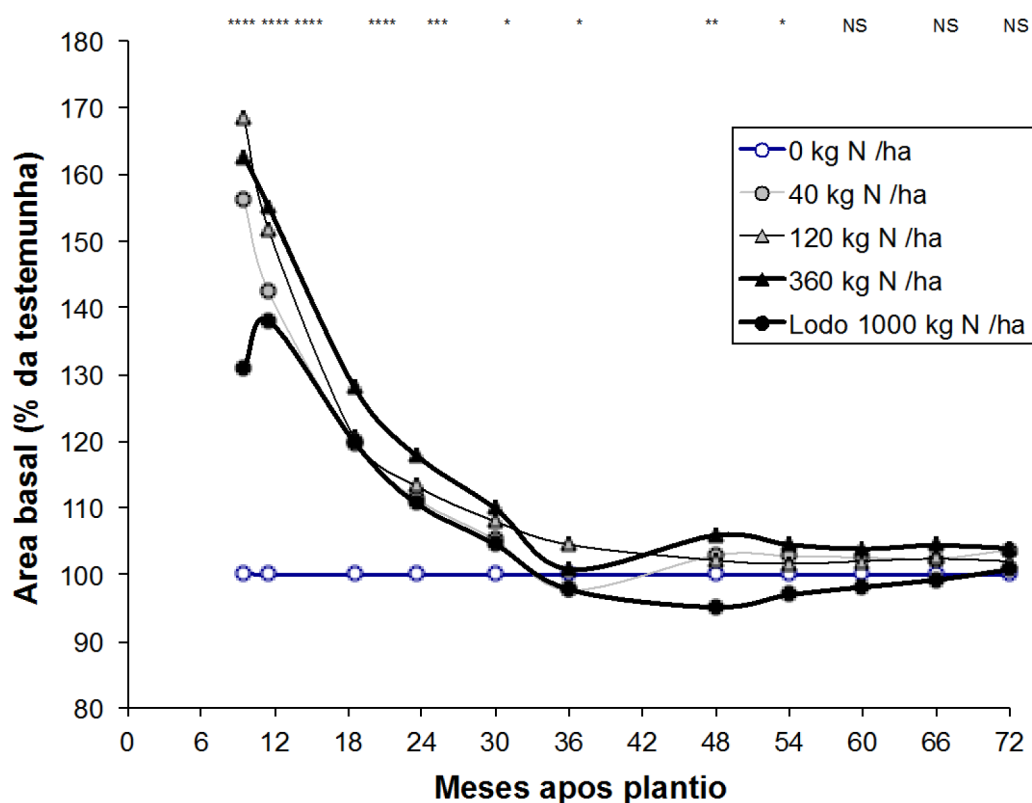


Figura 1 - Relação entre idade do experimento (em meses após o plantio) e o porcentual da Área Basal (AB) quando comparado à AB da parcela testemunha

Outro experimento, este instalado em junho de 2010 na mesma área, compara o efeito da intensidade de chuva e da fertilização com cloreto de potássio (KCl) e com cloreto de sódio (NaCl) no desenvolvimento da floresta (Figura 2). Este experimento tem seis tratamentos:

- K-C: sem aplicação de KCl nem NaCl e chuva reduzida de 1/3;
- K+C: sem aplicação de KCl nem NaCl e chuva normal;
- +Na-C: com aplicação de 4.5 kmol ha⁻¹ de Na e chuva reduzida de 1/3;
- +Na+C: com aplicação de 4.5 kmol ha⁻¹ de Na e chuva normal;
- +K-C: com aplicação de 4.5 kmol ha⁻¹ de K (210 kg K₂O ha⁻¹) e chuva reduzida de 1/3;
- +K+C: com aplicação de 4.5 kmol ha⁻¹ de K e chuva normal;

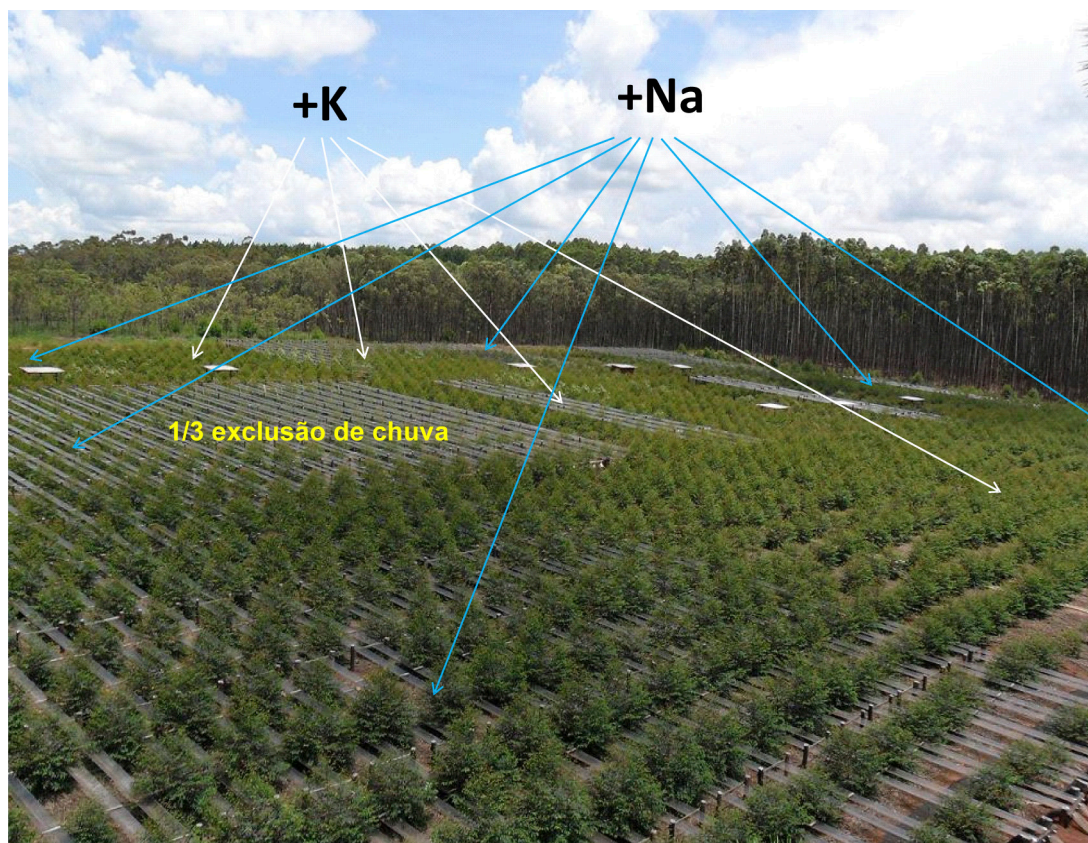


Figura 2 - Experimento cruzando a fertilização dos povoamentos (testemunha comparada com aplicação de KCl ou NaCl) e chuva disponível (comparando chuva normal e chuva reduzida de 1/3)

A precipitação foi reduzida em três tratamentos através da instalação de lonas plásticas (correspondente a um terço da área) e precipitação foi normal em outros três tratamentos (sem exclusão da chuva). Disponibilizaram-se quantidades equivalentes de sódio e potássio em tratamentos diferentes e comparados a testemunha (ausência dos dois nutrientes mas N, P, Ca, Mg e micronutrientes foram aplicados em quantidades não limitantes em todas as parcelas). Deseja-se verificar o efeito da disponibilidade de água no solo na produtividade da floresta. Cabe destacar que nesta área experimental instalaram-se sensores de umidade do solo até o lençol freático (a 17 m de profundidade) que possibilita acompanhar a variação do estoque de água no solo durante o desenvolvimento do experimento.

Aos 24 meses de idade os valores de CAP nos tratamentos com redução de chuva (66 R - linhas pontilhadas) são equivalentes aos dos tratamentos com precipitação normal (100 R - linhas contínuas) (Figura 3). Este resultado não era esperado extraindo quase 500 mm por ano nos tratamentos com exclusão de chuva. Eles mostram que até a idade de 2 anos as árvores são muito pouco sensíveis à quantidade de chuva. A variação entre os valores de CAP ocorre devido à fertilização com potássio (linha azul) ou fertilização com sódio (linha verde). A linha vermelha representa a ausência dos dois nutrientes. O efeito negativo da redução de chuva sobre o crescimento das árvores aparece a partir de 2 anos de idades no tratamento com o maior crescimento inicial (com aplicação de K).

Apesar de não se evidenciar variação estatística nos valores de CAP se comparado os tratamentos com e sem exclusão da precipitação, pode-se notar, que existe variação no estoque de água nas camadas profundas do solo (Figura 4). Os teores de água no solo (10% de umidade significa que tem 100 litros de água para 1 m³ de solo) nas profundidades de 4,5 metros (quadro superior) e 6,0 metros (quadro inferior) (Figura 4). Evidencia-se pela cor vermelha (ausência de potássio e de sódio) que o estoque de água no solo é maior nas duas profundidades.

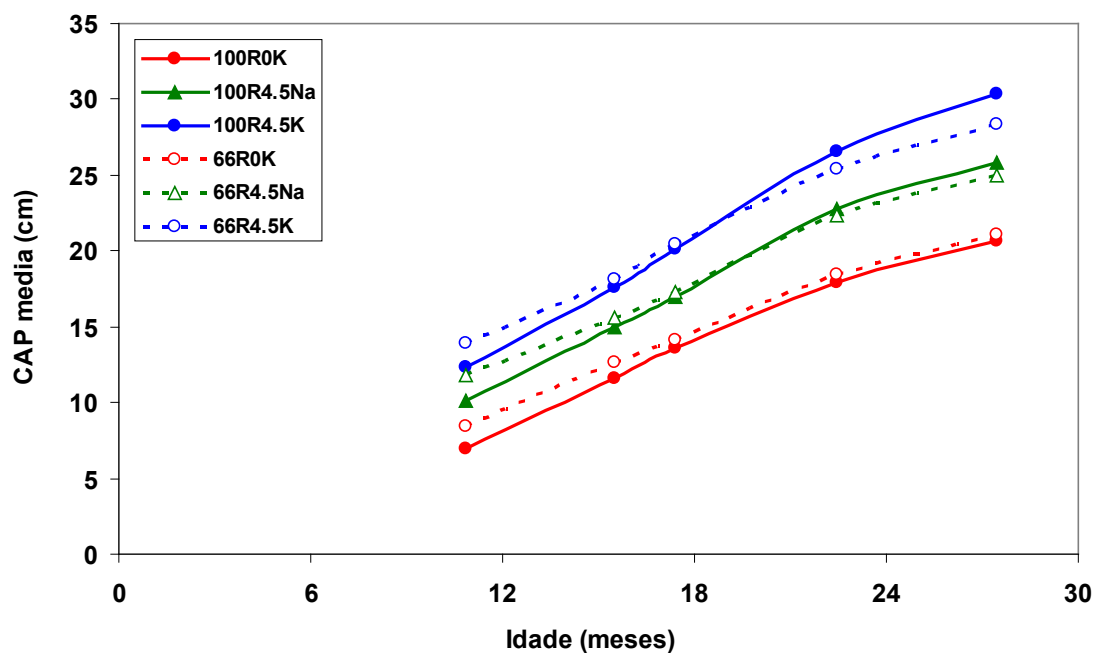


Figura 3 - Relação entre idade do experimento (em meses) e valor do CAP médio (em centímetros). As marcas cheias indicam uma chuva normal (100R) e marcas vazias uma chuva reduzida de 1/3 (66R). Testemunha sem aplicação de K nem Na em vermelho, com aplicação de Na em verde e de K em azul

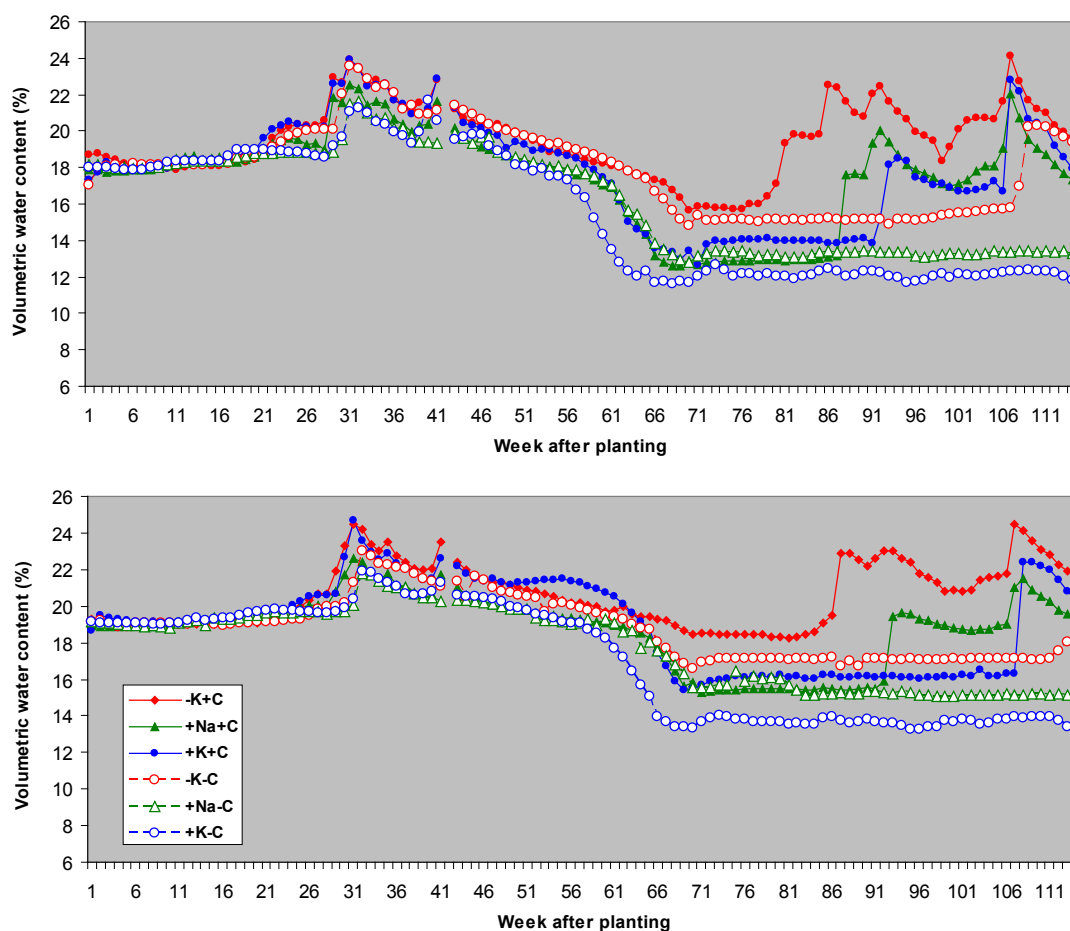


Figura 4 - Relação entre idade do experimento (em semanas após o plantio) e o volume de água no solo (porcentagem do volume de solo). A significação dos símbolos é indicada na figura 2.

A produtividade nos tratamentos com potássio (azul) e com sódio (verde) é maior, como indicado pelos valores de CAP (Figura 3). Desta forma o estoque de água no solo é maior nos tratamentos onde as árvores tem o menor desenvolvimento inicial (vermelho). E o estoque de água no solo é maior tanto na camada superior do solo, onde a água da chuva recarrega o solo com água, como nas camadas mais profundas do solo. Nas camadas superficiais, a recarga de água no solo é mais expressiva nos tratamentos com menor produtividade (transpiração menor entre 2 chuvas nos tratamentos pouco produtivos) e a maior quantidade de água nas camadas profundas dos tratamentos com o menor desenvolvimento da floresta é devido a ocupação de raízes nestas camadas atrasado quando comparado aos tratamentos mais produtivos. Ou seja, a floresta de *Eucalyptus* tem uma forte capacidade de ocupação do solo pelas raízes e nos tratamentos de alta produtividade as raízes profundas, explorando um maior volume de solo, diminuem rapidamente o estoque de água também nas camadas inferiores. Uma representação ilustrativa desta ocupação de água no solo pode ser visualizada na Figura 5.

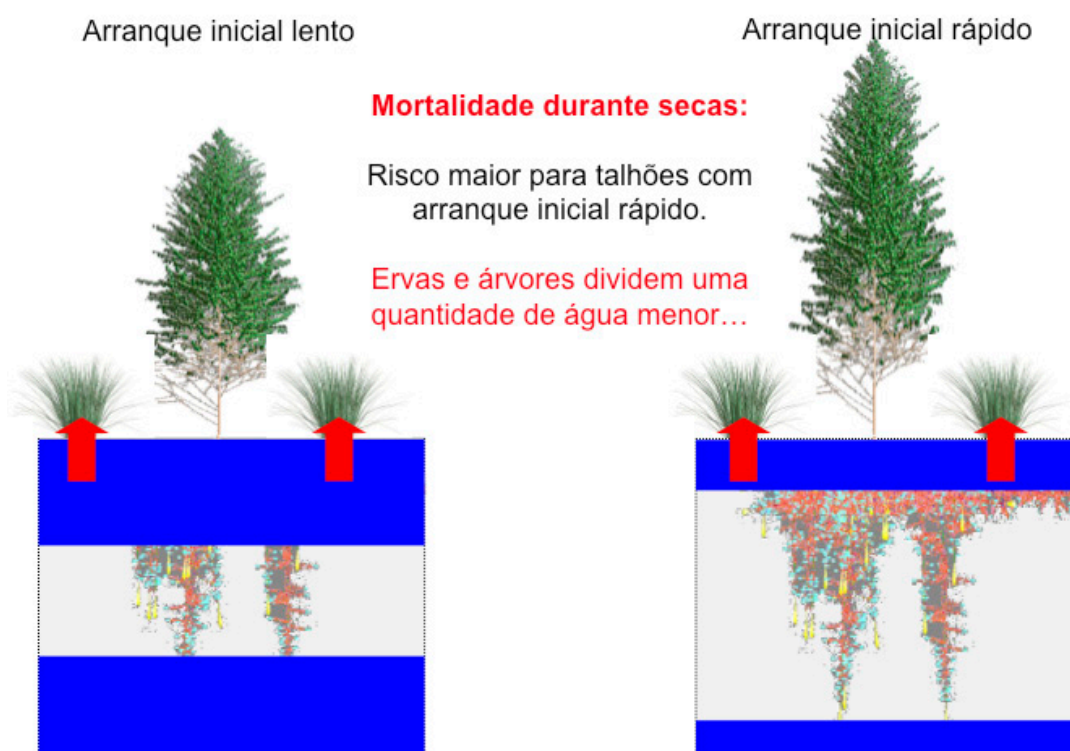


Figura 5 - Ilustração do maior estoque de água no solo (indicado em azul) nos plantios com desenvolvimento lento (imagem da esquerda) e do menor estoque de água no solo (imagem da direita) provocado pelo arranque inicial rápido (desenvolvimento rápido da floresta).

Nesta condição, em que o estoque de água no solo é menor (arranque inicial rápido) foi mostrado em solos muito profundos que a totalidade da chuva do ano é evapotranspirada após o fechamento da copa. A partir deste momento o desenvolvimento da floresta será limitado pela disponibilidade de água armazenada no solo.

Ou seja, a floresta se desenvolverá em função da água disponibilizada pela chuva do período e nesta condição a perda de água por escoamento superficial ou por plantas invasoras (mato-competição) é ainda mais crítico do que em outras fases de desenvolvimento da floresta. A chegada mais ou menos cedo da limitação do crescimento pelo fator limitante hídrico em função do ritmo de crescimento da floresta pode explicar porque povoamentos que tiveram arranque inicial menor que outros povoamentos do mesmo clone conseguem produzir a mesma quantidade de madeira no final da rotação. O aproveitamento da água armazenada no solo durante um tempo maior que nos povoamentos com arranque inicial forte pode permitir de recuperar o atraso inicial.

O controle da matocompetição é essencial durante a fase de crescimento inicial das árvores para o sucesso das plantações de *Eucalyptus*. A matocompetição pode ser importante no final da rotação

em regiões onde existe risco de mortalidade das árvores durante secas prolongadas (Figura 5). Gramíneas crescendo nos talhões após o fechamento das copas vão dividir com as árvores a água armazenada nas camadas superficiais do solo durante a estação chuvosa. Esta água pode faltar durante a estação seca e conduzir à mortalidade das árvores nas áreas onde há a maior infestação de plantas daninhas.

Pelo exposto, a melhor recomendação de manejo pode não ser sistematicamente maximizar o arranque inicial. As vantagens operacionais de um arranque inicial da floresta são evidentes para matocompetição. Todavia, nas condições em que o fator água também irá limitar a produtividade ao longo da rotação é preciso considerar o custo econômico e ambiental da fertilização (fertilização de arranque) e compará-los com alternativas de manejo para se controlar a matocompetição. Em particular, o uso de fertilizantes com um custo muito maior que os fertilizantes comuns, mesmo se eles são eficientes para aumentar o arranque inicial, podem não ser justificados quando se considera o papel predominante do estresse hídrico sobre a produção até o final da rotação.

Outra conclusão importante deste trabalho é que o efeito da aplicação de nutrientes que pode ser significativos até 2 anos de idade pode sumir no final da rotação porque o fator limitante hídrico pode ser predominante sobre outros fatores limitantes que apareceram no início da rotação. Análises de experimentos de fertilização e de testes clonais concluídas antes de 3-4 anos de idade podem não representar o que acontecerá no final da rotação.

Fertilização de cobertura

A quantificação das perdas por drenagem profunda durante uma rotação completa em experimentos instalados em solos de textura média (15-20% de argila) em Itatinga com fertilização representativa dos plantios comerciais mostrou que as perdas de todos os nutrientes foram abaixo das deposições atmosféricas (Figura 6). O mesmo resultado foi obtido num solo argiloso no projeto EUCFLUX no estado de São Paulo e num solo muito arenoso (90% de areia) no Congo.

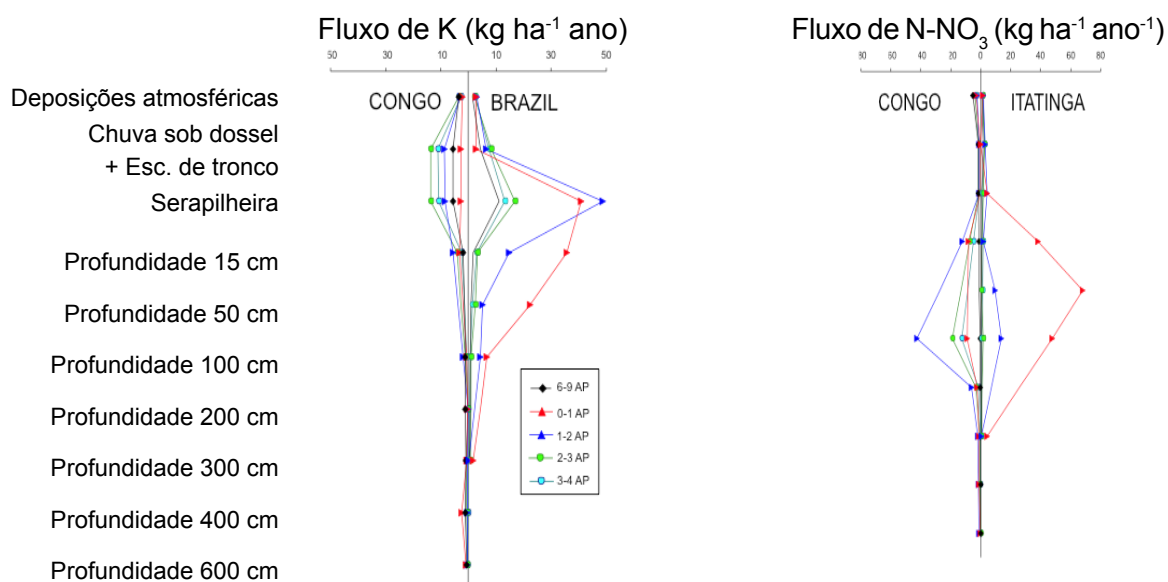


Figura 6 - Fluxos de potássio e de nitrogênio na forma de nitratos dissolvidos na água em plantações de eucalipto num solo arenoso do Congo (valores na parte esquerda de cada figura) e num solo de textura média em Itatinga (valores na parte direita de cada figura).

As perdas muito baixas de nutrientes por lixiviação podem ser explicadas pela exploração muito rápida das camadas profundas do solo pelas raízes de eucalipto que atingem 6 metros de profundidade um ano após plantio nos latossolos profundos (Figura 7).

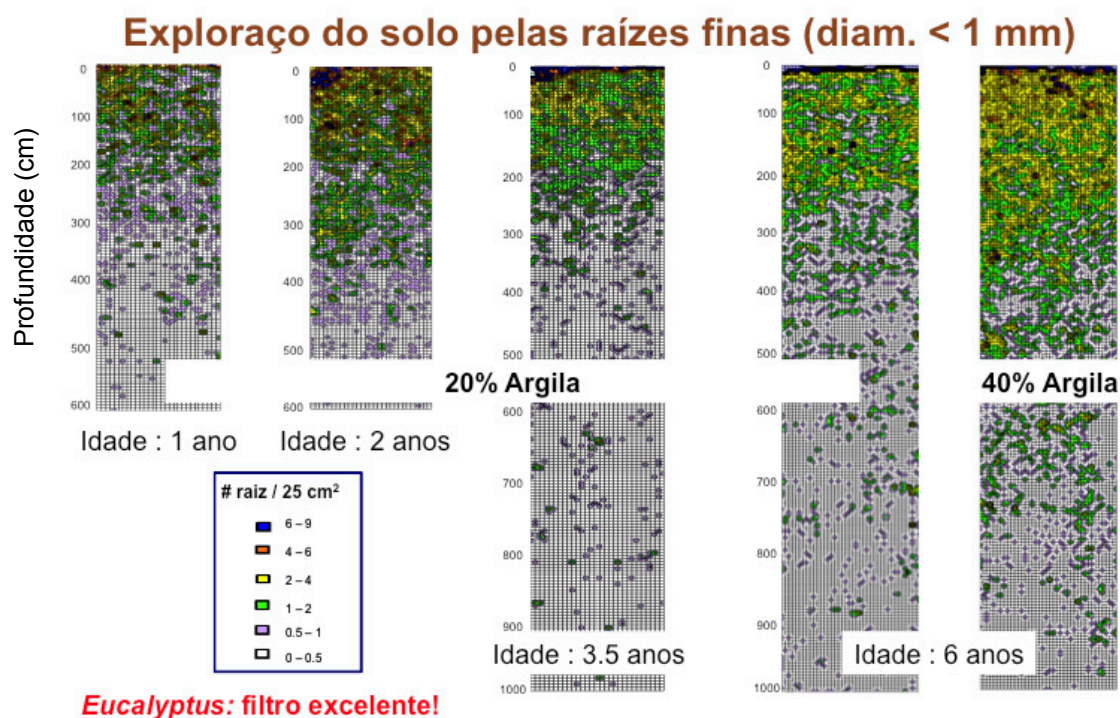


Figura 7 - Mapas de densidades de raízes finas (número de impactos de raízes por quadrado de 25 cm² nos perfis verticais de solo) até uma profundidade de 6 m nas idades de 1 e 2 anos e uma profundidade de 10 m aos 3,5 e 6 anos após plantio num solo de textura média. As densidade de raízes são também indicadas 6 anos após plantio num solo argiloso.

A retenção de alguns íons (fosfato e sulfato em particular) sobre os óxidos e a matéria orgânica do solo reduz a velocidade de transferência dos íons mais móveis na água de drenagem e contribui para deixar as raízes crescerem.

Estes resultados sugerem que as quantidades de fertilizante aplicadas usualmente podem ser provavelmente concentradas em uma (ou duas?) aplicações, nos solos de textura média e argilosa. Estes estudos sugerem que cada empresa poderia instalar experimentos de fertilização para verificar nas condições específicas de clima e de solo se a fertilização de cobertura pode ser aplicada em uma única vez sem que ocorra a redução da produtividade dos povoamentos. Esta modificação da silvicultura poderia conduzir a economias fortes nos custos de aplicação dos fertilizantes em florestas plantadas.

Mistura de NaCl e KCl na fertilização

Os resultados obtidos na estação experimental de Itatinga mostram que o *Eucalyptus grandis* tem a capacidade de usar sódio na fisiologia dele quando a disponibilidade de potássio é limitante. No final da rotação, a produção de madeira foi multiplicada por 2 aplicando KCl e por 1,5 aplicando NaCl (Figura 8). Uma resposta ao aporte de NaCl foi também observada quando a fertilização em KCl não estava suficiente (dados não mostrados).

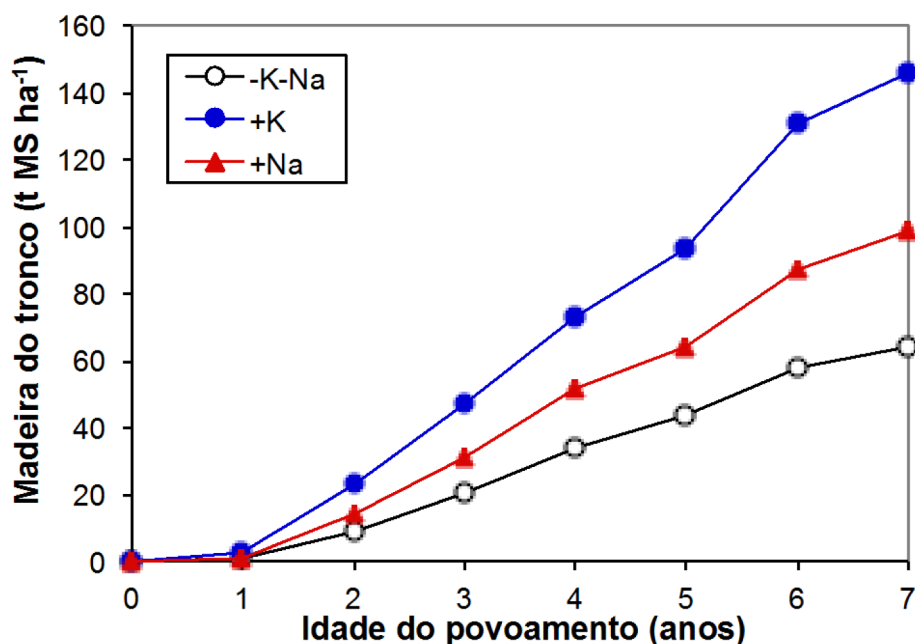


Figura 8 - Efeito da aplicação de NaCl (+Na) ou de KCl (+K) sobre o acúmulo de madeira (em toneladas de matéria seca por hectare) durante uma rotação de *E. grandis* num solo pobre em potássio.

Vários doutorados estão em andamentos no experimento de redução de chuva da estação experimental de Itatinga para entender melhor os processos ecofisiológicos que explicam a respostas positiva das árvores ao aporte de NaCl. Os resultados obtidos até agora mostram que a aplicação de sódio permite cumprir as funções osmóticas do potássio, mas outras funções relacionadas são perturbadas, em particular as funções ligadas ao transporte dos açúcares produzidos pela fotossíntese.

O custo do NaCl é aproximadamente 15% do custo do KCl e experimentos de fertilização misturando NaCl e KCl poderiam ser instalados nas empresas para avaliar a proporção de cada elemento a mais adaptada em função das especificidades de solo e de clima da região.

CONCLUSÃO

Além de resultados científicos importantes para melhorar a compreensão do funcionamento dos ecossistemas de plantações florestais tropicais (mais de 40 artigos publicados entre 2008 e 2013), as pesquisas desenvolvidas na Estação Experimental de Itatinga produziram resultados aplicados que podem contribuir a adaptar a silvicultura às mudanças globais. Esses estudos demonstram que um forte investimento concentrado em um só lugar pode ter aplicações a grande escala desde que eles permitem compreender os mecanismos por trás da resposta das árvores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA J. C. R.; LACLAU J.-P., GONÇALVES J. L. M., RANGER J., SAINT-ANDRÉ L. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1786-1795, 2010.

BATTIE-LACLAU P.; LACLAU J.-P.; PICCOLO M. C.; ARENQUE B. C.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ M. R. A.; VAZAMI B. K.; JORDAN-MEILLE L.; BUCKERIDGE M. S.; NOUVELLON Y.; GLORIA B.A.; RANGER J.; BOUILLET, J.-P. How does potassium and sodium nutrition influence leaf area and its components in *Eucalyptus grandis* trees? **Plant and Soil**, v.371, p. 19-35, 2013.

CHRISTINA, M.; LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.-P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 3, 2011.

LACLAU, J.-P.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; NZILA, J. D.; BOUILLET, J.-P.; SAINT-ANDRÉ, L.; VERSINI, A.; MARESCHAL, L.; NOUVELLON, Y.; THONGO M'BOU, A.; RANGER J. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in *Eucalyptus* plantations established on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 2148-2159, 2010.

LACLAU, J. P.; SILVA, E. A.; LAMBAIS, G.; BERNOUX, M.; LE MAIRE, G.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, 2013.

Efeito da associação de leguminosas no ciclo de nitrogênio nas plantações de eucaliptos

Jean-Pierre Daniel Bouillet

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, jean-pierre.bouillet@cirad.fr

Maureen Voigtlaender

Consultora, mvoigtlaender@gmail.com

Jean-Paul Laclau

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, jean-paul.laclau@cirad.fr

José Leonardo de Moraes Gonçalves

Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, jlmgonca@usp.br

José Luiz Gava

Divisão de Tecnologia Florestal da Suzano Papel e Celulose, jgava@suzano.com.br

Fernando Palha Leite

Coordenador Pesquisa da CENIBRA, fernando.leite@cenibra.com.br

Rodrigo Eiji Hakamada

Pesquisador da International Paper, rodrigo.hakamada@ipaper.com

Louis Mareschal

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, louis.mareschal@cirad.fr

André Mabiala

Pesquisador do CRDPI, andre.mabiala@cirad.fr

Yann Nouvellon

Pesquisador do CIRAD, UMR Eco&Sols, yann.nouvellon@cirad.fr

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um componente de todas as células vivas, proteínas e enzimas e está envolvido nos processos metabólicos, de transferência de energia e da fotossíntese (a RuBisCO e a clorofila contêm N). Este nutriente é considerado como um dos principais fatores limitantes do crescimento das árvores em florestas tropicais e a aplicação adicional de N é obrigatório para uma produção sustentável de muitos ecossistemas florestais (FISHER; BINKLEY, 2000). Esta fertilização é aplicada nas plantações de eucaliptos no mundo inteiro, como na Argentina (GRACIANO et al., 2008), no Congo (LACLAU et al., 2010), na África do Sul (DU TOIT; SCHOLLES, 2002), na Austrália (COORBEELS et al., 2005) ou na Indonésia (MACKENSEN; FÖLSTER, 2000). No Brasil, 20-200 kg ha⁻¹ de N são aplicados a cada rotação, mas com uma resposta forte apenas o início da rotação (PULITO, 2009) (Figura 1). A causa é que a água torna-se um fator mais limitante que N após os primeiros anos (BOUILLET et al., 2013).

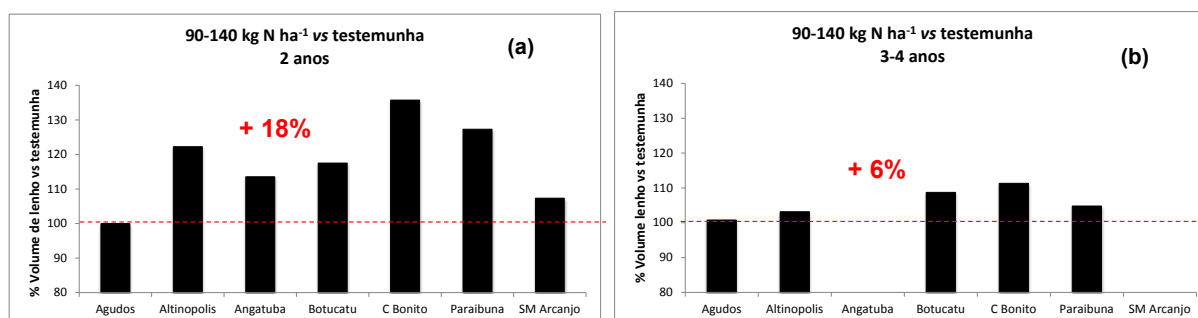


Figura 1 - Resposta dos eucaliptos a adubação N no plantio, com média de +18% a 2 anos (a) e +6% a 3-4 anos (b) (fonte: Pulito, 2009). A linha tracejada representa a produção sem adubação N.

Mesmo no caso de uma pequena resposta à fertilização nitrogenada, a entrada de N no ecossistema parece muito importante para a sustentabilidade das plantações de eucaliptos. Por exemplo, na estação experimental da USP-ESALQ em Itatinga/SP (23°02' S e 48°38' W), a fertilização de 120 kg ha⁻¹ de N (com 33 e 100 kg ha⁻¹ de P, K, respectivamente e 2 toneladas ha⁻¹ de calcário dolomítico) conduziu a um balanço de N negativo, mesmo quando somente houve exportação do tronco sem casca dos talhões (Tabela 1). Sem adubação N, o balanço de N apresentou-se negativo (- 100 a - 250 kg N ha⁻¹) para todos os tratamentos.

Tabela 1 - Balanço de N pela rotação de eucaliptos em Itatinga (SP) (fonte: Silva et al., 2013, alterada)

Balanço pela rotação	N (kg ha ⁻¹)
Tronco sem casca	- 50
Tronco com casca	- 85
Tronco + galhos grossos	- 95
Árvore inteira	- 200

Desta forma, a adição de N faz-se necessária para assegurar a produção sustentável das plantações de eucaliptos. No entanto, os fertilizantes a base N são dispendiosos (□ 400-500 US\$ tonelada⁻¹ FOB de uréia em 2012) (FERTILIZERWORKS, 2014) com uma tendência ao aumento em médio/ longo prazo: o preço da uréia foi multiplicado por 4 entre 2000 e 2010 e dobrou entre 2009 e 2012 (FERTILIZERWORKS, 2014). Uma solução alternativa pode ser a associação de espécies leguminosas com eucaliptos.

Rede de plantações consorciadas de *E. grandis* / *E. urophylla***grandis* e *Acacia mangium* no Brasil e no Congo

Uma rede de experimentos sobre plantios mistos foi instalada no Brasil e no Congo em 2004 e 2005. O objetivo era quantificar o funcionamento hídrico, carbono e mineral das plantações consorciadas de *Eucalyptus* com *Acacia mangium* em condições ecológicas contrastantes: Estação Experimental da USP-ESALQ (Itatinga - SP), empresa Suzano (Bofete - SP), empresa International Paper (Luiz Antonio - SP), empresa Cenibra (Santana de Paraiso - MG) e CRDPI (Pointe-Noire - Congo). Os tratamentos testados foram:

1) 100A: *A. mangium*; **2)** 100E: *Eucalyptus* com fertilização igual à de referência (sem N); **3)** 100E+N: *Eucalyptus* com adubação igual à de referência (com N, similar as doses nas empresas da região) ; **4)** 25A:100E: 100%E + 25 % *A. mangium* ; **5)** 50A:100E: 100%E + 50% *A. mangium* ; **6)** 100A:100E: 100%E + 100% *A. mangium* ; **7)** 50A:50E: 50% *Eucalyptus* + 50% *A. mangium*

Produção dos povoamentos

Os tratamentos aditivos (nA:100E) apresentaram uma produção maior (+5% a +40%) no início da rotação em Itatinga, Cenibra e no Congo por causa de complementaridade entre as espécies com maior área foliar total e maior captação da luz (le Maire et al., 2013). Mas as plantações consorciadas não foram mais produtivas aos 6 anos no Brasil (BOUILLET et al., 2013). O maior uso da água no início ocasionou uma forte concorrência intra- e inter-específica para este recurso no fim da rotação e a perda da produção adicional dos primeiros anos. Ao contrário, uma produção maior (+20% a +35%) foi observada no Congo nos plantios mistos (BOUILLET et al., 2013). Nesta área uma parte significativa da chuva é perdida por lixivação profunda nas monoculturas de eucaliptos (LACLAU et al., 2010). Desta forma, observou-se complementaridade entre as espécies na rotação inteira resultando em uma melhor captação dos recursos (luz e água) e uma maior produção dos povoamentos. Além disso, os eucaliptos puderam aproveitar da facilitação por fixação de N₂ pela *A. mangium* e transferência de N (cf infra).

Ciclo de nitrogênio no Brasil

Deposição da serapilheira no fim da rotação

A matéria seca de serapilheira depositada em 100E foi maior que em 50A:50E e em 100A, exceto na Cenibra. Mas a entrada de N, via deposição foi 1,7 vez, maior em 100A (75 a 103 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) do que em 100E (49 a 62 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) (Figura 2). Em 50A:50E, as quantidades de N na serapilheira foram intermediárias, variando entre 63 e 77 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (VOIGTLAENDER, 2012).

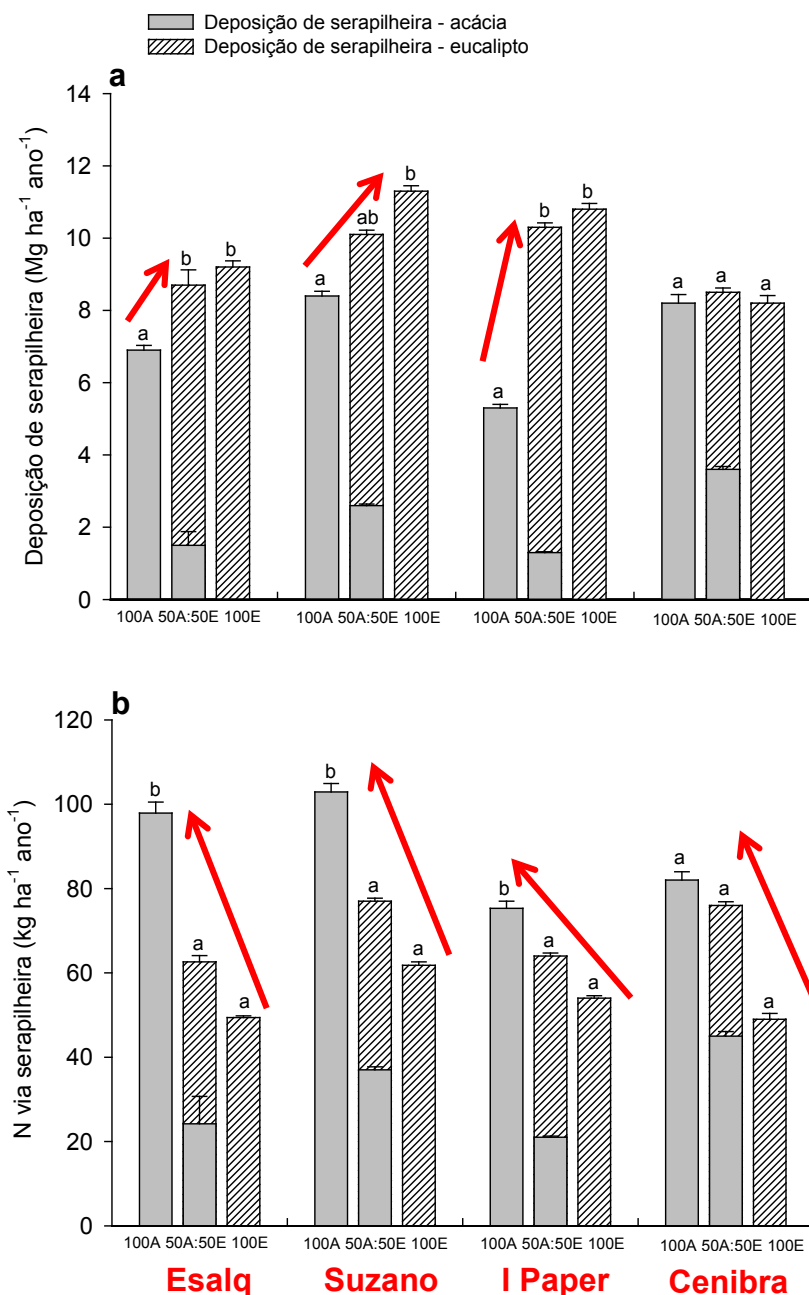


Figura 2 - Deposição anual de serapilheira (a) e deposição anual de N (b) entre 4 e 6 anos depois do plantio, em 100A, 50A:50E e 100E na ESALQ-Itatinga, na Suzano-Bofete, na International Paper-Luiz Antônio e na Cenibra-Santana do Paraíso. O erro-padrão entre os blocos é indicado, para cada tratamento, nas barras verticais ($n = 3$). Letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos na mesma área ($P < 0,05$) (fonte : Voigtlaender, 2012)

Estoques de C e N (exemplo de Itatinga)

Ao fim do cultivo, os estoques do C total no solo em Itatinga, incluindo a serapilheira acumulada e o solo da camada 0-15 cm, não apresentaram diferenças entre os tratamentos. As diferenças foram observadas na camada Oi (material não-fragmentado) (Tabela 2), com um estoque menor de C em 100A do que em 100E. Ao contrário, os maiores estoques do N total observaram-se em 100A

(Tabela 2). Consistente com a deposição de serapilheira verificaram-se diferenças nos estoques da serapilheira entre os tratamentos, sendo maior em 100A. A quantidade de N estocada na serapilheira acumulada foi 40% maior em 100A do que em 100E. Na camada de 0-15 cm do solo, não se verificou diferença nos estoques de C e de N entre os tratamentos.

Tabela 2 - Estoques de C e de N na serapilheira acumulada e na superfície do solo em 100A, 50A:50E e 100E em Itatinga (SP), ao final da rotação de cultivo (fonte : Voigtlaender, 2012)

Estoques	100A:0E	50A:50E	0A:100E
C (kg ha⁻¹)			
Oi	445 a	3065 b	4376 c
Oe	3412 a	3762 a	3334 a
Oa	1269 a	974 a	1419 a
0-5 cm	8700 a	8750 a	10040 a
5-15 cm	12570 a	14090 a	11820 a
Serapilheira	5126 a	7712 b	9129 c
0-15 cm	21270 a	22840 a	21870 a
TOTAL	26396 a	30541 a	30989 a
N (kg ha⁻¹)			
Oi	12 a	18 a	21 a
Oe	125 b	71 a	45 a
Oa	55 b	28 a	38 ab
0-5 cm	450 a	450 a	480 a
5-15 cm	770 a	800 a	670 a
Serapilheira	192 b	118 a	104 a
0-15 cm	1220 a	1250 a	1150 a
TOTAL	1412 a	1368 a	1254 a

Oi - material não-fragmentado ; Oe - material grosseiros ; Oa - material fino fragmentado

Mineralização do N do solo

No fim da rotação observaram-se maiores taxas de mineralização no 100A (140-215 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) que no 100E (60-180 kg N ha⁻¹ ano⁻¹), com diferenças significativas em Itatinga. Os valores no 50A:50E foram intermediárias. A nitrificação líquida correspondeu em média a 80% do total da mineralização líquida de N em todos os tratamentos. Na área de Luiz Antônio (Figura 3c) e na de Santana do Paraíso (Figura 3d), a amonificação líquida foi negativa, em média 7 kg ha⁻¹ ano⁻¹, indicando imobilização do NH₄⁺ no solo.

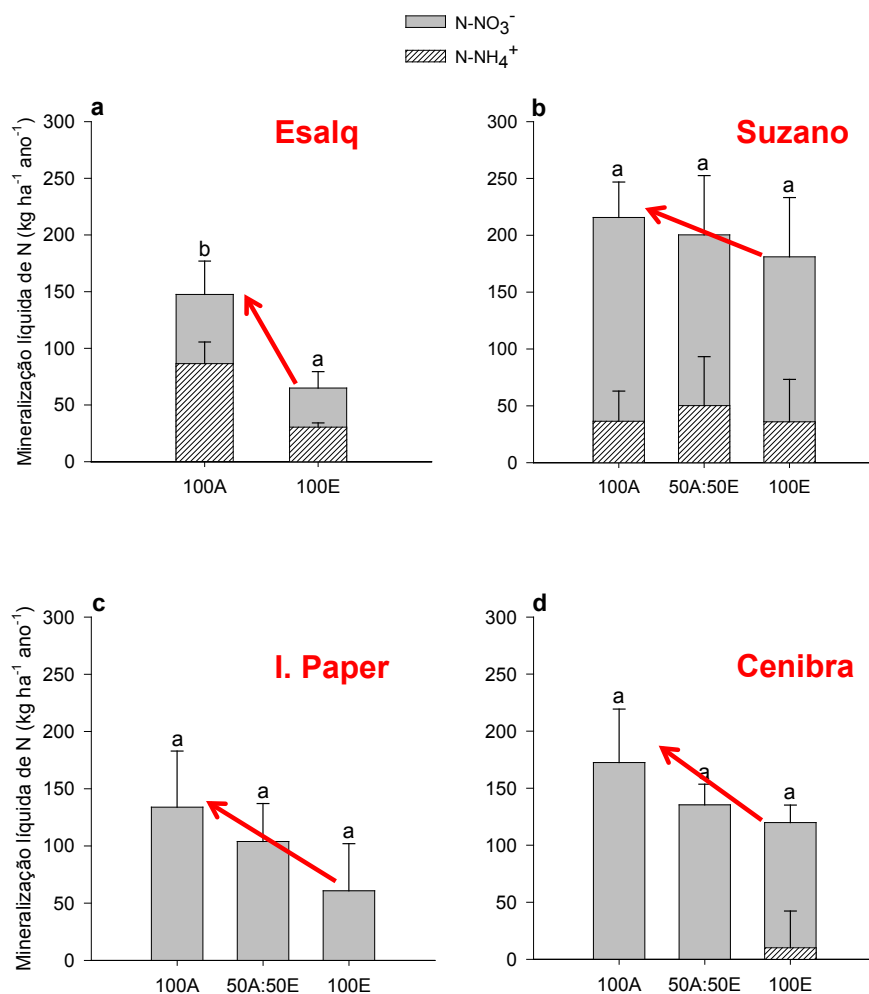


Figura 3 - Mineralização de N, no final da rotação de cultivo, em 100A e 100E nas áreas a) Esalq-Itatinga, b) Bofete-Suzano, c) Luiz Antônio-International Paper, d) Santana do Paraíso-Cenibra. O erro-padrão entre os blocos foi indicado, para cada tratamento nas barras verticais com (n = 4). Letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos na mesma área (P < 0,05) (fonte : Voigtlaender, 2012)

A mineralização de N aumentou com a deposição de N para as Acácias puras e no 50A:50E. Ao contrario, não se encontrou relação entre esses dois fluxos de N na monocultura de eucaliptos (Figura 4).

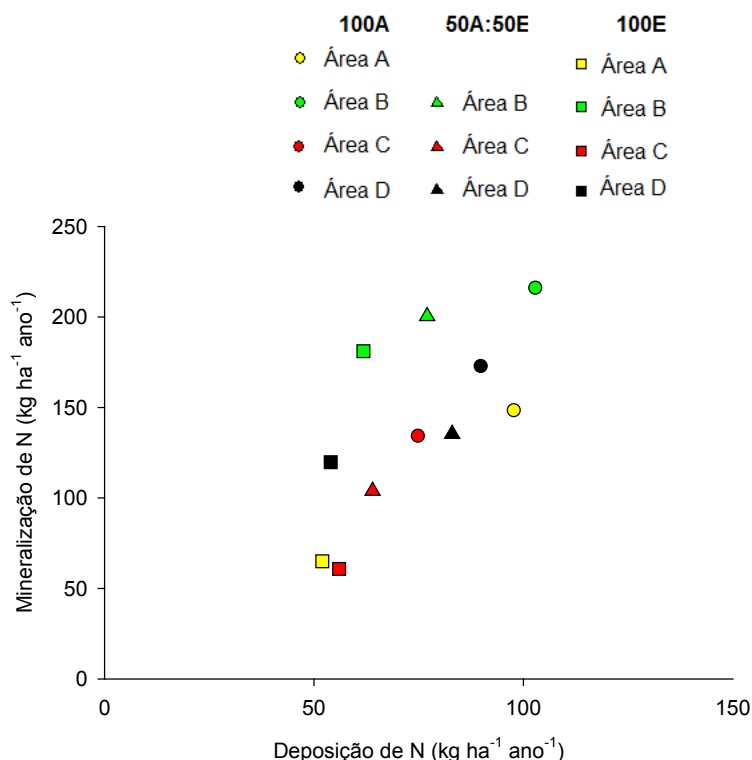


Figura 4 - Mudança da mineralização de N com a deposição de N em 100A, 50A:50E e 100E nas quatro áreas experimentais (fonte: Voigtlaender, 2012)

Fixação de N₂ e balanço de N no solo

A fixação de N₂ foi determinada pelo método de adição (Forrester et al., 2007), por meio da equação (1):

$$F_N = N_{total\ 1} - N_{total\ 2} \quad (1)$$

Onde: F_N : fixação de N₂; $N_{total\ 1}$: soma de N na biomassa total, na serapilheira acumulada e na camada [0-15 cm] do solo em 100A ou 50A:50E; $N_{total\ 2}$: soma de N na biomassa total, na serapilheira acumulada e na camada [0-15 cm] do solo em 100E.

O balanço simplificado do nitrogênio no solo, foi calculado por meio da equação (2). Os demais fluxos de entrada e saída de N do ecossistema foram considerados iguais em todos os tratamentos, assumindo sem perdas de N por lixiviação profunda (Laclau et al., 2010) :

$$X = (F_N - a) - (0 - b) \quad (2)$$

Onde: X: incremento de N no solo em relação ao 100E; F_N : fixação de N₂; a: exportação de N por meio da biomassa de lenho em 100A ou 50A:50E; b: exportação de N por meio da biomassa de lenho em 100E.

A fixação de N₂ na rotação variou entre 300 e 720 kg N ha⁻¹ rotação⁻¹ e 190 e 280 kg N ha⁻¹ rotação⁻¹ no 100A e 50A:50E, respectivamente (Tabela 3). O incremento de N no 50A:50E em relação a monocultura variou entre 190 e 290 kg N ha⁻¹ após uma rotação, o que são quantidades semelhantes ou maiores a adubação aplicada nas empresas.

Tabela 3 - Balanço de nitrogênio no solo após uma rotação de cultivo de acácia, na plantação homogênea e consorciada, após sucessivas plantações de eucalipto (fonte : Voigtlaender, 2012, alterada)

Balanço de Nitrogênio	ESALQ			Suzano		
	100A	50A:50E	100E	100A	50A:50E	100E
	Kg ha ⁻¹					
Fixação de N ₂	453	233	0	304	229	0
Exportação de N biomassa de lenho	198	147	201	160	168	169
Incremento de N em relação 100E	456	287	0	313	230	0
	International Paper			Cenibra		
Fixação de N ₂	243	160	0	845	334	0
Exportação de N biomassa de lenho	135	162	191	288	215	159
Incremento de N em relação 100E	299	189	0	716	278	0

Ciclo de nitrogênio no Congo

As condições mais favoráveis para o crescimento de *A. mangium* (alta temperatura e umidade do ar) e a baixa disponibilidade de N no solo (Laclau et al., 2010) levou a uma fixação de N₂ atingindo, 210 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ no 100A e 140 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ no 50A:100E nos 3 primeiros anos após o plantio (Tabela 4).

Tabela 4 - Percentagem do N da *A. mangium* derivado da fixação atmosférica (Ndfa%) e quantidade de N fixado a 34 meses no Congo (fonte: Bouillet et al., 2010)

	100A	50A:100E
Ndfa% na biomassa em pé	84%	100%
Ndfa% depois do plantio	65%	90%
Total N na biomassa derivado da fixação biológica (kg N ha ⁻¹)	397	218
Total N derivado da fixação biológica depois do plantio (kg N ha ⁻¹)	592	341

Também se observou no mesmo período (do plantio até a idade de 34 meses) uma transferência de 35% do N das acácias para os eucaliptos no Congo (Figura 5). Esta transferência foi estimada por meio da equação (3) :

$$Tr = (\delta^{15}NEuc_{100E} - \delta^{15}NEuc_{50A:100E}) / (\delta^{15}NEuc_{100E} - \delta^{15}Nac_{50A:100E}) \quad (3)$$

Onde: Tr : transferência do N da *Acacia* para *Eucalyptus*; $\delta^{15}NEuc_{100E}$: abundância isotópica relativa natural de *Eucalyptus* no tratamento 100E; $\delta^{15}NEuc_{50A:100E}$: abundância isotópica relativa natural do *Eucalyptus* no tratamento 50A:100E; $\delta^{15}Nac_{50A:100E}$: abundância isotópica relativa natural de *Acacia* no tratamento 50A:100E

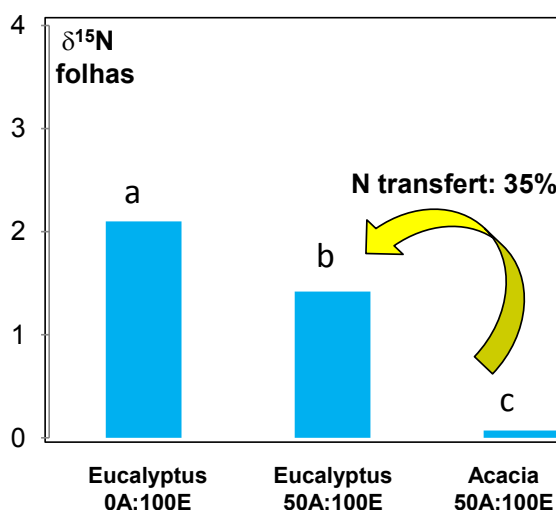


Figura 5 - Estimativa da transferência de N, nos 34 primeiros meses depois do plantio, de *A. mangium* para *E. urophylla*grandis* no Congo no tratamento 50A:100E

CONSIDERAÇÕES FINAIS: PLANTIOS MISTOS DE *EUCALYPTUS* E ESPÉCIE FIXADORA DE NITROGÊNIO (EFN): ONDE E POR QUÊ?

Nas áreas ótimas para a produção das monoculturas de eucaliptos

A associação de uma leguminosa como *A. mangium* nos plantios de eucaliptos aumenta a intensidade do ciclo de N, mesmo quando a limitação hídrica não permite uma produção maior dos povoamentos ao final da rotação. Nestas regiões (SP, MG, BA), a introdução de *A. mangium* como sub-bosque permitiria reduzir ou mesmo suprimir a fertilização nitrogenada. A associação de leguminosas poderia aumentar também a disponibilidade do P mineral para acidificação da rizosfera e a do P orgânico pela produção de fosfatases (dados não mostrados).

A área foliar maior nos plantios mistos conduzindo ao fechamento mais rápido da copa e o desenvolvimento menor das ervas daninhas poderia reduzir significativamente a aplicação de herbicidas nas plantações. Outra opção, nesta parte do Brasil poderia ser uma rotação com plantação homogênea com espécie arbórea fixadora de N (EFN) após várias rotações com plantios de eucaliptos, para ajudar a manter a fertilidade de N do solo, com um manejo compatível com as práticas adotadas pelas empresas florestais.

Além das outras vantagens potenciais, como a diversificação dos produtos (carvão), em particular para os pequenos produtores, as plantações consorciadas poderiam reduzir a ocorrência dos problemas fitopatológicos. Desta forma, um experimento foi instalado em maio de 2013 na estação experimental de Itatinga para testar o efeito de *A. mangium* no desenvolvimento da ferrugem para os eucaliptos.

Nas regiões marginais para monoculturas de eucaliptos

Uma parte importante de futura expansão das plantações de eucaliptos no Brasil (previsão > 10 milhões ha em 2020, ABRAF, 2011) deveria acontecer em regiões marginais para monoculturas (por causa da forte umidade e/ou nebulosidade, das altas temperaturas...). Os resultados obtidos no Congo mostraram a potencialidade de maior produção (+20-30%) nas plantações consorciadas que nas monoculturas de eucaliptos.

A associação de uma EFN também poderia ser decisiva para a sustentabilidade destas plantações, estabelecidas em uma parte importante em pastagens degradadas com deficiências fortes de N nos solos e grandes riscos de perdas de nutrientes pela drenagem profunda. Para tanto, a atual rede de experimentos para plantios mistos de eucaliptos com *A. mangium* será expandida ao Norte do Brasil

(PA, AMA, TO), no âmbito do projeto temático « Intensificação ecológica ». Os objetivos serão validar os resultados do Congo em um clima similar, monitorar a ciclo de N e definir melhor uma silvicultura específica para as plantações consorciadas (densidades, arranjo das espécies, desramas).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo suporte do projeto temático FAPESP (2010/16623-9), o projeto “Intens&Fix” (ANR-2010-STRA-004-03), Suzano, Cenibra e International Paper.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010**. Brasília: ABRAF, 2011. 130 p.

BOUILLET J.-P.; LACLAU J.-P.; GONÇALVES J. L. M.; VOIGTLAENDER M.; GAVA J.L.; LEITE F.P.; HAKAMADA R.; MARESCHAL L.; MABIALA A.; TARDY F.; LEVILLAIN J.; DELEPORTE P.; EPRON D.; NOUVELLON Y. Eucalyptus and Acacia tree growth and stand production over a full rotation in single- and mixed-species plantations across 5 sites in Brazil and Congo. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 89 -101, 2013.

CORBEEL, S. M.; MCMURTRIE, R. E.; PEPPER, D. A.; MENDHAM, D. S.; GROVET, T. S.; O’CONNELL, A. M. Long-term changes in productivity of eucalypt plantations under different harvest residue and nitrogen management practices: A modelling analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 217, n. 1, p. 1 - 18, 2005.

DU TOIT, B.; SCHOLLES, M.C. Nutritional sustainability of Eucalyptus plantations: A case study at Karkloof, South Africa. **Southern African Forestry Journal**, v. 195 , p. 63-72, 2002.

FERTILIZEWORKS. Disponível em: < <http://fertilizerworks.com/> >. Acesso em: 01 mar. 2014.

FISHER, R. F.; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soils**. New York : John Wiley & Sons Inc., 2000. 489 p.

GRACIANO, C.; GOYA, J. F.; ARTURI, M.; PÉREZ, C.; FRANGI, J. L. Fertilization in a fourth rotation eucalyptus grandis plantation with minimal management. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 26, p. 155-169, 2008.

LACLAU J. P.; RANGER J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A. V.; THONGO, M’BOU A.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations. Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771-1785, 2010.

MACKENSEN, J.; FÖLSTER, H. Cost-analysis for a sustainable nutrient management of fast growing-tree plantations in East-Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 131, p. 239-253, 2000.

PULITO A. P. **Resposta a fertilização nitrogenada e estoques de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de Eucalyptus**. 2009. 59 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

VOIGTLAENDER, M. **Produção de biomassa aérea e ciclagem de nitrogênio em consórcio de genótipos de Eucalyptus com Acacia mangium**. 2012. 86 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

Respostas às fertilizações com doses crescentes de N-P-K em quatro sítios florestais

Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo

Doutorando em Recursos Florestais da ESALQ/USP, eascmelo@yahoo.com.br

Rodrigo Eiji Hakamada

Pesquisador Florestal da International Paper, rodrigo.hakamada@ipaper.com

Daiana Queiroz

Engenheira Florestal da Ramires Reflorestamentos, Daiana@ramires.com.br

Jarbas Silva Borges

Engenheiro de Solos e Nutrição Florestal da Duratex, Jarbas.borges@duratex.com.br

José Leonardo de Moraes Gonçalves

Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, jlmgonca@usp.br

INTRODUÇÃO

As florestas plantadas possuem importante papel na sustentabilidade da produção florestal mundial, dada sua capacidade de atenderem a crescente demanda por produtos de base florestal e de aliviar a pressão sobre as florestas naturais (HUNTER, 2001), contudo as áreas férteis diminuem com a expansão das cidades e a degradação dos solos (BRADY; WEIL, 2002; RINGROSE; NEILSEN, 2005).

Em condições de limitação nutricional os plantios florestais se adaptam, disponibilizando mais energia para desenvolvimento do sistema radicular em detrimento da parte aérea (MISRA et al., 1998), resultando em perdas de produtividade. Para suprir a demanda nutricional dos plantios faz-se necessário a fertilização, no entanto levantamentos realizados com as principais jazidas de extração de matéria prima para fertilizantes do mundo verificaram eminente esgotamento de fontes de alguns nutrientes (FAO, 2008) como o P e K.

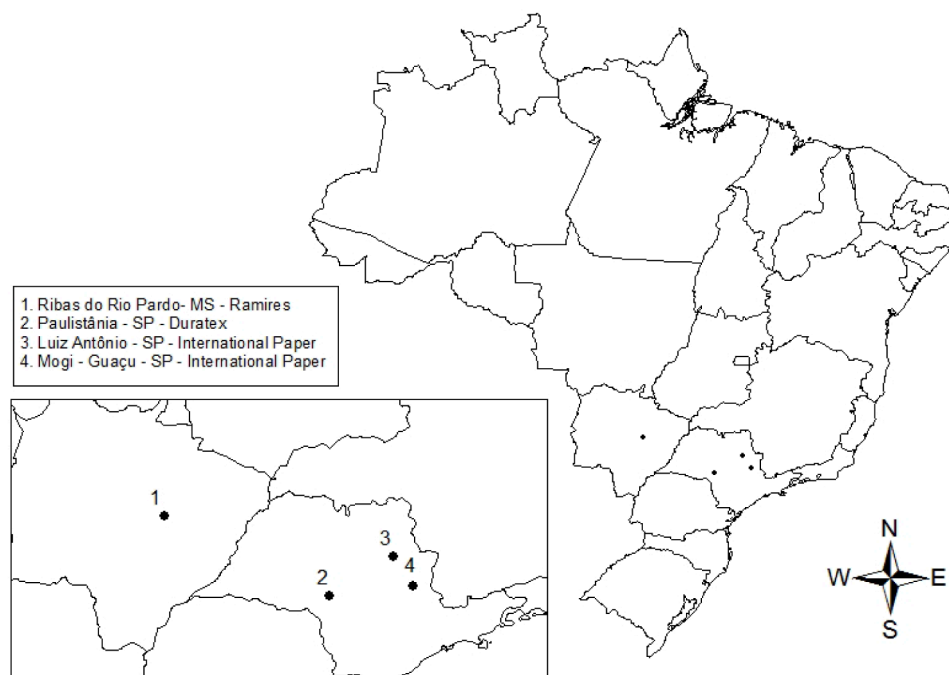
O esgotamento dessas fontes acarretará no aumento do preço dos fertilizantes (FIXEN; JOHNSTON, 2012; SMETHURST, 2010; STEWART, et al., 2005), prejudicando a produção de florestas e a agricultura em escala global.

Diante da necessidade de otimizar o uso desse recurso, instalou-se uma rede experimental sobre fertilização em plantações clonais de eucalipto para avaliar, por meio de inventários, a resposta à fertilização nitrogenada, fosfatada e potássica e calibrar as doses de fertilizantes para a melhor relação custo-benefício.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização dos sítios experimentais

Os experimentos foram instalados em quatro sítios experimentais em parceria com as empresas florestais Ramires, Duratex e International Paper (Figura 1), sendo nesta última, instalado em dois locais distintos. A instalação ocorreu entre novembro e dezembro de 2008 (Ramires e Duratex) e novembro de 2009 (International Paper). Os materiais genéticos adotados diferenciaram-se entre os sítios sendo utilizados os clones de maior interesse comercial de cada empresa (Tabela 1).

**Figura 1** - Localização dos sítios experimentais**Tabela 1** – Localização, informações climáticas, altitude e genótipos dos sítios experimentais

Município	Clima ¹	TMA	P	DH	EXC	ETP	ETR	Altitude	Genótipo
		°C			mm			m	
Ribas do Rio Pardo (MS)	Aw	21,6	1.230	70,3	258,6	1041,8	971,4	530	<i>E. grandis</i> vs <i>E. urophylla</i>
Paulistânia (SP)	Cwa	21,6	1.170	62,3	192,7	1039,8	977,3	610	<i>E. grandis</i> vs <i>E. urophylla</i>
Luiz Antônio (SP)	Aw	22,0	1.461	110,3	506,8	1064,5	954,2	638	<i>E. urophylla</i> vs <i>E. globulus</i>
Mogi-Guaçu (SP)	Cwa	21,7	1.325	36,0	337,0	1047,0	988,0	591	<i>E. urophylla</i> vs <i>E. globulus</i>

¹ Classificação segundo Köppen; TMA - temperatura média anual; P - precipitação média anual; DH - déficit hídrico; EXC - excedente hídrico; ETP - evapotranspiração potencial; ETR - evapotranspiração real

Os quatro sítios apresentam solos com baixos teores de argila (Tabela 2) e baixa disponibilidade de K (Tabela 3). A disponibilidade de P em Ribas do Rio Pardo é considerada baixa (GONCALVES, 2011), enquanto Paulistânia apresenta teores médios e Luiz Antônio e Mogi-Guaçu apresentam teores altos para o nutriente. Já o Ca apresenta baixas concentrações em Paulistânia e em Ribas do Rio Pardo.

Tabela 2 – Atributos físicos dos solos na camada 0-20cm dos quatro sítios experimentais

Local	Areia			Silte	Argila
	Grossa	Fina	Total		
	%				
Ribas do Rio Pardo (MS)	28,8	62,3	91,5	2,0	6,5
Paulistânia (SP)	46,0	40,0	86,0	2,0	12,2
Luiz Antônio (SP)	59,9	16,1	75,9	4,8	19,3
Mogi-Guaçu (SP)	14,6	57,9	72,5	15,2	12,3

Tabela 3 - Atributos químicos dos solos na camada 0-20cm dos quatro sítios experimentais antes da instalação dos ensaios

Local	pH CaCl ₂	M.O.	P Resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	V
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³								%
Ribas do Rio Pardo	4,0	14,8	1,8	0,3	1,8	1,0	31,3	7,0	3,1	34,3	8,8
Paulistânia	3,6	11,5	3,0	0,5	3,0	2,0	40,5	9,0	6,0	46,5	12,5
Luiz Antônio	4,4	18,2	8,3	0,7	12,8	5,8	55,9	5,2	19,3	75,2	25,7
Mogi-Guaçu	3,8	22,4	17,1	0,8	8,0	5,3	79,9	12,5	14,1	94,1	15,4

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Consiste em 14 tratamentos (Tabela 4), sendo testadas doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. A resposta à fertilização é testada isolando a influência de cada nutriente na produtividade, para isso os demais nutrientes são aplicados em doses fixas em quantidade adequada para não haver limitação de outro nutriente.

Tabela 4 - Código e doses dos nutrientes nos diferentes tratamentos

Tratamento	Código	Nutriente ⁽¹⁾	Dose kg ha ⁻¹	NPK
1	Test	Testemunha		10-10-10
2	ADCO	Fert. Com. ⁽²⁾		
3	N0	N	10	10-90-150
4	N50	N	50	50-90-150
5	N100	N	100	100-90-150
6	N150	N	150	150-90-150
7	N100 ⁽³⁾	N	100	100-90-150
8	P0	P ₂ O ₅	0	100-0-150
9	P30	P ₂ O ₅	30	100-30-150
10	P60	P ₂ O ₅	60	100-60-150
5	P90	P ₂ O ₅	90	100-90-150
12	K0	K ₂ O	0	100-90-0
13	K50	K ₂ O	50	100-90-50
14	K100	K ₂ O	100	100-90-100
5	K150	K ₂ O	150	100-90-150
16	Ca0	Ca	0	100-90-150
5	Ca2	Ca	2000	100-90-150

⁽¹⁾ Fontes dos nutrientes: N - Nitrato de Amônio (NA); P - Superfosfato Triplo (ST); K - Cloreto de Potássio (KCl); B - Ulexita Acidificada ("Borogran"); ⁽²⁾ Fertilização comercial realizada pela empresa; ⁽³⁾ Fonte de N é a Uréia.

Para evitar deficiência por micronutrientes, foi aplicado em todos os tratamentos e os sítios, FTE BR 9 ou 12 na dose de 20 kg ha⁻¹ e ulexita acidificada (10% B) na dose de 50 kg ha⁻¹.

Além dos tratamentos propostos, em cada sítio foram instalados adicionalmente tratamentos específicos de interesse das empresas, sendo em Ribas do Rio Pardo a aplicação de Fosfato Natural (FN); em Luiz Antônio e em Mogi-Guaçu a utilização de um segundo material genético submetido à fertilização comercial da empresa; em Paulistânia foram adicionados mais dois pontos na curva de potássio, com aplicação de 230 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O.

Volume e Produtividade Relativa

Foram avaliados a altura e o diâmetro à altura do peito (DAP) aos 24 e 36 meses para determinação do volume (m³ha⁻¹), sendo calculado as médias, o erro padrão e a análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produtividade relativa (PR) permitiu comparar os ganhos de produtividade entre diferentes sítios e idades pela equação:

$$PR = \frac{\text{Tratamento}}{\text{Testemunha}} \times 100$$

PR: Produtividade Relativa (%);

Tratamento: volume do tratamento analisado, em m³ ha⁻¹;

Testemunha: volume do tratamento testemunha, em m³ ha⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento em volume aos 24 meses

Em Ribas do Rio Pardo as maiores produtividades foram obtidas a partir dos tratamentos com doses crescentes de P_2O_5 e K_2O , consequência da baixa disponibilidade destes nutrientes no solo. De acordo com Gonçalves, 2011, teores de P inferiores a 4 mg dm^{-3} de solo são considerados baixos e consequentemente respondem a complementação nutricional por meio de fertilizantes minerais. Para K, níveis inferiores a $0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo apresentam ganhos consideráveis em produtividade para plantios de eucalipto na ocorrência de práticas de fertilização com este nutriente. A aplicação do P gerou ganhos de produtividade que variaram de 66 a 101% em relação à testemunha. Para o K os ganhos variaram de 68 a 101%. Os tratamentos P30, P60 e P90 não diferiram entre si. Para K, K150 não diferiu de K100.

Em Luiz Antônio, devido ao elevado teor de P no solo (acima de 6 mg dm^{-3}) não houve resposta a fertilização fosfatada. O K apresentou respostas quando aplicado comparativamente à testemunha. As maiores respostas verificadas nesse sítio foram para o N, de acordo com Gonçalves et al (2011) para teores de M.O. entre $16\text{--}40 \text{ g dm}^{-3}$, recomenda-se a aplicação de 40 kg ha^{-1} de N, contudo foram encontradas respostas a fertilização com 100 e 150 kg ha^{-1} de N.

Em plantações de *E. globulus* fertilizadas com N, P e K no sudeste australiano, o nitrogênio mostrou-se como o nutriente de maior resposta a fertilização, superando a resposta a aplicação de P_2O_5 (BENNETT et al., 1997). No entanto é de se esperar que estas diferenças diminuam com a idade devido as reservas presentes no solo e o aumento do processo de ciclagem de nutrientes, assim como verificado por Pulito (2009).

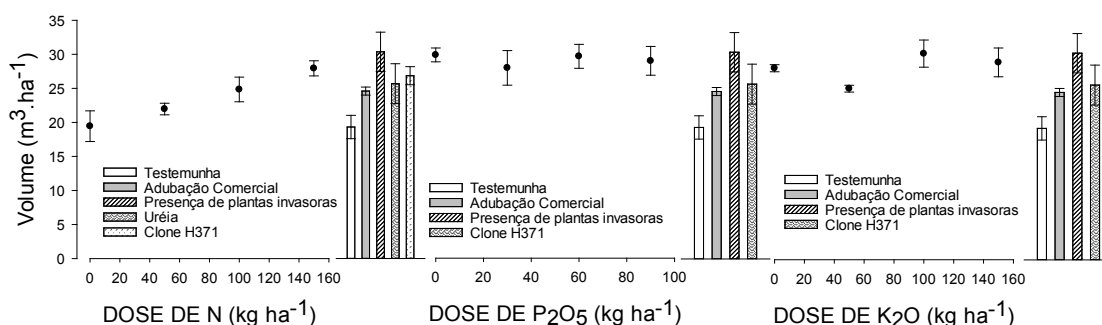


Figura 2 - Crescimento em volume aos 24 meses de idade em Luiz Antônio, com doses crescentes de N (a), de P_2O_5 (b) e de K_2O (c). O erro padrão é apresentado em intervalos junto ao valor da altura

Em Mogi-Guaçu, a aplicação de N diferiu apenas de N0, os tratamentos N50, N100 e N150 não diferiram entre si. As maiores respostas foram para as doses crescentes de P_2O_5 . Para o K_2O a aplicação do nutriente gerou ganhos de até 16%.

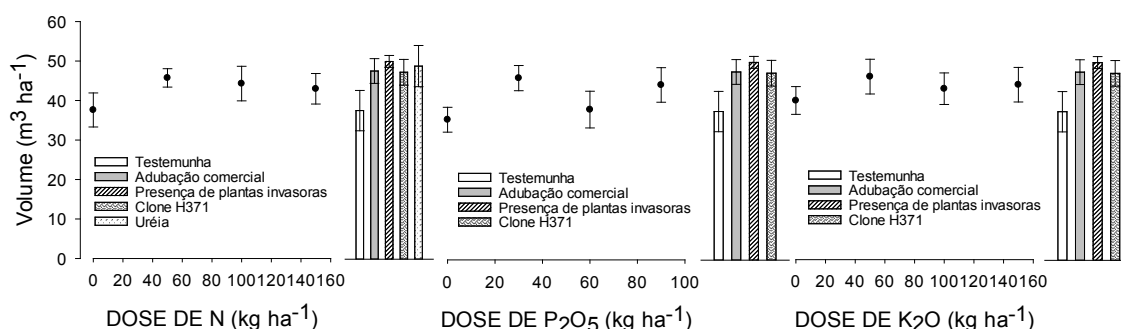


Figura 3 - Crescimento em volume aos 24 meses de idade em Mogi Guaçu, com doses crescentes de N (a), de P_2O_5 (b) e de K_2O (c). O erro padrão é apresentado em intervalos junto ao valor da altura.

Crescimento em volume aos 36 meses

Em Ribas do Rio Pardo os ganhos em volume variaram de 13,2 a 28,3 m³ ha⁻¹ para as diferentes doses de N (Figura 4). Em Paulistânia o incremento variou de 7,0 a 20,8 m³ ha⁻¹ (Tabela 6). A omissão de N com aplicação de P₂O₅ e K₂O apresentou ganhos em ambos os sítios quando comparados ao tratamento testemunha, indicando a demanda pelos últimos dois nutrientes.

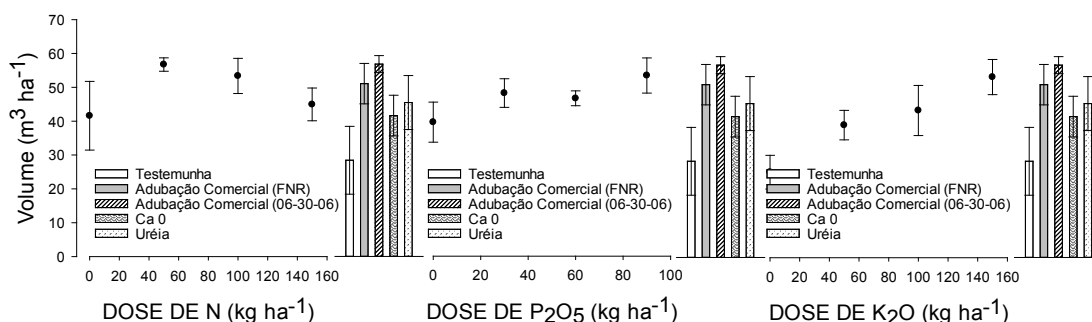


Figura 4 - Crescimento em volume aos 36 meses de idade em Ribas do Rio Pardo, com doses crescentes de N (a), de P₂O₅ (b) e de K₂O (c). O erro padrão é apresentado em intervalos junto ao valor da altura

A aplicação de P₂O₅ apresentou respostas crescentes para os dois sítios. Em Ribas do Rio Pardo, o crescimento em volume para os tratamentos com doses crescentes de P₂O₅ variou de 39,6 a 53,4 m³ ha⁻¹.

Para Paulistânia, os valores ficaram entre 95,6 a 115,1 m³ ha⁻¹. Ainda neste sítio, a omissão de P foi o tratamento de menor crescimento, indicando a limitação do sítio quanto ao P presente no solo (Figura 5). Quanto ao K, a diferença entre a não aplicação de K₂O e a aplicação de 230 kg ha⁻¹ foi de 10,3 m³ ha⁻¹ sobre a produção de madeira aos 36 meses.

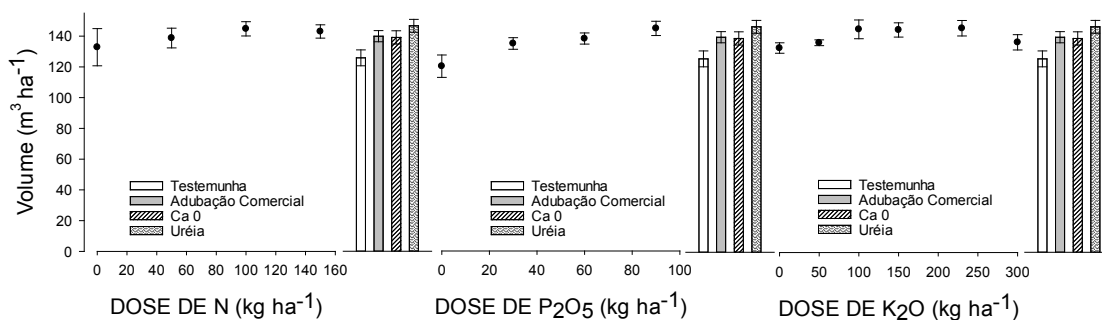


Figura 5 - Crescimento em volume aos 36 meses de idade em Paulistânia, com doses crescentes de N (a), P₂O₅ (b) e K₂O (c). O erro padrão é apresentado em intervalos junto ao valor da altura

Em Paulistânia as aplicações de K₂O em diferentes doses apresentaram diferenças apenas entre a omissão do nutriente e os demais tratamentos (Tabela 6). A baixa resposta à aplicação de K contrasta com o teor do nutriente no solo, 0,5 mmol_c dm⁻³, o que pode indicar a presença de fontes de K pouco disponíveis que não foram determinadas durante a análise química do solo. A curva de resposta à fertilização para K deixa evidente a demanda pelo nutriente no sítio de Ribas do Rio Pardo, devido à baixa concentração no solo e a baixa capacidade de retenção do nutriente mineralizado (adsorção).

As omissões de K em Ribas do Rio Pardo e de P em Paulistânia apresentaram as menores produtividades relativas, inferiores ao tratamento testemunha, no qual foram aplicados 10 kg ha⁻¹ por macronutriente primário (N, P e K), o que indica estes como os nutrientes de maior limitação ao crescimento para cada um dos sítios.

As fertilizações comerciais praticadas em Ribas do Rio Pardo (Adco e Trat. Esp.1) aos 24 meses de idade diminuíram seu ritmo de crescimento e apresentaram crescimento próximo aos demais tratamentos. O tratamento com Fosfato Natural de Araxá (FN Araxá) demonstrou perda no vigor de crescimento e pelo fato de se tratar de um fosfato natural apatítico não deve apresentar alterações na resposta até o final do ciclo, uma vez que não ocorrerá liberação gradual de P. Aos 24 meses o volume do tratamento com FN de Araxá era de $16,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ enquanto que a fertilização comercial com N-P-K (06-30-06) correspondia a $17,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, aos 36 meses o volume para o FN foi de $51,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ enquanto a aplicação de 06-30-06 correspondeu a $56,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Tabela 6 - Produtividade ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e Produtividade relativa (%) dos diferentes tratamentos aos 36 meses de idade

Tratamento	Ribas do Rio Pardo		Paulistânia	
	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
	$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	%	$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	%
Test	28,4	h	125,8	de
ADCO	56,8	a	139,9	abc
N0	41,6	efg	132,8	cd
N50	56,7	a	138,8	abc
N100	53,4	ab	144,8	ab
N150	44,9	defg	143,0	abc
Uréia	45,5	cdef	146,6	a
P0	39,6	fg	120,2	e
P30	48,2	bcd	135,0	bcd
P60	46,6	cde	138,2	abc
P90	53,4	ab	144,8	ab
K0	25,3	h	133,0	cd
K50	39,2	f	136,4	abcd
K100	43,5	defg	145,2	ab
K150	53,4	ab	144,8	ab
Ca0	41,6	efg	139,1	abc
Trat. Esp.1*	51,0	abc	145,9	ab
Trat. Esp.2**	--	--	136,7	abcd

Trat. Esp.1*: Em R. do Rio Pardo representa a aplicação de FN empresa e em Paulistânia representa a fertilização com 100 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 230 kg ha^{-1} de K_2O . **Trat. Esp.2**:** Em Paulistânia representa a fertilização com 100 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 300 kg ha^{-1} de K_2O

Produtividade relativa

Para as aplicações de N (Figura 6), os incrementos mais expressivos ocorreram em Ribas do Rio Pardo e Luiz Antônio, aonde os ganhos chegaram a 242 e 145% respectivamente.

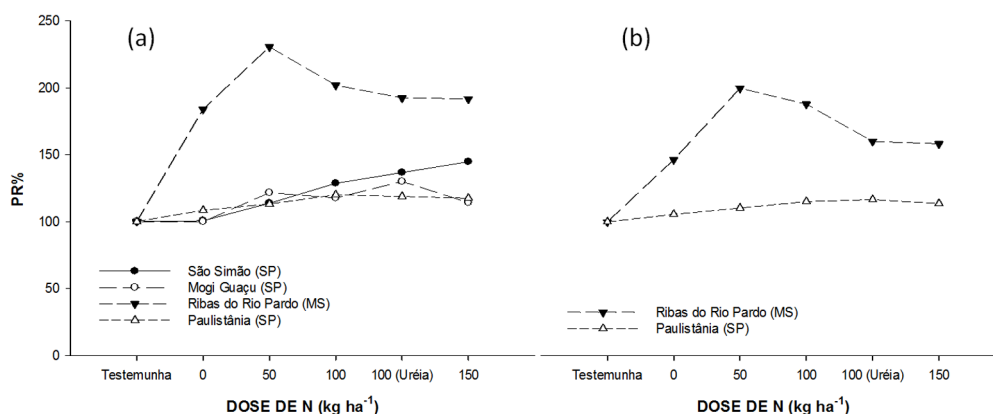


Figura 6 - Produtividade relativa (PR%) entre as diferentes doses de N aplicadas de acordo com as medições realizadas aos 24 (a) e 36 (b) meses pós plantio

Para o P, foram obtidas respostas em todos os sítios, sendo que aos 24 meses verificaram-se ganhos máximos variando entre 20 a 101% (Figura 7). Aos 36 meses estes incrementos em produtividade foram de 15 e 87% quando comparados à testemunha.

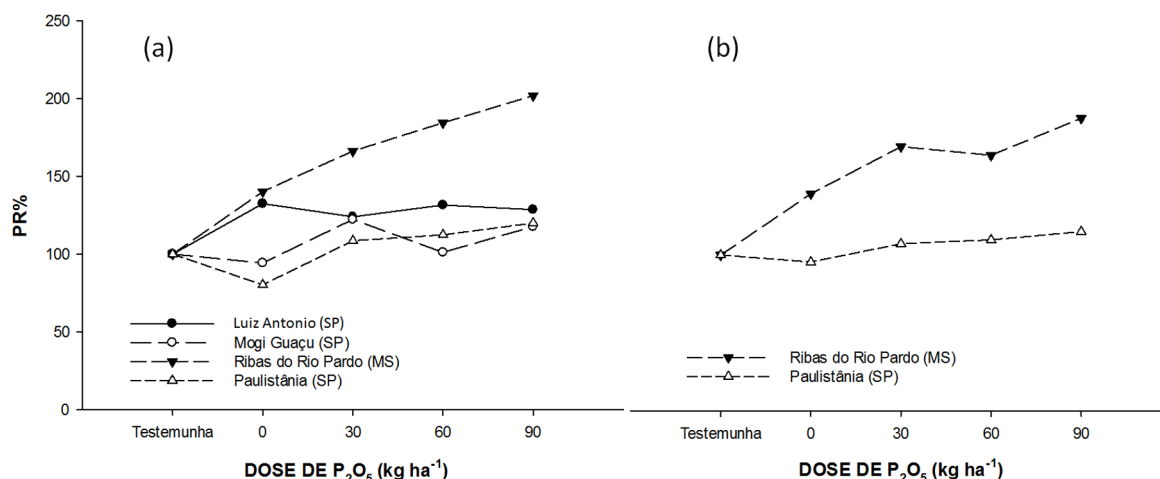


Figura 7 - Produtividade relativa (PR%) entre as diferentes doses de P_2O_5 aplicadas de acordo com as medições realizadas aos 24 (a) e 36 (b) meses pós plantio

As aplicações de K em doses crescentes do nutriente obtiveram as maiores respostas em Ribas do Rio Pardo, onde os ganhos atingiram valores próximos a 200%, estes ganhos foram verificados aos 24 e 36 meses (Figura 8), evidenciando a baixa disponibilidade do nutriente no sítio e a demanda por fertilização com K.

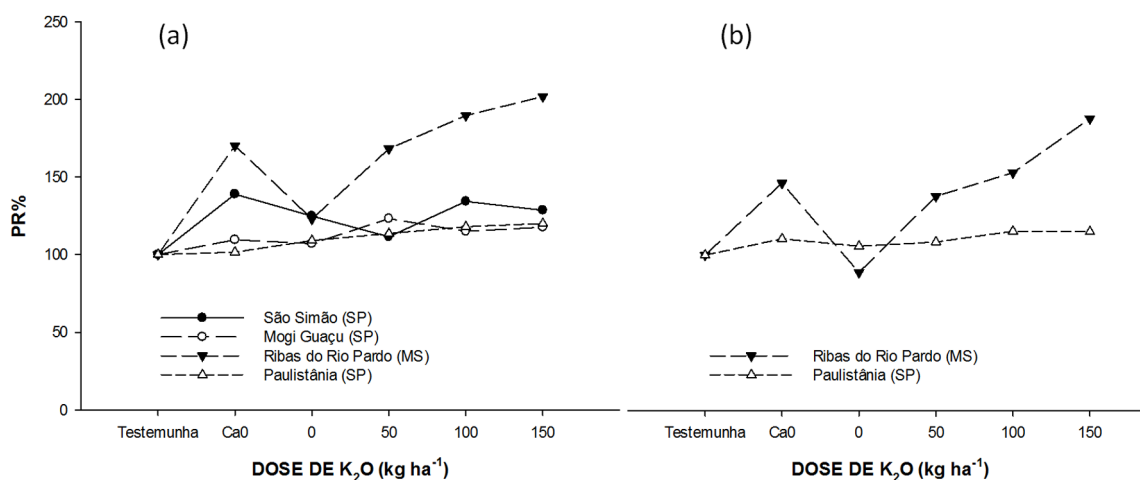


Figura 8 - Produtividade relativa (PR%) entre as diferentes doses de K_2O aplicadas de acordo com as medições realizadas aos 24 (a) e 36 (b) meses pós-plantio

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram respostas distintas entre os sítios. Em Luiz Antônio verificou-se maiores respostas para K, em Paulistânia e Mogi-Guaçu para o P e em Ribas do Rio Pardo para os três macronutrientes. Ainda que iniciais, os resultados indicam boas calibrações realizadas para cada sítio, uma vez que em geral os tratamentos comerciais apresentaram as maiores respostas em volume.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENNETT, L.T.; WESTON, C. J.; ATTIWILL, P. M. Biomass, nutrient content and growth response to fertilisers of six-year-old *Eucalyptus globulus* plantations at three contrasting sites in Gippsland, Victoria. **Australian Journal of Botany**, v. 45, p. 103-121, 1997.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R.. **The nature and properties of soils**. 13 ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 881 pg.
- FAO. **Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12**. Rome: FAO, 2008.
- FIXEN, P. E.; JOHNSTON, A. M. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 5, p. 1001-1005, 2012.
- GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantações de eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 2., 2011, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: PTSM/IPEF/ESALQ/FUPEF, 2011. p. 87-113.
- HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, v. 144, n. 1-3, p. 189-200, 2001.
- MISRA, R. K.; TURNBULL, C. R. A.; CROMER, R. N.; GIBBONS, A. K.; LASALA, A. V.; BALLARD, L. M. Below-and above-ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation - II. Nitrogen and phosphorus. **Forest Ecology and Management**, v. 106, n. 2-3, p. 295-306, 1998.
- PULITO, A.P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de Eucalyptus**. 2009. 58 P. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- RINGROSE, C.; NEILSEN, W. A. Growth response of *Eucalyptus regnans* and soil changes following periodic fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 6, p. 1806-1812, 2005.
- SMETHURST, P. J. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1-2, p. 83-100, 2010.
- STEWART, W. M.; HAMMOND, L. L.; VAN KAUWENBERGH, S. J. Phosphorus as a natural resource. In: SIMS, J. T.; SHARPLEY, A. N. (Eds). **Phosphorus: agriculture and the environment**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 2005. v. 46, p.3-22. (Agronomy).

Volatilização de N em plantações de eucalipto fertilizadas com ureia

Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo

Engenheiro Florestal, Doutorando em Recursos Florestais ESALQ/USP, eascmelo@yahoo.com.br

José Carlos Arthur Junior

Engenheiro Florestal, Coordenador Técnico do PTSM/IPEF, arthur@ipef.br

José Leonardo de Moraes Gonçalves

Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP, jlmgonca@usp.br

INTRODUÇÃO

Dentre os três principais fertilizantes à base de N utilizados no Brasil, a ureia se destaca como o fertilizante de maior utilização correspondendo a 60% do total de fertilizantes nitrogenados comercializados. Espera-se também o crescimento do seu uso visto sua elevada concentração de N (45%), o alto custo do sulfato de amônio e as restrições impostas à comercialização e transporte de nitrato de amônio (CANTARELLA et al., 2008).

A principal desvantagem da ureia é devido ao seu potencial elevado de perda via volatilização. A volatilização é a perda de nitrogênio via compostos gasosos (CIVARDI et al., 2011) que ocorre devido à reação de hidrólise enzimática da ureia no solo promovida por microorganismos, produzindo amônia (NH_3) e, conseqüentemente, acarretando na perda de nitrogênio para a atmosfera (eq. 1).



Perdas por volatilização ocorrem principalmente quando a ureia é aplicada em cobertura e em condições de pH de caráter alcalino (SANGOI et al., 2003). Outros fatores também podem vir a aumentar as perdas de N por volatilização, como a temperatura do meio, a CTC, a umidade e o teor de argila do solo (BYRNES, 2000).

A diminuição do potencial de perda do nitrogênio ocorre quando a amônia passa para o íon amônio (NH_4^+), porém, para que isso ocorra alguns fatores são importantes como controle do pH, umidade do solo (DA ROS et al., 2005), entre outros. O objetivo dos autores com esta pesquisa foi quantificar as perdas de nitrogênio pela mensuração da volatilização da amônia após fertilização de cobertura em plantações florestais sob sistema de cultivo mínimo, utilizando como fonte de fertilizante nitrogenado a ureia.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento e características edafoclimáticas

O experimento foi instalado em dois sítios experimentais, nos municípios de Anhembi/SP e de Ribas do Rio Pardo/MS, nas empresas Suzano e Ramires, respectivamente, (Tabela 1), ambos em solos de textura arenosa.

Tabela 1 - Localização e características dos sítios experimentais

Empresa	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Clima	Solo	Textura
		S	W	m			
Suzano	Anhembi (SP)	22° 47'	48° 08'	480	Cfa	RQ	Arenosa
Ramires	Ribas do Rio Pardo (MS)	22° 27'	54° 37'	530	Aw	RQ	Arenosa

De acordo com a classificação de Köppen o tipo climático da região Anhembi é o Aw, definido como clima tropical com estação seca, chuvas de menos de 30 mm no mês mais seco, temperatura média acima de 24°C no mês mais quente e abaixo de 19°C no mês mais frio. Em Ribas do Rio Pardo o clima é classificado como Aw, clima tropical com estação seca, com chuvas inferiores a 40 mm no mês mais seco, temperatura média acima de 24°C no mês mais quente e abaixo de 20°C no mês mais frio.

Determinação da volatilização

A quantificação da perda de amônia por volatilização foi realizada com metodologia adaptada de Nömmik (1973). Utilizou-se coletor semiaberto estático, que se trata de uma câmara cilíndrica coletora, construída com tubos de PVC com dimensões de 353 mm de altura e 145 mm de diâmetro, conectadas sobre bases também de PVC, com as medidas de 150 mm de diâmetro e 60 mm de altura. A parte superior da câmara possui uma proteção para evitar contaminação do material coletado com agentes externos.

Foram instalados seis coletores, três em plantio de eucalipto fertilizado com 50 g de uréia planta⁻¹ e três coletores em plantio sem fertilização (Figura 1). Três termômetros foram utilizados para medir a temperatura máxima e mínima do ambiente e do solo. Os dados de precipitação foram obtidos a partir das estações meteorológicas mais próximas.

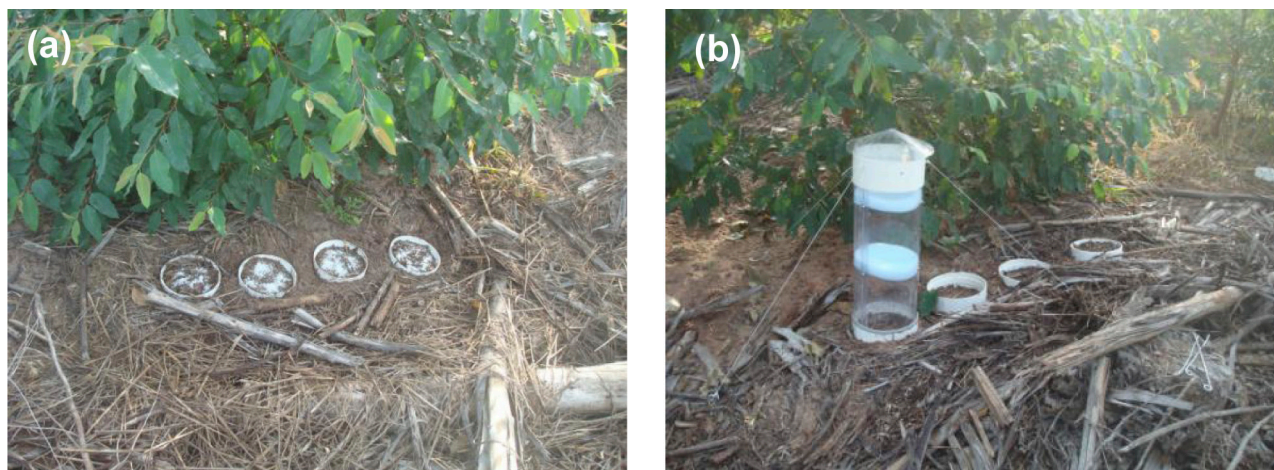


Figura 1 - (a) Aplicação de ureia em cobertura; (b) Equipamento instalado em campo

Após a instalação das bases foram realizadas as avaliações de volatilização de amônia. As esponjas foram trocadas em períodos determinados: 2, 4, 6, 8, 11, 14, 17, 21, 25 e 30 dias.

Depois de cada coleta, o fosfato de amônio resgatado nas esponjas era extraído mediante oito a dez lavagens sucessivas com solução de KCl (1 mol L⁻¹). O produto desta lavagem foi coletado em balões volumétricos e o volume ajustado para 500ml com a solução de KCl. De cada balão foi retirada uma alíquota de 20ml para determinação do teor de N-NH₃ em destilador de arraste de vapores semi-micro kjeldahl segundo metodologia de Tedesco et al. (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia

As informações de temperatura e precipitação obtidas durante o período dos testes foram coletadas e podem ser observadas nas figuras 2 e 3.

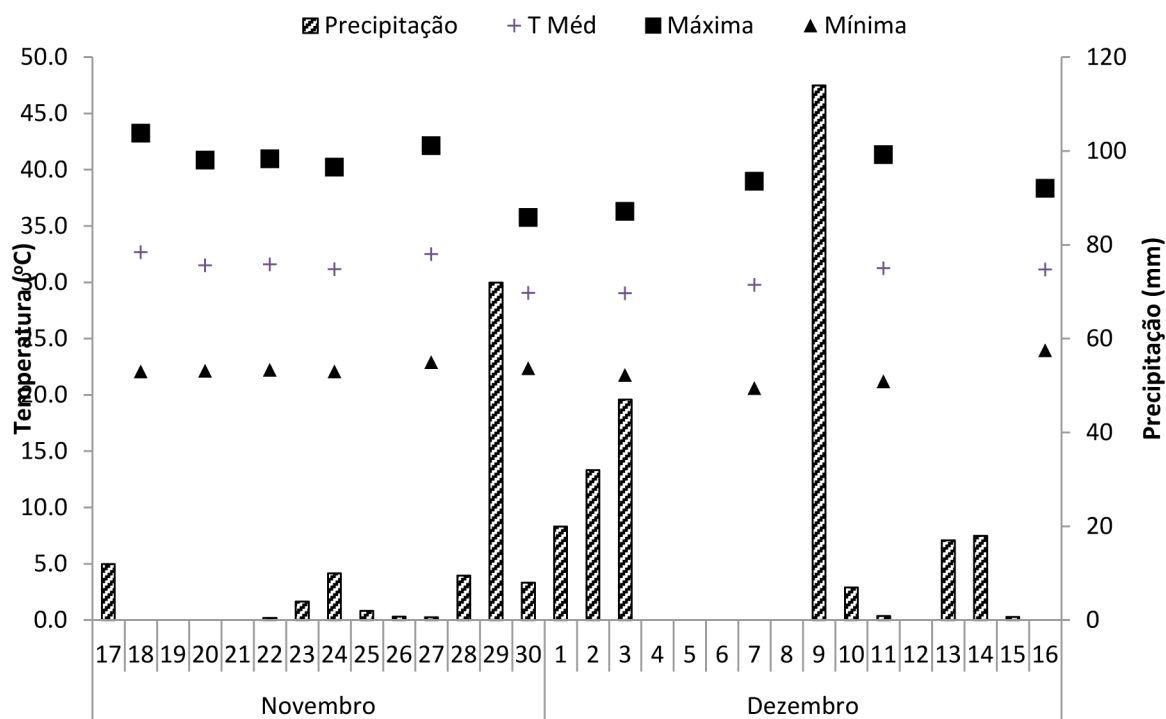


Figura 2. Dados de temperatura e precipitação durante a condução do experimento em Ribas do Rio Pardo, MS

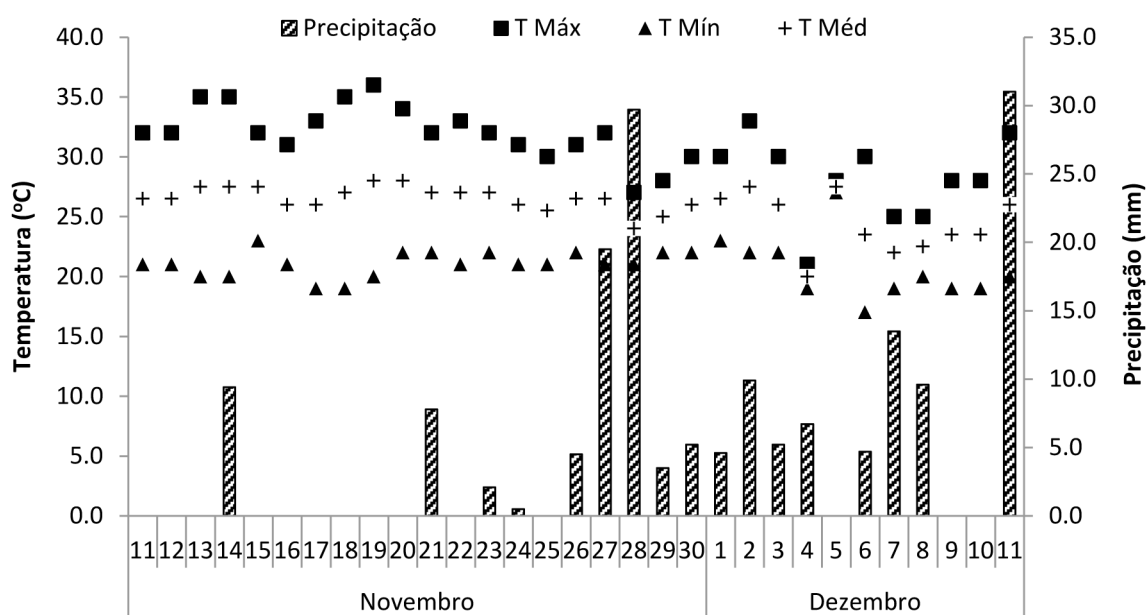


Figura 3. Dados de temperatura e precipitação durante a condução do experimento em Anhembi, SP

Os resultados mostraram até os 30 dias perdas acumuladas de amônia por volatilização, em plantações comerciais de eucalipto com máximas de 72% em Anhembi e 48% em Ribas do Rio Pardo (Figura 4).

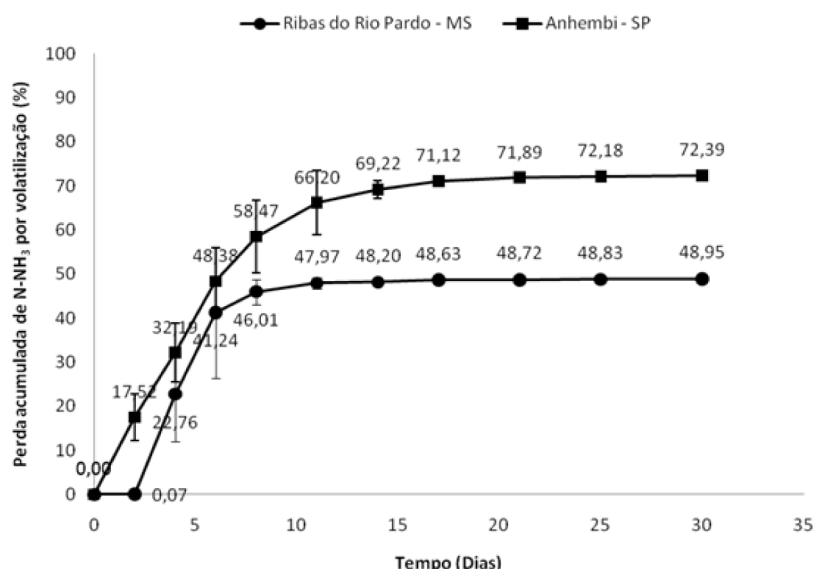


Figura 4. Perda Acumulada de N-NH₃ por volatilização. As barras verticais representam o intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade

As maiores perdas de N ocorreram durante os 10 primeiros dias para os dois sítios experimentais (Figura 2). Resultado semelhante ao encontrado por Duarte (2006), em estudo realizado na cultura do arroz (*Oryza sativa*), com as maiores perdas verificadas nos dois primeiros dias do ensaio. Cantarella et al., (2008) avaliando a resposta à aplicação de ureia em cana-de-açúcar verificaram que as maiores perdas por volatilização se deram durante os 7 primeiros dias após a aplicação. Os elevados índices de volatilização analisados no início do experimento se devem à rápida hidrólise que se inicia logo após a aplicação do fertilizante, (DUARTE, 2006; CANTARELLA et al., 2008; CIVARDI et al., 2011; SANGOI et al., 2003; MATTOS JÚNIOR, 2002).

A maior perda de nitrogênio por volatilização ocorreu na região de Anhembi atingindo perdas diárias de 18%.

Após os 10 primeiros dias, a perda por volatilização se mantém em níveis menores (Figura 3). Rodrigues e Kiehl (1986) e Hargrove (1988) afirmam que a expressiva redução na volatilização ocorre devido à movimentação da amônia para as camadas mais profundas do solo, onde a variação térmica e as temperaturas são mais amenas e o processo de volatilização é reduzido.

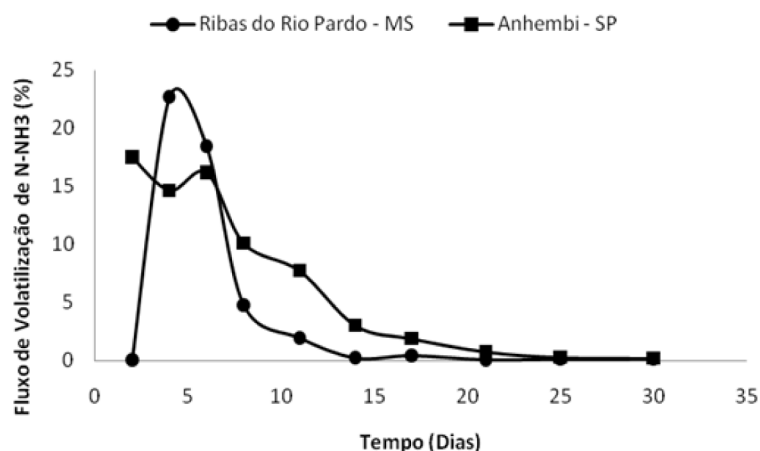


Figura 5. Fluxo de volatilização nos dois sítios.

A aplicação em superfície da ureia dificulta sua movimentação em solos com alta quantidade de resíduos, como os solos florestais sob cultivo mínimo, podendo aumentar as perdas do fertilizante por volatilização. Dentre as áreas de estudo verificou-se maior quantidade de resíduos no sítio de Anhembi, enquanto que em Ribas do Rio Pardo o solo encontrava-se sem cobertura.

Em Ribas do Rio Pardo no dia seguinte à instalação dos coletores registrou-se a ocorrência de precipitação, aumentando a solubilização da NH_3 e a percolação no solo, reduzindo o risco de perdas por volatilização (Figura 4).



Figura 6. Solubilização da ureia após precipitação em Ribas do Rio Pardo (esquerda) e protegida pelo coletor (direita)

Comparando os resultados entre os dois sítios experimentais, a variação de perdas de N por volatilização ultrapassa 23%. Isso pode ser explicado segundo alguns fatores que influenciam de forma acentuada a liberação de amônia para a atmosfera, dentre eles o teor de umidade e a temperatura do solo.

CONCLUSÃO

Dada a elevada perda por volatilização quando aplicada em cobertura, principalmente em sítios com presença de resíduos vegetais, recomenda-se precaução no uso de ureia em plantações florestais, devido à elevada presença de resíduos que podem dificultar o carregamento da ureia para camadas subsuperficiais, aumentando assim sua volatilização em forma de amônia. Desta forma, aconselha-se o uso deste fertilizante juntamente com métodos de aplicação específicos ou mesmo o uso de novos produtos de liberação controlada. Também se recomenda aplicar em períodos de elevada pluviosidade, de forma a aumentar a solubilização do fertilizante ao solo.

Os resultados apresentados não são definitivos, a interferência da precipitação, da temperatura do solo e do ambiente serão analisados, e apresentados na tese de Eduardo Melo prevista para o segundo semestre de 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. p.20-44.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia agrícola*, v. 65, n. 4, p.397-401, 2008.

CIVARDI, E. A.; NETO, A. N. S.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhido sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 631-637, 2003.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; RITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, v. 37, p. 705-711, 2007.

HARGROVE, W. I., Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions, In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. (Ed.) **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: NFDC, TVA, 1988. cap. 2 p. 17-36.

MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de citros. **Laranja**, v. 23, p. 263-270, 2002.

NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v. 39, p. 308-318, 1973.

RODRIGUEZ, M. B., KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego da uréia em diferentes doses em modo de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10. p. 37 – 43, 1986.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 687-692, 2003.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre : UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

Manejo de solos e nutrição de plantas na ArcelorMittal BioFlorestas

Roosevelt de Paula Almado

Gerência de Pesquisa Florestal e Meio Ambiente da
ArcelorMittal BioFlorestas, roosevelt.almado@arcelmittal.com.br

Lafayette Gonçalves Campelo Martins

Consultor, lafayette.campelo@gmail.com

RESUMO

Este trabalho destaca como a ArcelorMittal BioFlorestas vem conduzindo o manejo de solos e a nutrição de suas florestas visando à manutenção do seu sistema florestal produtivo dentro de premissas de sustentabilidade. A evolução do manejo de solos e da nutrição de plantas se caracterizou basicamente com a adoção de três diretrizes: **i) Redução da exposição do solo às intempéries climáticas e ambientais** (através da eliminação do uso de fogo no preparo de solo e prática de cultivo mínimo com a manutenção dos resíduos vegetais no solo); **ii) Melhoria das condições de desenvolvimento da floresta** (desenvolvimento do projeto de mapeamento de solos em toda a área produtiva da empresa, aplicação de técnicas de monitoramento nutricional para os cultivos florestais em fase de desenvolvimento); **iii) Restauração da biodiversidade** (por meio da formação de corredores ecológicos, da recuperação de áreas degradadas, da redistribuição das áreas de reserva florestal e de preservação permanente, do levantamento e do monitoramento de flora e de fauna com indicações de como potencializar os atributos positivos do manejo florestal comercial aliada a conservação);

INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal BioFlorestas Ltda, é uma empresa do Grupo ArcelorMittal Brasil, responsável pela área florestal, produz anualmente 350.000 toneladas de biorredutor para uso siderúrgico oriundo de florestas sustentáveis de *Eucalyptus* possuindo as seguintes certificações: Manejo Florestal e Cadeia de Custódia pelo FSC, OHSAS 18001:2007, ISO 14001:2004. A empresa possui aproximadamente 100.000 hectares de efetivo plantio nos estados de Minas Gerais e da Bahia.

Com a retomada das atividades de formação de novos cultivos florestais em 2002 foi destacada a necessidade de se conhecer o ambiente com o propósito de se atribuir um adequado manejo nutricional e de preparo de solo, nas fases de plantio e de manutenção florestal. A implantação de um programa de mapeamento de solos era fundamental para assegurar as produtividades volumétricas de madeira para cada região da empresa.

O conhecimento das características morfológicas, químicas e físicas do solo, possibilitou à área técnica indicar as recomendações adequadas para se atuar de maneira equilibrada com o meio ambiente, na qual todas as limitações apresentadas passaram a ser compreendidas e as ações operacionais melhor direcionadas. A interação destas características com a microbiota do solo vem possibilitando adequado equilíbrio do sistema para o desenvolvimento da planta.

As relações do sistema solo-planta existentes, estão intimamente correlacionadas às características climáticas, desde a formação do solo, onde os processos de intemperismo das rochas foram/são fortemente influenciados, como o efeito da pluviometria, através da ação da água no sistema, funcionando como veículo para os nutrientes disponíveis e, ou, fornecidos ao solo.

As investigações no programa de mapeamento de solos visaram à disponibilização de informações importantes para a indicação de formulações, de dosagens e de épocas de aplicação de fertilizantes, na implantação, no manejo dos solos (preparo e conservação) e na manutenção das florestais.

As estratégias de ação estabelecidas com foco em solos e nutrição florestal são explicitadas nos itens seguintes.

PROGRAMA DE MAPEAMENTO DE SOLOS

Teve como objetivo realizar estudo nas áreas de atuação da empresa com antecedência ao programa de formação de novos plantios, disponibilizando informações técnicas para adequar o manejo de fertilização e o preparo do solo na implantação e na manutenção nutricional dos povoamentos.

Por meio da fotointerpretação preliminar das áreas, foram indicados os locais para a abertura de trincheiras, numa proporção de 1 trincheira a cada 100 ha, permitindo o estudo da morfogênese do solo e a coleta de amostras por horizonte (Figura 1). Após coletadas as amostras, estas foram enviadas ao laboratório para proceder com as análises químicas e físicas, necessárias à classificação dos solos (Figura 1).

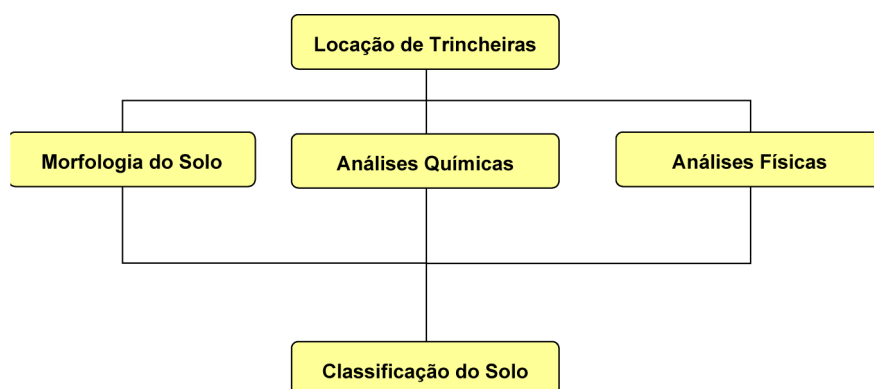


Figura 1 - Etapas iniciais do programa de mapeamento de solos

Com as informações de morfologia e dos resultados de análise química e física, foi realizada a classificação, baseando-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Nesta fase foi realizada checagem no campo para determinação dos limites entre as diferentes tipologias de solos, permitindo a partir de então a criação dos mapas.

Os mapas de solos são constituídos pelas Unidades de Mapeamento, os quais são definidores das Unidades de Manejo Técnico - UMT, onde as características químicas, de textura, de drenagem, de profundidade efetiva, de adensamento e topográficas foram consideradas para orientar as ações de manejo (Figura 2).

Posteriormente foram criadas as Unidades de Manejo Operacional - UMO, a qual está correlacionada as Unidades de Mapeamento e as Unidades de Manejo Técnico. As UMO's possibilitam indicar: as fertilizações de plantio e de manutenção (especificando as fontes de nutrientes, a quantidade a ser aplicada, a época/parcelamento de aplicação (base e arranque) e a localização do fertilizante); os tipos de preparo de solo (mecanizado ou manual); na colheita florestal os tipos (mecânico ou manual) e a época mais adequada; assim como, a indicação de áreas críticas (não aptas) ao cultivo florestal (Figura 2).

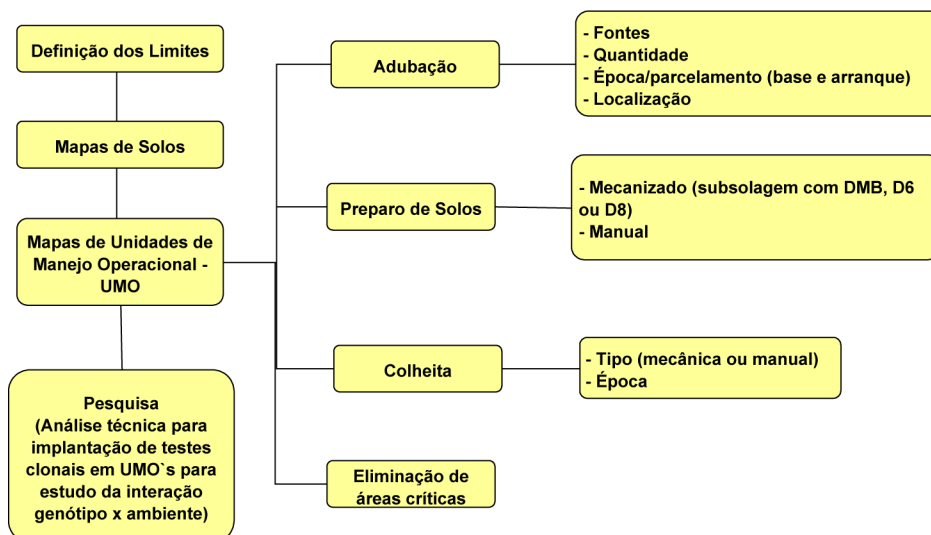


Figura 2- Etapas subsequentes do programa de mapeamento de solos

A criação das UMO's permite à área de melhoramento genético florestal a implantação de testes clonais e, ou, plantios pilotos representativos dentro de cada região, o que possibilitará no futuro, à indicação do plantio de clones adaptados as condições específicas, pelo estudo da interação genótipo x ambiente.

Para ilustrar o trabalho de mapeamento de solos, apresenta-se o exemplo hipotético na RNO, UGB Estiva, de mapa de solos e de UMO's (Figura 3).

O programa de mapeamento de solos foi executado por consultoria especializada, contratada para mapear todas as áreas do programa de formação de novos plantios, e foi iniciado com o programa de reforma do ano de 2003. A estratégia revista para a execução dos trabalhos de mapeamento visou disponibilizar aos Gerentes Florestais de cada região, as informações sobre as fertilizações de plantio e de manutenção florestal, com antecedência ao orçamento anual. Para tanto, o planejamento de execução dos trabalhos de mapeamento de solos para o programa de reforma do ano subsequente, prevê o fechamento até agosto do ano anterior.

A seguir são apresentados os resultados do programa de mapeamento de solos por região (Tabelas 1, 2 e 3).

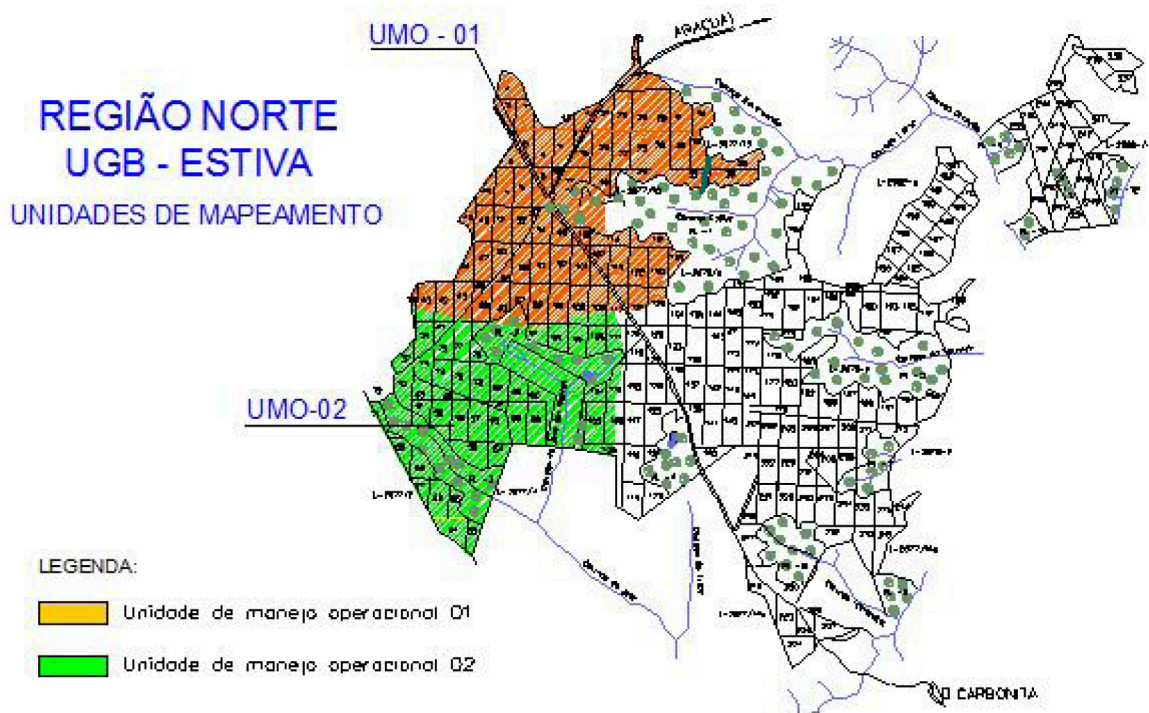


Figura 3 - Exemplo do mapeamento de solos e Unidades de Manejo Operacional

Tabela 1 - Resultados do programa de mapeamento de solos para a região da Bahia

UNID. MAPEAMENTO	LAd 3	PVAd 1	PAAd2	PAAd3	PAAd4	PAAd 5	ESO 1
POTENCIAL DE COMPACTAÇÃO	Moderado	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
OPERAÇÃO EQUIP. COLHEITA	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
OPERAÇÃO EQUIP. SILVICULTURA	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
RISCO EROSIVO	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
DRENAGEM	Bem drenado	Bem drenado	Bem drenado	Moderadamente drenado	Bem drenado	Moderada	Imperfeita
PROFUNDIDADE EFETIVA	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo	Pouco Profundo
POSIÇÃO NO RELEVO	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano
GRAU DE COESÃO	Baixo	Baixo	Moderado	Forte	Baixo	Baixo	Baixo
PREPARO DO SOLO	Subsolar a 60 cm	Subsolar a 60 cm	Subsolar a 90 cm	Subsolar a 90 cm	Subsolar a 60 cm	Subsolar a 60 cm	Subsolar a 60 cm
FERTILIZAÇÃO	NPK Ca e micro	NPK + micro	NPK Ca e micro	PK Ca e micro	NPK Ca e micro	NPK + micro	NPK e micro
UMO	01	02	03	03	02	02	Área para descarte

Tabela 2 - Resultados do programa de mapeamento de solos para a região Rio Doce

UNID. MAPEAMENTO	LV/LVA/LA	CXbd 2 e 3	CXbd 1	CXbd 6 + RUbd 1 e 4	CXbe 2, 4, 6 + NVe 2	CXbe 1 + RUbe 3 e 4
POTENCIAL DE COMPACTAÇÃO	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
OPERAÇÃO COLHEITA MECANIZADA	Fácil	Moderada	Difícil	Fácil	Difícil	Fácil
TRATOS SILVICULTURAIS MECANIZADOS	Fácil a moderada	Moderada a difícil	Inviável	Fácil	Inviável	Fácil
RISCO EROSIVO	Médio	Alto	Alto	Nulo	Alto	Nulo
DRENAGEM	Bem drenado	Bem drenado	Moderada a Bem drenado	Moderada a imperfeita	Moderada a Bem drenado	Moderada a imperfeita
PROFUNDIDADE EFETIVA	Profundo	Profundo	Mod. Profundo	Profundo	Mod. Profundo	Profundo
POSIÇÃO NO RELEVO	Encosta suave	Encostas declivosas	Encostas íngrimes	Plano	Encostas íngrimes	Plano
GRAU DE COESÃO	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado a Forte	Baixo	Moderado a forte
PREPARO DO SOLO	Subsolar a 40 cm	Subsolar a 40 cm	Manual	Subsolar a 60 cm	Manual	Subsolar a 60 cm
FERTILIZAÇÃO	NPK Ca + micro	NPK Ca + micro	NPK Ca + micro	NPK Ca + micro	N e P + micro	N e P + micro
UMO	01	02	03	04	05	06

Tabela 3 - Resultados do programa de mapeamento de solos para a região Centro Oeste e Norte de Minas Gerais

UNID. MAPEAMENTO	LVd1/LVw1/LVd 2	CXbd 7	FFIf
POSIÇÃO NO RELEVO	Topo aplanado e encostas suaves	Encosta	Encosta
POTENCIAL DE COMPACTAÇÃO	Alto	Alto	Alto
OPERAÇÃO EQUIP. COLHEITA	Fácil	Fácil	Fácil
OPERAÇÃO EQUIP. SILVICULTURA	Fácil	Fácil	Fácil
RISCO EROSIVO	Baixo/moderado	Alto	Muito alto
DRENAGEM	Bem drenado	Moderada	Moderada
PROFUNDIDADE EFETIVA	Profundo	Raso	Raso
PREPARO DO SOLO	Subsolagem a 50 cm	Não Plantar	Não plantar
SENTIDO DO PREPARO	Cortando o fluxo águas	-----	-----
FERTILIZAÇÃO	N;P;K;Ca;Mg;B;Zn;Cu	-----	-----
UNIDADE DE MANEJO	01	04	04

PROGRAMA DE MONITORAMENTO NUTRICIONAL DE PLANTIOS EM FASE DE MANUTENÇÃO

Introdução

As fertilizações realizadas de maneira sistemática durante a fase de implantação das florestas de eucalipto nem sempre são suficientes para suprir as necessidades nutricionais durante todo o ciclo. A complementação feita de forma não criteriosa pode não surtir os efeitos esperados ou aumentar os desequilíbrios nutricionais já existentes. Portanto, a avaliação do estado nutricional dessas florestas durante a sua fase de crescimento, visando à recomendação de fertilizações complementares, tem se tornado uma prática necessária para garantir a manifestação das reais potencialidades produtivas dos materiais genéticos melhorados. A importância dessas avaliações torna-se ainda maior para empresas que adotam um nível tecnológico elevado e que utilizam solos de baixa fertilidade.

O uso da dose correta dos fertilizantes não é importante apenas para a obtenção de produtividades elevadas. Trata-se também de uma medida indispensável para garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Além disso, o manejo preciso da fertilização beneficia o meio ambiente, por causar menores níveis de acidificação do solo, eutrofização das águas, poluição do lençol freático e salinização das áreas (FONTES, 2001).

Muitos dos fertilizantes são provenientes de recursos não renováveis e, por isso, é imprescindível que sejam utilizados da forma mais criteriosa e racional possível.

Atualmente no Brasil, há várias empresas do setor florestal que monitoram suas florestas visando detectar e corrigir as carências nutricionais de seus plantios. O sistema DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*) (BEAUFILS, 1973) tem sido amplamente adotado como método para diagnosticar os desequilíbrios nutricionais em florestas de eucalipto, e tem demonstrado ser eficiente tanto para macro quanto para micronutrientes (ROCHA, 2008; SILVA, 2004; WADT, 1998a; WADT, 1998b). Há, porém, dúvidas sobre as respostas das plantas às reposições dos nutrientes indicados como deficientes, principalmente quando se trata de plantios florestais acima de três anos de idade.

A partir do ano de 2002, a ArcelorMittal BioFlorestas implantou um programa de monitoramento nutricional, para fins de detectar e corrigir os possíveis desequilíbrios nutricionais de suas florestas. Este programa baseia-se no diagnóstico nutricional feito pelo método DRIS, na disponibilidade dos nutrientes no solo, e nas fertilizações realizadas anteriormente à data do monitoramento. Apesar dos resultados indicarem redução do número de ocorrências de problemas nutricionais na empresa, há poucos estudos sobre os reais aumentos de produtividades advindos da prática do monitoramento nutricional.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os resultados do monitoramento nutricional praticado pela empresa ArcelorMittal Florestas em áreas de eucalipto implantadas na região de Carbonita/MG.

Metodologia

Amostras de solo e de tecidos vegetais foram coletadas em talhões comerciais de florestas plantadas de eucalipto pertencentes à empresa ArcelorMittal Florestas, na região do Vale do Jequitinhonha, no município de Carbonita, MG. Essas amostras foram submetidas às análises laboratoriais e os resultados foram submetidos ao processamento em um programa de computador – **MN-Eucalyptus** – (MARTINS, 2004), especialmente desenvolvido para diagnosticar desequilíbrios nutricionais em florestas de eucalipto e para calcular doses de fertilizantes necessárias para corrigir os desequilíbrios nutricionais detectados.

No início do ano de 2007, quando as florestas monitoradas atingiram em média três anos de idade, foram realizados testes de reposição nutricional, conforme as recomendações geradas pelo programa **MN-Eucalyptus**. Os testes consistiram de aplicações dos fertilizantes em uma faixa de 24 metros de largura em 36 talhões, distribuídos em cinco projetos. Ao lado de cada faixa fertilizada, foi deixada uma faixa de mesma largura sem fertilizar, como testemunha.

Medições do DAP (diâmetro à altura de 1,3 m) e de altura total das árvores foram realizadas imediatamente após a realização das fertilizações, nas faixas fertilizadas e nas faixas não fertilizadas. Depois de um ano, novas medições foram realizadas nos mesmos locais. Essas medições permitiram calcular o crescimento das árvores ocorrido no período de um ano sob o efeito das reposições (faixas fertilizadas) e sem o efeito das reposições (faixas não fertilizadas).

Resultados

Em todos os 36 talhões em que foram conduzidos os testes, a faixa que recebeu reposição nutricional teve crescimento superior em relação à faixa que não recebeu reposição. O aumento de produtividade obtido com as reposições nutricionais foi em média de $7,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Tabela 4) durante o período de um ano. A diferença entre as faixas fertilizadas e as não fertilizadas, em termos de volume e considerando todos os talhões em conjunto, foi significativa pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade.

Analisando-se a viabilidade econômica das reposições nutricionais, verificou-se que, em apenas um ano, o retorno obtido com o aumento da produtividade superou os custos das amostragens, das análises químicas e das fertilizações efetuadas.

Tabela 4 - Crescimento volumétrico observado nas faixas com reposição nutricional e nas faixas sem reposição nutricional, em diferentes projetos, durante o período de um ano

Projeto	Número de talhões	Crescimento com reposição	Crescimento sem reposição	Diferença ²
			m ³ ha ⁻¹	
Estiva 2003	16	64,7	55,9	8,8
Diamante	11	50,7	44,6	6,1
Ticó	5	59,4	53,5	5,9
Forquilha	1	45,9	44,1	1,8
Estiva 2004	3	76,9	66,3	10,6
Média ¹	-	60,2	52,6	7,6

¹ Para o cálculo das médias ponderadas, levou-se em consideração o número de talhões.

² A diferença de crescimento entre as faixas adubadas e não adubadas, considerando todos os talhões em conjunto foi significativa em nível de 1 % de probabilidade, pelo teste F.

Conclusões

As reposições nutricionais proporcionaram aumento de produtividade em todos os talhões monitorados.

O aumento de produtividade alcançado no período de um ano foi suficiente para compensar os custos relativos aos trabalhos de monitoramento nutricional e às aplicações dos fertilizantes.

As reposições nutricionais são economicamente viáveis, mesmo quando a idade da floresta supera os três anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos pela empresa ArcelorMittal BioFlorestas demonstram a importância da caracterização e do mapeamento dos solos das áreas produtivas. Dessa forma é possível recomendar manejos nutricionais adequados para cada região, otimizando recursos e aumentando a produtividade. O monitoramento nutricional é fundamental para que se mantenha elevados níveis de produtividade, e os resultados demonstram que mesmo após os três anos houve respostas à fertilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal; 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, 1).
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122 p.
- MARTINS, L. G. C. **Método de Recomendação de Adubação Para Eucalipto Com Base no Monitoramento Nutricional**. 2004. 72 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- ROCHA, J. B. O. **Diagnose Nutricional de Plantios Jovens de Eucalipto na Região Litorânea do Espírito Santo e Sul da Bahia**. 2008. 56 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V.H.; LEITE, F. P. **Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND**. Scientia Agricola. v. 61, n. 5, p. 507-515, 2004.
- WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 685-692, 1998a.
- WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.6 61-666, 1998b.

Nutrição de plantações de eucalipto em áreas do cerrado de Minas Gerais

Sharlles Christian Moreira Dias

Especialista em Solos, Nutrição e Manejo Florestal, sharlles.dias@plantar.com.br

David Evandro Fernandes

Diretor Técnico, david.fernandes@plantar.com.br

Carlos Eduardo Afonso

Técnico de Pesquisa Florestal, carlos.afonso@plantar.com.br

APRESENTAÇÃO

Fundado em 1967, o GRUPO PLANTAR é formado atualmente por um conjunto de empresas que atuam nas diversas etapas da cadeia produtiva baseada em florestas plantadas. Suas atividades vão da produção de mudas à utilização industrial da madeira para produção de ferro gusa (Green Pig Iron®), além de produzir madeira imunizada (AMARU), passando, dessa forma, por todas as etapas de plantio e de manutenção de florestas de eucalipto. A empresa possui no estado de Minas Gerais cerca de 43.700 ha (área própria) e 35.000 ha (parcerias) de florestas plantadas de eucalipto.

A maior parte dos plantios está localizada na região Centro-Norte do estado e no Vale do Jequitinhonha, onde ocorre o predomínio do bioma Cerrado. As condições de cultivo do eucalipto nestas regiões são bastante diversas, apresentando variações de solo, clima e altitude.

Os solos predominantes são os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-amarelos, apresentando desde 10 a 20% de argila na região noroeste do estado (Coração de Jesus) até 70 a 80% de argila na região central (Curvelo). A precipitação também varia em função da localidade, com médias de 900 mm a 1200 mm ocorrendo de forma concentrada no verão. Estas variações de solo e de clima resultam em potenciais produtivos diferenciados e impõe manejos de nutrição específicos e adequados às peculiaridades de cada localidade.

Neste sentido o presente documento teve por objetivo apresentar as estratégias de fertilização utilizadas atualmente pela Plantar nas áreas do cerrado de Minas Gerais, bem como apresentar alguns resultados prévios de pesquisas referentes à nutrição florestal.

PROGRAMA DE FERTILIZAÇÃO

Sistema de recomendação

A partir dos resultados de análise de solos, realizados em nível de talhão, a Plantar utiliza o software NUTREECALC® (DPS-UFV/NUTREE) como ferramenta para recomendação das doses de fertilizantes. O modelo conceitual do NUTREECALC® é baseado no balanço nutricional, que considera informações relativas ao crescimento, à nutrição das plantas e à disponibilidade dos nutrientes no solo. A estimativa da demanda de nutrientes é obtida considerando-se o crescimento da árvore e a eficiência com que ela converte nutrientes em biomassa.

Quando o balanço nutricional é positivo, ou seja, quando a quantidade de nutrientes disponíveis no sistema (solo + resíduos) é superior à demanda das plantas, não há necessidade de fertilizações. Caso o balanço nutricional seja negativo, o software calcula a dose dos insumos necessária para atender a demanda das plantas para cada nutriente, considerando as taxas de recuperação das diferentes fontes utilizadas.

Fertilização com cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Calagem)

O objetivo da calagem é o fornecimento de Ca e de Mg, elementos essenciais para o crescimento e o desenvolvimento do eucalipto. O insumo utilizado pela empresa é o calcário dolomítico. A dose total aplicada varia entre 1,0 a 2,0 t/ha do insumo, sendo esta calculada pelo software NUTREECALC®, em função da disponibilidade dos nutrientes e produtividade esperada. Esta fertilização é realizada em todas as modalidades de manejo florestal (implantação, reforma e condução de brotação).

A aplicação é realizada preferencialmente após a operação de subsolagem e antes do plantio das mudas (Figura 1) (nos casos de implantação e reforma). O calcário é aplicado superficialmente em faixas de 60-120 cm de largura sobre as linhas subsoladas, com o objetivo de concentrar os nutrientes na linha de plantio, aumentando a eficiência de absorção pelas plantas (recuperação de cálcio e magnésio). Estudos da empresa têm demonstrado que a calagem em área total apresenta baixa uniformidade de distribuição do insumo além de reduzida eficiência de recuperação dos elementos Ca e Mg pelas plantas, resultando frequentemente em florestas com baixos teores foliares de Ca e Mg e sujeitas às deficiências nutricionais.

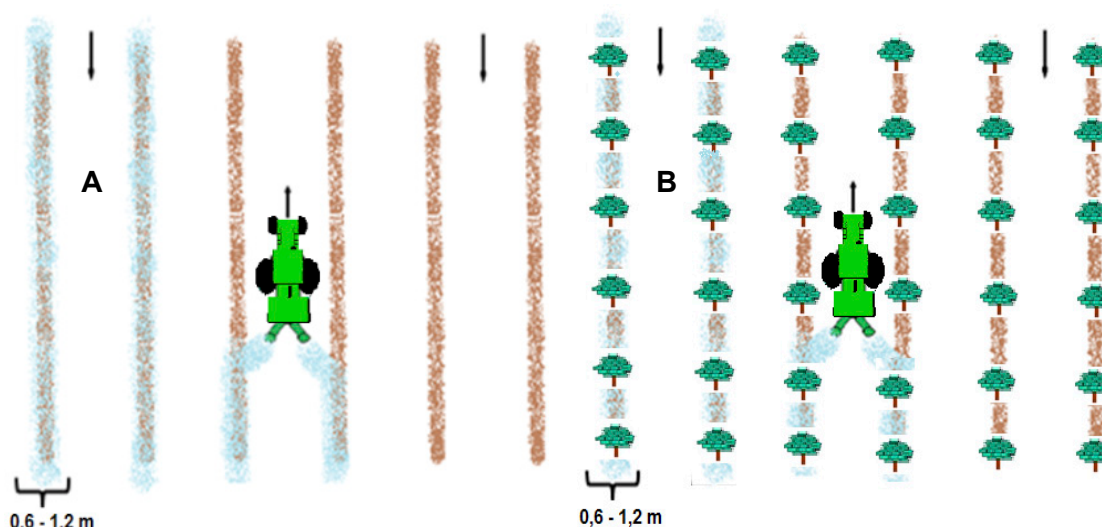


Figura 1 - Método de aplicação do calcário antes do plantio (A) e após o plantio ou brotação (B)

Fertilização com fósforo (P) e enxofre (S)

Nas áreas de implantação e, ou reforma, é utilizado o superfosfato simples (17 a 18% P_2O_5 solúvel em água), que além do elemento P, proporciona o suprimento do S para as plantas. A utilização desta fonte em substituição a aplicação de Fosfato Natural Reativo (FNR) foi recomendada em função de resultados experimentais, em que se avaliaram o efeito da utilização de diferentes fontes de P, bem como o método de aplicação e respectivo efeito sobre a produtividade florestal. Os resultados evidenciaram que a fonte solúvel de P proporcionou ganho médio de 9,5% no incremento médio anual (IMA) aos 5,4 anos, quando comparado com a fertilização convencional que utilizava o FNR como fonte de fósforo. Parte da resposta positiva foi atribuída à adição de S conjuntamente com a fonte solúvel de P.

A dose total a ser aplicada é fixa por localidade, variando em função dos teores de argila e do potencial produtivo de cada região. Nas regiões mais produtivas ($> 40 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) e com solos argilosos a dose é de $500 kg ha^{-1}$ enquanto nas regiões com menor potencial produtivo ($< 30 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) e solos arenosos a dose é de $300 kg ha^{-1}$. Nas regiões intermediárias a dose utilizada é de $400 kg ha^{-1}$.

O insumo é aplicado na linha de plantio, junto à atividade de subsolagem, há uma profundidade de 20-25 cm de forma contínua e uniforme ao longo do sulco de subsolagem, no máximo 30 dias antes do plantio.

Atualmente nas áreas de condução de brotação (talhadia) não é realizada fertilização com P, em virtude de resultados experimentais que não evidenciaram aumento de produtividade quando este nutriente é aplicado. Novos testes estão sendo conduzidos para confirmar estas informações. Quanto ao enxofre, nestas áreas, é realizada a aplicação gesso agrícola (sulfato de cálcio) na dosagem de 600 kg ha⁻¹, superficialmente em faixas de 60-120 cm de largura sobre as linhas de talhadia.

Fertilização de plantio

A função da fertilização de plantio é o fornecimento dos nutrientes essenciais ao adequado desenvolvimento inicial das plantas no campo (nos casos de implantação e reforma de florestas). É utilizada uma formulação granulada (nutrientes no grânulo) que apresente a seguinte composição: 06% N; 30% P₂O₅; 06% K₂O; 01% B; 01% Cu; 01% Zn (NPK 06-30-06 + Micros).

Assim como na fertilização com P, a dose total do insumo é fixa por localidade e depende do teor de argila e do potencial produtivo de cada região. Nas regiões mais produtivas (> 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e com solos argilosos a dose é de 100 g planta⁻¹ enquanto nas regiões com menor potencial produtivo (< 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e solos arenosos a dose é de 70 g planta⁻¹. Nas regiões intermediárias a dose utilizada é de 80 g planta⁻¹. *(Nota: Nas regiões mais produtivas e intermediárias (ausência ou menores valores de déficit hídrico, respectivamente), o stand de plantio é de 1 111 plantas ha⁻¹; já nas regiões menos produtivas (sujeitas a elevados déficits hídricos) o stand de plantio é de 833 plantas ha⁻¹).*

Esta fertilização pode ser realizada manualmente, dividindo a dose total do insumo em duas covetas laterais às plantas (Figura 2), a uma distância de 10-15 cm das mesmas, nos casos de solos argilosos e, 20-25 cm em solos arenosos. Em áreas que permitam a mecanização, é utilizado o implemento “Adubador-coveador” (Figura 3), aplicando o insumo após a subsolagem e antes do plantio das mudas. O insumo deverá ser aplicado no sulco da subsolagem a 17-20 cm de profundidade (5-8 cm abaixo da extremidade inferior do substrato das mudas), em filete intermitente de 40 a 60 cm de comprimento deslocado para os dois lados da cova demarcada simultaneamente à fertilização (Figura 4).

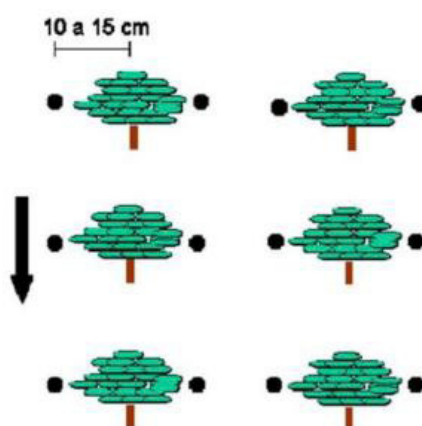


Figura 2 - Fertilização de plantio realizada em duas covetas laterais às plantas



Figura 3 – Adubador coveador

A realização da aplicação de P em duas etapas tem proporcionado florestas mais homogêneas, quando comparadas a florestas que recebem a dose integral de P conjuntamente com a subsolação, principalmente nas áreas de reforma e terceiro ciclo cujos tocos remanescentes prejudicam a qualidade das operações mecanizadas.

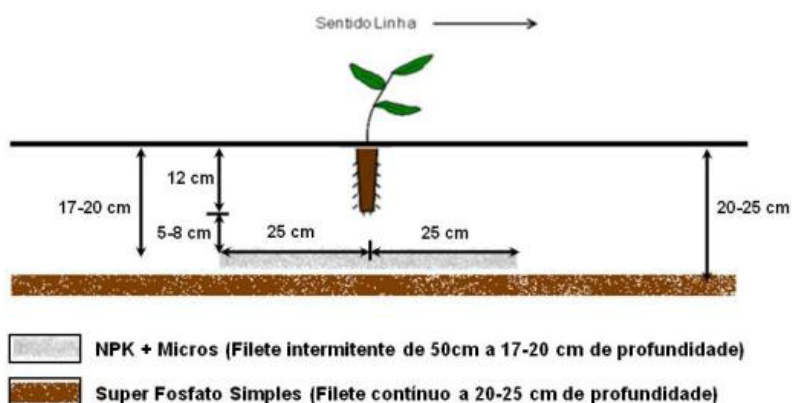


Figura 4 - Localização dos fertilizantes de plantio na aplicação mecanizada

Fertilizações de cobertura

O objetivo é o fornecimento de potássio (K) e boro (B), elementos importantes para o crescimento e resistência das plantas ao déficit hídrico. Tal como na calagem, a dose total de K será calculada através do software NUTREECALC®, a partir dos resultados de amostragem e análise química e física do solo, para cada talhão (menor unidade de manejo).

A primeira cobertura é realizada até 15 dias após o plantio e, ou condução da floresta. É utilizado, para as áreas de implantação e de reforma, o cloreto de potássio - KCl (58-60% K_2O), sem B. Já nas áreas de condução de brotação é utilizado o KCl (52-54% K_2O), com 1% de B. A não aplicação de B junto ao KCl nas áreas de implantação e reforma deve-se ao fornecimento deste elemento através da fertilização de NPK+micros, fato que não ocorre no regime de talhadia. O insumo é aplicado na superfície do solo, sem incorporação, em filete contínuo a 25-50 cm da base das plantas, em todas as linhas de plantio.

Em virtude da demanda diferenciada de K pelas plantas ao longo do seu desenvolvimento e das condições climáticas das áreas (longos períodos de estiagem), as fertilizações são parceladas, e o número de parcelas dependerá da dose total recomendada, pois a fonte utilizada (KCl) é um fertilizante muito salino e pode ocasionar problemas de fitotoxidez caso aplicado em doses elevadas. Assim sendo, em áreas de implantação e de reforma a fertilização é parcelada quando a dose

recomendada é superior a 200 kg ha⁻¹. Já em áreas de talhadia esse parcelamento será realizado quando a dose recomendada exceder a 400 kg ha⁻¹.

Caso seja necessário, a segunda cobertura será realizada de três a seis meses após o plantio, condicionado ao reinício do período chuvoso. Nesta fertilização é utilizado o KCl (52-54% K₂O), com 1% de B, para todas as modalidades de manejo (implantação, reforma e condução).

Atualmente não se realiza fertilizações de cobertura com nitrogênio (N). A adição deste elemento é realizada apenas através de NPK 06-30-06+micros por ocasião do plantio e da reforma. Apesar do N ser o nutriente requerido em maiores quantidades, frequentemente pesquisadores tem observado ausência de resposta do eucalipto às fertilizações nitrogenadas em condições tropicais e subtropicais.

Na dissertação de mestrado de Pulito (2009), trabalhando com 11 solos diferentes, observou-se que a fertilização com N acelerou o crescimento das árvores em até 12% até o segundo ano, porém na idade de corte não foi detectada resposta, concluindo que a mineralização do N presente na matéria-orgânica é capaz de suportar de 4 a 5 rotações (7 anos de idade) se levarmos em consideração a saída média de N do sistema via exportação da madeira, e as entradas via fertilização (mesmo que pequenas) e deposição atmosférica. Novas pesquisas e trabalhos estão em desenvolvimento por meio de parcerias a fim de entender melhor estes processos.

Fertilizações com boro (B)

O B é considerado atualmente o micronutriente mais limitante ao crescimento e ao desenvolvimento do eucalipto. Seus sintomas de deficiência, principalmente a seca do ponteiro, frequentemente têm sido diagnosticados em plantios estabelecidos em regiões com longos períodos de estiagem (déficit hídrico prolongado), como é o caso do Centro-Norte de Minas Gerais.

São realizadas fertilizações preventivas com B via solo, anualmente, até o terceiro ano do plantio (três coberturas), independente do manejo da floresta (implantação, reforma ou condução de brotação). Estas fertilizações são realizadas entre novembro e fevereiro, aplicando 25 kg ha⁻¹ de B granulado (10%B). O insumo é aplicado na superfície do solo, sem incorporação, em filete contínuo a 25-50 cm da base das plantas, em todas as linhas de plantio.

Apesar das aplicações de B via solo, frequentemente são observados sintomas de deficiência em regiões sujeitas a déficits hídricos elevados, provavelmente em virtude da interrupção do transporte do nutriente devido escassez de água no solo. Desta forma foi incorporada a aplicação adicional de B via foliar em todos os talhões da empresa a partir de 2011.

A aplicação foliar é realizada anualmente, até o terceiro ano (3 aplicações), entre os meses de maio e junho. A calda é composta por 2,5 kg ha⁻¹ de ácido bórico (17% B) em 250 litros de água. A aplicação é realizada com atomizadores terrestres direcionando os jatos para as copas das plantas.

Novos experimentos estão vigentes em campo buscando aumentar a eficiência da aplicação e reduzir o número de aplicações sem que ocorram sintomas de deficiência.

Fertilizações complementares

Fertilizações adicionais (reforço e, ou corretivas) poderão ser recomendadas pelo Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento após monitoramento nutricional, em florestas com até 3 anos de idade que apresentarem desenvolvimento inferior à média da região, a fim de melhorar o desempenho das plantas.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS EM FERTILIZAÇÃO

Atualmente existem várias linhas de pesquisa em nutrição de eucalipto que estudam diferentes estratégias de fertilização para obtenção de elevadas produtividades. Estas pesquisas divergem

quanto às metodologias, principalmente relacionadas às fontes, às dosagens e às épocas de aplicações, resultando em grande número de “pacotes nutricionais”.

Em 2011 foi instalado dois experimentos de campo a fim de avaliar a resposta do eucalipto às diferentes estratégias de fertilização, bem como a interação destas com as condições de disponibilidade diferenciada de água. Neste trabalho serão apresentados resultados preliminares destes dois experimentos, SN25 e SN28, referentes às principais estratégias de fertilização existentes no país. Os tratamentos foram propostos a partir de benchmark com empresas do setor florestal e com grupos de pesquisa de universidades federais.

O primeiro experimento foi instalado no município de Curvelo, região central do estado de Minas Gerais, em fevereiro de 2011. A precipitação média anual da cidade é de 1200 mm, concentrados nos meses de verão (novembro a março). O experimento foi instalado sobre um Latossolo Vermelho com textura muito argilosa (80% argila).

O segundo experimento foi instalado na região norte de Minas Gerais no município de Coração de Jesus, em março de 2011. A precipitação média anual é de 900 mm, também concentrados no verão. A região apresenta elevados déficits hídricos, superiores a 200 mm/ano. O experimento foi instalado sobre um Latossolo Vermelho-amarelo, com textura média (34% argila).

Em cada região, os tratamentos combinaram cinco estratégias de fertilização com quatro clones comerciais da empresa, em arranjo fatorial (5x4) em blocos casualizados (DBC) com três repetições.

Os tratamentos T01, T02 e T04 variaram basicamente quanto à fonte de P utilizada na subsolagem e ao fornecimento ou não do S. O T01 recebeu aplicação de FNR e não recebeu nenhuma fonte de S. O T02 recebeu aplicação de Fosmag (24% P_2O_5 ; 7% S; 3% Mg), enquanto que o T04 recebeu o superfosfato simples (18% P_2O_5 ; 11% S), sendo o restante da dose de S complementado, em ambos os tratamentos, com a adição de gesso agrícola sobre as faixas de plantio. O tratamento T04 corresponde à fertilização comercial utilizada pela empresa, passando posteriormente por pequenos reajustes (Ver “Programa de fertilização da Plantar”).

O tratamento T03 prevê a aplicação de altas doses de nutrientes, buscando a obtenção de elevadas produtividades ($> 60 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$). Em virtude da magnitude das doses aplicadas são previstos parcelamentos até o terceiro ano de cultivo. O tratamento T05 é uma variação do T04, elevando-se a dose do superfosfato simples, de maneira a aumentar a quantidade de S fornecida juntamente com o P, eliminando a aplicação do gesso agrícola. Este tratamento também prevê a aplicação de N em cobertura.

As tabelas 1 e 2 demonstram a quantidade de nutrientes totais aplicados em cada tratamento, nos dois locais estudados.

Tabela 1 - Quantidade de nutrientes a serem aplicados nos tratamentos do teste de adubação SN25, no município de Curvelo/MG

Tratamento	N	P_2O_5 Total	P_2O_5 Solúvel	K_2O	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Mn
	 $kg ha^{-1}$										
T01	5,8	149	65	84	553	72	0	9,1	1,0	1,0	0,0
T02	4,0	108	108	78	527	72	86	9,1	1,8	0,9	1,4
T03	293,5	108	108	331	1895	225	490	16,8	2,0	2,0	0,0
T04	17,8	97	97	84	532	72	82	9,4	1,0	1,0	0,0
T05	59,6	117	117	151	1380	225	50	12,7	1,2	1,2	0,0

Tabela 2 - Quantidade de nutrientes a serem aplicados nos tratamentos do teste de adubação SN28, no município de Coração de Jesus/MG

Tratamento	N	P ₂ O ₅ Total	P ₂ O ₅ Solúvel	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Mn
..... kg ha ⁻¹											
T01	4,0	140	56	196	708	99	0	7,4	0,7	0,7	0,0
T02	3,5	84	84	191	606	111	65	7,4	1,4	0,7	1,1
T03	226,5	81	81	255	1193	180	126	16,1	1,5	1,5	0,0
T04	13,0	71	71	186	671	99	42	11,1	0,7	0,7	0,0
T05	44,1	84	84	160	1100	180	53	8,8	0,7	0,7	0,0

As quantidades de nutrientes aplicadas em Coração de Jesus/MG são menores que Curvelo/MG, em virtude do menor potencial produtivo desta região.

RESULTADOS PRELIMINARES

Tabela 3 - Diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume médio, aos 18 meses, de plantas de eucalipto submetidas a diferentes tratamentos de adubação, em Curvelo/MG e Coração de Jesus/MG

Região	SN25 - Curvelo			SN28 - Coração de Jesus		
Tratamentos	DAP	Altura	Volume	DAP	Altura	Volume
	cm	m	m ³ ha ⁻¹	cm	m	m ³ ha ⁻¹
T01	7,1	8,7	15,7 D	5,9	6,9	7,6 B
T02	8,4	10,5	26,3 C	6,1	7,0	8,2 AB
T03	9,6	12,3	40,4 A	6,3	7,2	9,0 A
T04	8,4	11,2	28,9 BC	6,1	7,0	8,1 AB
T05	8,5	10,7	27,6 C	5,7	6,5	6,7 B
Média	8,4	10,7	27,80	6,0	6,9	7,92

Médias de volume seguidas de mesma letra não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey à 95% de probabilidade.

Os resultados preliminares (Tabela 3) confirmam as diferenças de produtividades existentes entre as duas regiões avaliadas. Enquanto Curvelo apresenta uma produção média, aos 18 meses, de 27,80 m³ ha⁻¹, Coração de Jesus/MG está produzindo apenas 7,92 m³ ha⁻¹, ou seja, 71,5% a menos. Esta diferença pode ser explicada, principalmente, pela menor precipitação anual associada com solos mais arenosos, resultando em maior restrição hídrica em Coração de Jesus.

Em Curvelo, é possível verificar que os tratamentos podem ser reunidos em três patamares, em função da produtividade: no primeiro, o tratamento T03 apresentou a maior produtividade provavelmente em virtude das maiores doses de nutrientes aplicados; no segundo, os tratamentos T02; T04 e T05, que não apresentaram diferenças significativas, já no terceiro, o tratamento T01, com a menor produtividade do experimento.

A maior produção dos tratamentos T02; T04 e T05, quando comparadas ao T01, demonstram que as fontes solúveis de P, associadas com o fornecimento de S, são mais efetivas, para o crescimento do eucalipto, que o FNR. Este resultado tem se repetido em outros experimentos, com ganhos médios de 9,5% no IMA aos 5,4 anos, ao se substituir o FNR por fontes solúveis de P.

Apesar do T03 apresentar a maior taxa de crescimento inicial, não é possível afirmar que manterá a tendência, pois com o aumento da idade da floresta outros fatores, senão nutrientes, poderão tornar-se limitantes ao desenvolvimento das plantas. Medições até a idade final de rotação são necessárias antes de qualquer conclusão.

Em Coração de Jesus as diferenças entre os tratamentos não são tão elevadas. É possível que todos os tratamentos estejam suprimindo a demanda nutricional das plantas e que a água seja o recurso limitante da produtividade nesta região. Até mesmo o tratamento T03, que recebeu elevadas doses de fertilizantes, não apresentou crescimentos tão expressivos quanto aos observados em Curvelo.

Novas medições serão realizadas até a idade de rotação para verificar as tendências de crescimentos dos tratamentos nas diferentes regiões. Posteriormente análises econômicas serão efetuadas para verificar se as diferenças de produtividades entre tratamentos, caso existam, são economicamente viáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração que a maior parte dos fertilizantes utilizados no Brasil é importada (> 60%) e que os mesmos provêm de fontes não renováveis, a sustentabilidade do setor florestal só será atingida se buscarmos novas estratégias para aumentarmos a produtividade das florestas, sem necessariamente termos que aumentar o consumo destes insumos. Para isto, novas tecnologias relacionadas à produção e ao manejo de aplicação dos fertilizantes, visando aumentar a sua eficiência, serão fundamentais.

Assim sendo o PTSM assume um papel importante nesta conjuntura, uma vez que vêm promovendo ações de integração entre universidades, institutos de pesquisa, empresas privadas e fornecedores.

Estudos de caso em fertilização florestal: qualidade da operação, do fertilizante e da recomendação de fertilização

Rodrigo Eiji Hakamada

Pesquisador Florestal da International Paper, rodrigo.hakamada@ipaper.com

Cristiane Camargo Zani de Lemos

Pesquisadora Florestal da International Paper, cristiane.lemos@ipaper.com

Guilherme Batistuzzo

Desenvolvimento Operacional da International Paper, guilherme.batistuzzo@ipaper.com

Renato Meulman Leite Silva

Supervisor de Colheita Florestal da International Paper, renato.meulman@ipaper.com

RESUMO

A fertilização é uma das operações silviculturais de maior impacto na produtividade, na sustentabilidade do sítio e nos custos de formação do povoamento. Estudos em escala experimental têm demonstrado que os níveis praticados de fertilização em *Eucalyptus* no Brasil são adequados. Porém, trabalhos realizados em larga escala, onde são capturadas as falhas operacionais e variações edafoclimáticas na escala da paisagem, mostram incrementos de até 30% com fertilização extra, ou seja, além da quantidade previamente recomendada. Essa resposta pode estar relacionada a diversas causas, mas no presente trabalho foram avaliados três principais fatores: i) Falhas na aplicação; ii) Baixa qualidade do fertilizante e iii) Baixa especificidade na recomendação. Em estudo realizado em condições de campo, 80% dos pontos amostrados apresentaram desvio superior a 10% da dose de fertilizante recomendada para o talhão, evidenciando a clara necessidade de ajustes mais precisos no sistema de distribuição. A qualidade intrínseca dos fertilizantes, notadamente os micronutrientes, foi altamente variável considerando uma amostra de 300 lotes de fertilizante. Os desvios obtidos chegam a 63% em relação à formulação ideal. Em relação à recomendação da fertilização, alguns pontos significativos que causam variabilidade foram levantados: a distribuição dos resíduos e a mudança de solo dentro de um mesmo talhão, a variabilidade ambiental existente entre os diferentes povoamentos, não permitindo a extrapolação de um resultado experimental para diversos sítios e a taxa de recuperação de fertilizantes, que ainda é um campo que demanda vasta investigação para as plantações florestais. Esse trabalho aponta para pontos de melhoria que devem ser mais bem investigados e corrigidos, com o intuito de se obter a máxima eficiência no aproveitamento dos fertilizantes.

INTRODUÇÃO

A fertilização é um dos grupos de operações silviculturais de maior impacto na produtividade madeireira, na sustentabilidade do sítio e nos custos de formação do povoamento, correspondendo por cerca de 25% do gasto total no estabelecimento de florestas plantadas de *Eucalyptus*. A produtividade em florestas plantadas com uma adequada fertilização podem chegar ao dobro de uma área não fertilizada (STAPE et al., 2010).

Estudos em escala experimental têm demonstrado que os níveis de fertilização em *Eucalyptus* no Brasil tem se mostrado adequados (Ryan et al., 2010). Porém, trabalhos realizados em larga escala, onde são capturadas as falhas operacionais e variações edafoclimáticas na escala da paisagem, mostram incrementos de até 30% com fertilização extra, ou seja, além da quantidade previamente recomendada (FERREIRA; STAPE, 2006; SILVA, 2012; STAPE et al., 2010). Essa resposta pode estar relacionada a diversas causas, mas no presente trabalho foram avaliados três fatores: i) Falhas na aplicação; ii) Baixa qualidade do fertilizante e iii) Baixa especificidade na recomendação.

Estudo de caso 1: Falhas na distribuição do fertilizante

Com o objetivo de avaliar a uniformidade da distribuição do fertilizante em fertilização de cobertura em filete contínuo (Figura 1), realizou-se um ensaio observacional em plantios de eucalipto localizados no nordeste do estado de São Paulo. Foram selecionados cinco talhões de relevo plano a suave ondulado, sendo dois de reforma e três de condução de brotação. Distribuíram-se sistematicamente coletores de fertilizantes com medidas de 1,6 metros de comprimento por 0,5 metro de largura nas linhas de fertilização. Os pares de coletores foram colocados a cada 50 metros entre linhas e a cada 10 metros entre as plantas (Figura 1).

Calculou-se a dose aplicada (kg ha^{-1}) e a diferença percentual em relação à dose recomendada.

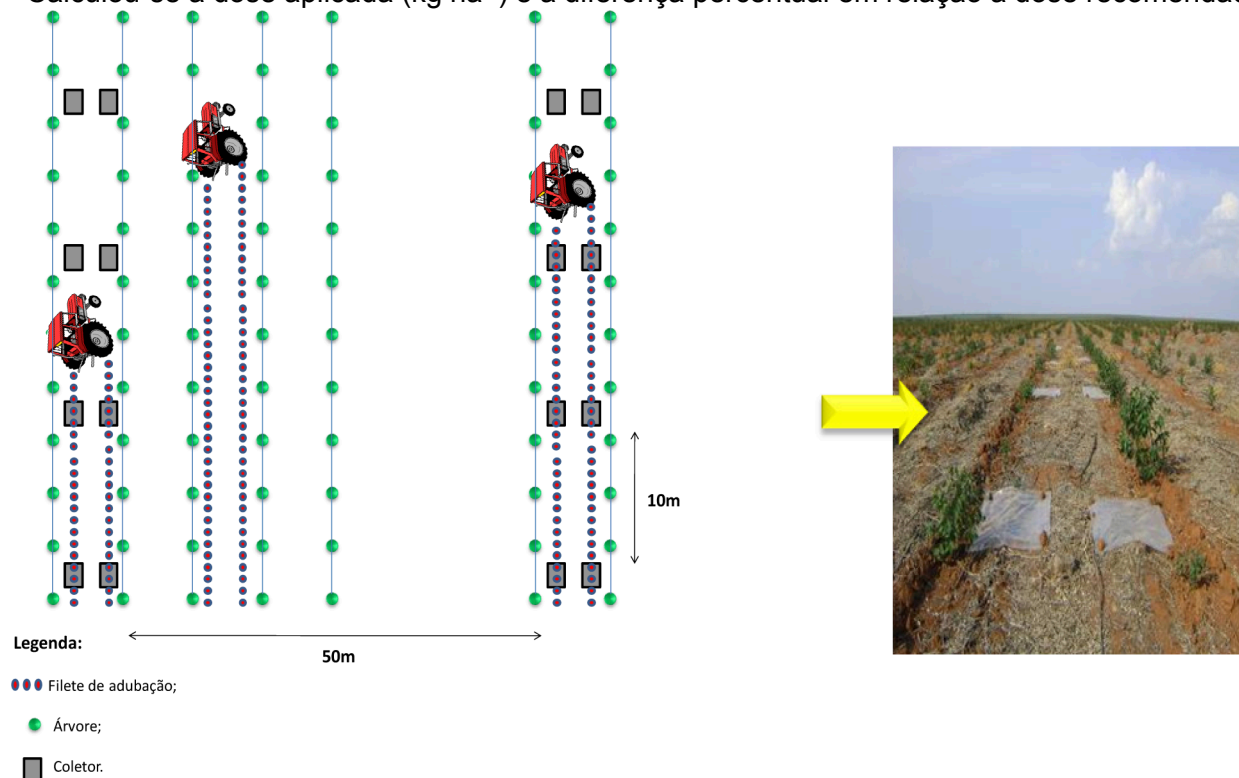


Figura 1 - Esquema ilustrativo da fertilização de cobertura mecanizada em filete contínuo, com o trator realizando a aplicação a cada duas linhas e a distribuição dos coletores em cada um dos 5 talhões amostrados, distanciados a cada 50 metros entre as linhas e a cada 10 metros entre as plantas

Como resultado, a média final da dose aplicada por unidade de área (kg ha^{-1}), ou seja, a quantidade total (kg) em razão da área total (hectares) se apresentou dentro do intervalo permitido de 10% de desvio da dose recomendada. Porém, cerca de 78% dos coletores estavam fora do intervalo, evidenciando que a distribuição ao longo do talhão estava significativamente fora do recomendado (Figura 2).

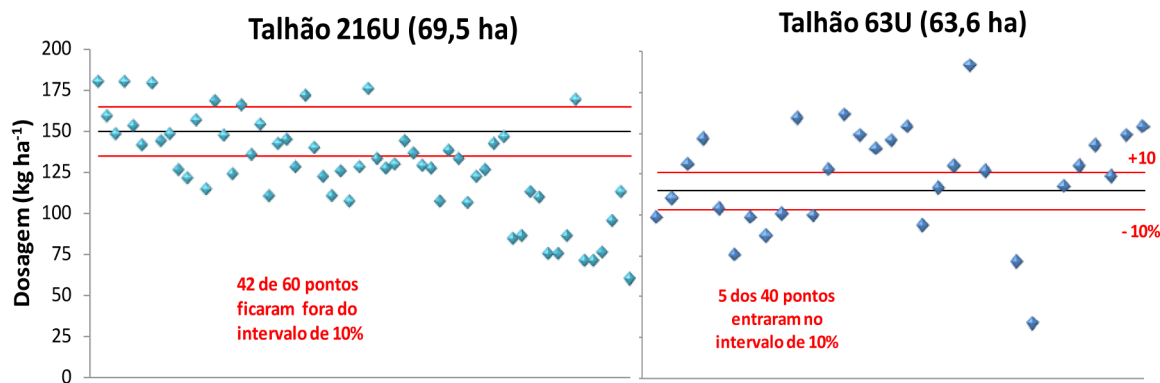


Figura 2 - Distribuição dos pontos coletados em dois talhões. A média da dosagem recomendada ficou dentro do intervalo permitido de 10% de desvio, porém a maioria dos pontos apresentou-se fora do intervalo permitido

Atualmente, há uma grande quantidade de implementos que possuem a regulagem de doses em função da velocidade do trator. Porém, devido à alta heterogeneidade ambiental em áreas de reforma e condução de brotação, como a presença de resíduos da colheita e de tocos que permanecem da rotação anterior, a velocidade varia ao longo do talhão (Figura 3).

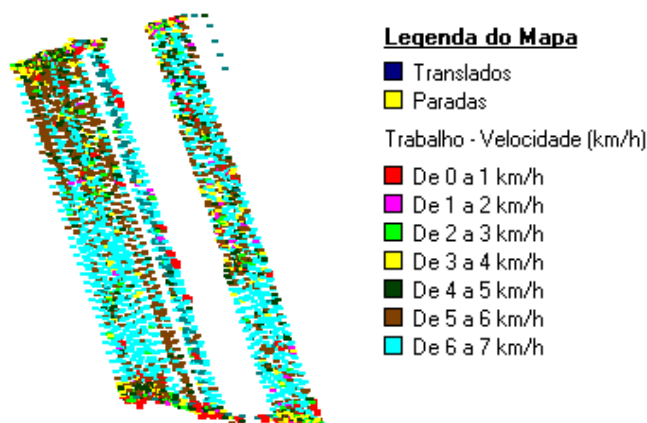


Figura 3 - Variação da velocidade de um trator em fertilização de cobertura.
A faixa adequada nesse caso para a regulção da taxa de aplicação era de 6 km h⁻¹

Esse resultado evidencia a necessidade de utilização de ferramentas e de equipamentos que reduzam a heterogeneidade da aplicação. Controladores eletrônicos que regulam a taxa de maneira independente da velocidade e que possuem um sistema de gerenciamento “on-line” são recomendáveis. Além disso, o acompanhamento operacional em campo, com regulagens e verificações frequentes podem reduzir a má distribuição dos fertilizantes.

Estudo de caso 2: teor de nutrientes em fertilizantes granulados

De acordo com Alcarde (2000), a qualidade de um fertilizante pode ser definida como um conjunto de atributos ou de características naturais ou artificiais que tem relação direta ou indireta com sua eficiência. Dentre as inúmeras características que atestam a qualidade do fertilizante, temos:

De natureza física

- Estado físico
- Granulometria (sólidos)
- Consistência ou dureza dos grânulos
- Fluidez
- Densidade
- Incompatibilidade física

De natureza química

- Número de nutrientes
- Forma química dos nutrientes
- Concentração dos nutrientes
- Compostos indesejáveis
- Poder acidificante e alcalinizante
- Incompatibilidade química

De natureza físico-química

- Solubilidade
- Higroscopicidade
- Incompatibilidade físico-química
- Empedramento
- Índice salino

Rotineiramente as empresas de fertilizantes fornecem a análise físico-química dos fertilizantes formulados, com enfoque na concentração dos nutrientes. Ao longo de 2012, cerca de 300 amostras foram analisadas pela International Paper como contraprova com o intuito de avaliar o fertilizante logo antes de ser transportado para o campo. Foram avaliados os fertilizantes utilizados à época na recomendação de fertilização (Figura 4).

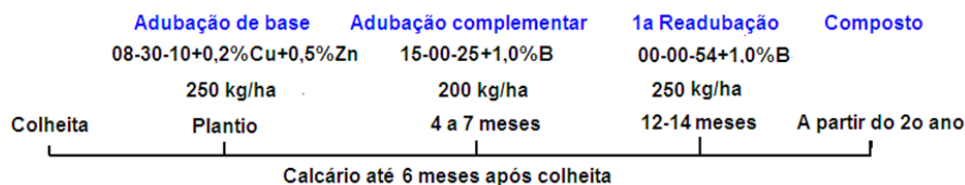


Figura 4 - Recomendação média de fertilização para áreas de reforma. Em azul temos a nomenclatura da recomendação, seguido pela formulação, dosagem média e momento de aplicação. O calcário é aplicado até seis meses após o plantio e a partir do 2º ano é aplicado o composto orgânico

A concentração obtida em cada fertilizante foi multiplicada pela dose média de cada formulação e assim obtida a quantidade real aplicada de cada nutriente, conforme equação abaixo.

$$\text{Quantidade do nutriente (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{concentração (\%)} \times \text{dose média (kg ha}^{-1}\text{)}$$

Como exemplo para o Cobre, temos:

$$\text{Quantidade de Cobre recomendada (kg ha}^{-1}\text{)} = 0,2 (\%) \times 250 (\text{kg ha}^{-1}) = 0,5 \text{ kg ha}^{-1}$$

Para os macronutrientes primários (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), as concentrações estiveram dentro ou superior ao intervalo de confiança (5%) (Tabela 1). Porém, os micronutrientes (Boro, Cobre e Zinco) obtiveram uma larga variação entre as amostras. Todas as amostras estavam com o Boro abaixo do recomendado e as variações de Cobre e Zinco chegaram a +49 e -30%, respectivamente, em relação ao recomendado.

Tabela 1 - Quantidade de Nitrogênio, Fósforo (P_2O_5), Potássio (K_2O), Boro, Cobre e Zinco recomendada, intervalo de confiança dos resultados das análises pré-carregamento dos fertilizantes do estoque e variação das quantidades obtidas nas amostras em relação à quantidade recomendada

Nutriente	Quantidade recomendada	Intervalo de confiança	Variação
	kg ha ⁻¹		%
Nitrogênio	60,0	63-68	+5% > N > +14%
Fósforo (P_2O_5)	78,0	76-80	-2% > P_2O_5 > +3%
Potássio (K_2O)	170,0	170-199	-7% > K_2O > +8%
Boro	4,0	1,5-3,8	-63% > B > -4%
Cobre	0,5	0,4-0,8	-13% > Cu > +49%
Zinco	1,3	0,9-1,5	-30% > Zn > +16%

Os resultados mostram que devido à baixa concentração dos micronutrientes nas formulações há uma elevada heterogeneidade nas concentrações que são disponibilizadas às plantas. Segundo Rodella e Alcarde (1994), a segregação de mistura de grânulos conforme ocorre a movimentação do fertilizante até a chegada ao destino final – no caso as plantas – é uma das principais deficiências desse tipo de fertilizante.

Enxerga-se nessa questão uma oportunidade de aprimoramento da mistura de grânulos, que é a forma mais utilizada pelo setor florestal. Soluções como a agregação dos micronutrientes nos grânulos ou mesmo a mistura de todos os nutrientes em um único grânulo mostram-se como opções para solucionar esse problema.

Ainda assim, abre-se o questionamento sobre a real necessidade de aplicação dos micronutrientes, principalmente Cobre, Zinco, Manganês e Molibdênio, que geralmente estão agregados em baixas concentrações nas fertilizações de base ou de plantio. Analisando a água da chuva na região de Mogi Guaçu em mais de 50 amostras (dados não publicados), observou-se que anualmente são depositados cerca de 1,2 kg ha⁻¹ de Cobre e 6 kg ha⁻¹ de Zinco, quantidade muito superior àquela aplicada via fertilização.

Finalmente, caso seja importante a aplicação desses micronutrientes, 500 gramas de Cobre por hectare representam em uma densidade de 1.200 plantas por hectare cerca de 0,4 grama por planta. Provavelmente não há tecnologia disponível para aplicar essa mínima quantidade exatamente planta a planta, significando que naturalmente teríamos uma heterogeneidade desses nutrientes para cada indivíduo.

Estudo de caso 3: assertividade das recomendações de fertilização

Recomendações de fertilização atualmente têm sido baseadas em modelos de entrada:saída de nutrientes (BARROS et al., 1995), tabelas com níveis críticos de nutrientes no solo (GONÇALVES, 1995) e modelos que integram os dois sistemas. O presente trabalho não se propõe a discutir qual modelo é o mais adequado, mas sim apresentar algumas oportunidades de melhoria visando a recomendação de fertilização mais adequada. Ambos os modelos, no entanto, possuem vantagens e desvantagens.

Distribuição dos resíduos da colheita

O modelo de entrada:saída considera em casos de reforma florestal a entrada de nutrientes via os resíduos da rotação anterior. Porém, a distribuição dos resíduos não ocorre de maneira homogênea dentro do talhão (Figura 5). Considerando que cada planta teoricamente deve possuir a mesma quantidade de nutrientes para crescer de maneira homogênea, a inclusão dos resíduos pode levar a um problema nutricional na escala do indivíduo, podendo resultar em perdas de produtividade na escala do povoamento.



Figura 5 - Distribuição dos resíduos da colheita heterogênea ao longo do talhão

Heterogeneidade de solos dentro do mesmo talhão

A presença de diferentes tipos de solo dentro do mesmo talhão pode sub ou superestimar a fertilidade da área. Exemplificando com um caso real, um mesmo talhão possuindo três tipos de solo (Latosolo, Argissolo e Cambissolo) e diferentes concentrações de potássio (K⁺, mg dm⁻³) terá uma recomendação baseada na média do talhão. Notadamente, um sistema de silvicultura de precisão onde se considera a variação dos nutrientes na paisagem, poderia ser uma alternativa para amenizar essa variação. Outra forma seria a utilização do menor valor, que geraria uma recomendação superestimada para grande parte da área, mas garantiria a máxima produtividade para todo o talhão. Por outro lado, pensando na sustentabilidade do sistema, o uso de fertilizantes de maneira inequívoca não é recomendada.

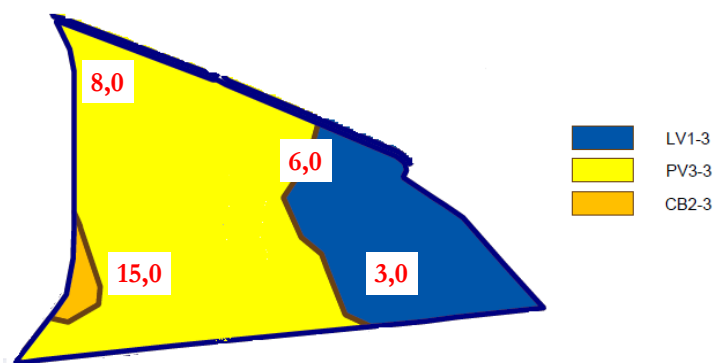


Figura 6 - Nível de potássio (K^+ , $mg\ dm^{-3}$) em um talhão de 50 hectares na região de Mogi Guaçu exemplificando a heterogeneidade edáfica dentro de uma mesma unidade de trabalho

Taxa de recuperação de nutrientes

Os modelos de recomendação de fertilização utilizam uma taxa de recuperação de nutrientes, ou seja, a quantidade de nutrientes aplicada via fertilização recuperada pela planta, advindos de culturas anuais ou mesmo plantas jovens. Exemplificando a grandeza da oportunidade de melhoria, caso passemos de uma taxa de recuperação de potássio de 70 para 80%, ou seja, de todo o potássio aplicado via fertilização 80% sendo utilizado pela planta, poderia haver uma redução imediata da dosagem de potássio aplicado. Considerando as doses da tabela 1, esse ganho representaria cerca de $20\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O , que em uma área anual de plantio de 11.000 hectares representaria cerca de 250.000 kg de Cloreto de Potássio a menos.

Esse simples cálculo sugere que estudos detalhados com os novos materiais genéticos, supostamente mais produtivos do que aqueles da geração anterior, devem ser realizados a fim de identificar possíveis mudanças na taxa de recuperação.

Variabilidade sítio-específica

Atualmente, nas áreas manejadas pela International Paper há 23 subordens de solo, 8 materiais genéticos plantados em escala operacional e quatro ambientes climáticos distintos. O fatorial dessas três características formam 736 ambientes de produção. Obviamente, há diversos métodos de agrupamento desses ambientes, conforme já realizado por diversos autores (CHAPMAN et al., 1923; SCHONAU, 1987; BOGNOLA et al., 2010). Porém, hipotetizamos que o agrupamento em escala operacional, onde é preciso que haja um número reduzido das chamadas “unidades de manejo”, dificilmente permite agrupar todas as características edafoclimáticas e biológicas (material genético).

OPORTUNIDADES DE GANHO DE PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DA FERTILIZAÇÃO

Ganhos operacionais

A implantação de sistemas de precisão, onde ocorre o controle da taxa de fertilizante de acordo com a variação na velocidade da máquina motora, é uma alternativa que reduz significativamente a variação da distribuição ao longo do talhão. Vrechi (2006) observou que o uso desse sistema reduziu a variabilidade dentro do talhão e incluiu todos os pontos amostrados dentro do intervalo aceitável de erro (10%).

O ganho pode ser apresentado sob diferentes aspectos (CASTRO, 2008): custos, produtividade madeireira e eficiência de utilização das máquinas, conhecida no setor florestal também como rendimento operacional (ALMADO, 2013).

Há a possibilidade de redução de custos através da diminuição da dosagem do insumo. Geralmente utiliza-se uma margem de segurança na dose devido a, entre outros, falhas operacionais. Sugere-se que a menor variabilidade do sistema de aplicação poderia reduzir essa margem de segurança.

Maiores produtividades poderiam ser atingidas através da assertividade da dose aplicada por planta, e não mais a média dentro do talhão, mas com uma alta variabilidade entre plantas, podendo gerar heterogeneidade no desenvolvimento de cada indivíduo. O rendimento operacional também é afetado positivamente pelo menor tempo destinado à calibração dos implementos, afetando diretamente os custos da operação. Adicionalmente, aumenta-se a possibilidade de controle e gerenciamento das operações e também se eleva a amostragem de qualidade, que passa a ser apontada através de sistema de georreferenciado ao longo de todo o talhão, e não apenas pontualmente em algum momento do turno de trabalho.

Apesar de várias empresas já realizarem, há uma oportunidade de aumento de controle na qualidade dos fertilizantes. Além das análises convencionais, principalmente da parte química, a análise física deve ser solicitada aos fornecedores para que seja acompanhada.

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Foram identificadas algumas perguntas que necessitariam de investigação para avanço do conhecimento em relação, principalmente, ao modelo atual de recomendação de fertilização:

- Qual é a escala de precisão em um povoamento florestal? Seria preciso aplicar a dosagem exatamente igual para cada planta, sendo que já há conhecimento de que as raízes podem crescer horizontalmente a longas distâncias?
- Qual a real necessidade da adição de micronutrientes, notadamente os metálicos (Zn, Cu, Mn) geralmente utilizados na fertilização de base, sabendo que em alguns locais apenas a água da chuva já adiciona a quantidade suficiente para o crescimento das plantas?
- Qual o ganho na utilização de fertilizantes com micronutrientes adicionados ao grão ou fertilizantes NPK+micro no mesmo grão?
- Qual a taxa de recuperação de fertilizantes para materiais genéticos superiores?

CONCLUSÃO

Há ainda espaço para ganhos de produtividade através de ajustes no controle de qualidade de operações silviculturais, que inclui o controle da distribuição dos fertilizantes ao longo do talhão e o controle da qualidade dos fertilizantes.

Há uma evidente necessidade da realização de pesquisas que abranjam duas escalas: na escala da paisagem, onde se torna possível capturar as respostas do povoamento às variações edafoclimáticas e genéticas; em escala mais detalhada, concentrando em um único local uma investigação detalhada em busca das causas relacionadas a aspectos nutricionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J. C., RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. Tópicos em Ciências do Solo. v. 3, p. 291-333, 2003.
- ALMADO, R. Intensificação da mecanização e da automação em atividades silviculturais na Arcelormittal bioflorestas. Série Técnica IPEF v. 17, n. 38, p. 7-21, 2013.
- 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*, k, v. 160, p. 7-12, 1992.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; FERNANDES FILHO, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, v.16, p.129-131, 1995.

- BOGNOLA, I. A. ; GAVA, J. L. ; FASOLO, P. J. ; STOLLE, L. . Proposição de uma Metodologia para Identificação de Unidades de Manejo Produtivas em Plantios de Eucalyptus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 59, p. 27-36, 2009.
- CASTRO, B. Panorama da silvicultura de precisão no Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 1, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2008. p.125-135.
- CHAPMAN, H. H.; FISHER, R. T.; HOWE, C. D.; BRUCE, E. N; MUNNS, N; SPARHAWK, W. N. Classification of Forest Sites. **Journal of Forestry**, v. 21, p. 139-147, 1923.
- FERREIRA, J. M. A.; STAPE, J. L. Productivity gains by fertilization in *Eucalyptus urophylla* clonal plantations across gradients in site and stand conditions. **Southern Forests**, v. 71, n. 4, p. 253-258, 2009.
- GONÇALVES, J. L. M. Porque são polêmicas as recomendações de fertilização para fins florestais?. **Jornal do Convenio USP-IPEF**, Piracicaba, n. 25, p. 2-2, 1989.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Fertilização para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais IPEF**, Piracicaba, v.15, p. 1-23, 1995.
- RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Variabilidade na composição de misturas fertilizantes decorrente de segregação e estimativa dos efeitos sobre a produtividade da cana-de-açúcar. **Stab**, v. 13. n. 2, p. 14-19, 1994.
- RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. Factors controlling Eucalyptus productivity: how resource availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1695–1703, 2010.
- SCHONAU, A. P. G. A. Site evaluation study in black wattle (*Acacia mearnsii* de 64 Wild). Stellenbosch, south Africa: Universty von Stellenbosch, 1987. 214 p.
- SILVA, R. M. L. **Resposta à fertilização de plantios comerciais de *Eucalyptus* e sua correlação com as características edafoclimáticas e silviculturais em diferentes regiões do estado de São Paulo**. 2012. 120 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E.N.;SILVA, C.R.;SILVA, S.;HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M.; LIMA, A.M.;GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.;ALVES, J.M. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1686–1694, 2010.
- VRECHI, A.; STAPE, J. L.; SILVA, S. R.; BAZANI, J. H. **Silvicultura de precisão: oportunidades de ganhos em operações silviculturais**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 2007. 87p.

Novas tecnologias na produção de fertilizantes – TIMAC Agro Brasil

Danilo José Libardi
Engenheiro Agrônomo

Eloá Cabrera Machado Mendes
Engenheira Florestal

Rone Patricio Ferreira
Supervisor Regional de Floresta da TIMAC Agro, rone.patricio@timacagro.com.br

José Henrique Bazani
Engenheiro Florestal, Mestrando em Recursos Florestais da ESALQ/USP, jhbazani@usp.br

Prof. José Leonardo de Moraes Gonçalves
Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, jlmgonca@usp.br

O GRUPO ROULLIER NO MUNDO

Para enfrentar os desafios do crescimento da população mundial, é necessário o investimento em uma agricultura abundante, diversificada e eficiente. Isso só será possível se produzirmos mais e de forma sustentável. O Grupo Roullier fornece as respostas essenciais a este desafio, oferecendo aos agricultores e as empresas, soluções para aumentarem a produtividade, aprimorarem seus cultivos e valorizarem suas terras.

Fundado por Daniel Roullier, a TIMAC Agro nasceu em 1959 no cais de Saint-Malo na França, com a exploração do Lithotamme (calcário marinho), material utilizado pelos agricultores como corretivo. Ao longo dos anos, o Grupo se expandiu através da aquisição de novas empresas agrícolas e também passou a atuar em mercados agropecuários, como o de nutrição animal. Seu modelo de negócio, baseado no acompanhamento e na recomendação de seus clientes e no atendimento de suas necessidades, é inovador.

A dinâmica de crescimento se acelera, com a decisão de se internacionalizar. Em sintonia com as expectativas do mercado, o grupo amplia suas atividades com a abertura de indústrias e de unidades de negócios na Europa Ocidental, na Europa Oriental e na América do Sul. Assume assim, posição de liderança no mercado de fertilizantes especiais. Essas unidades, ao redor do mundo, sob a bandeira TIMAC Agro, partilham os valores de inovação, de proximidade e de reatividade, que constituem seu modelo de sucesso.

INOVAÇÃO PARA UMA AGRICULTURA RACIONAL

A TIMAC Agro é uma das poucas empresas no mundo em nutrição de plantas e de animais, a ter seus próprios laboratórios e equipes de pesquisa. Os 350 pesquisadores e engenheiros do grupo Roullier, em conjunto com especialistas, universidades e instituições de renome em todo mundo, mobilizam recursos para alcançar a excelência. Juntos, eles trabalham em moléculas de algas e de plantas, a fim de oferecer produtos diferenciados.

Seus objetivos:

- Desenvolver novos produtos adaptados às necessidades dos clientes;
- Antecipar a evolução do mercado;
- Valorizar os recursos naturais da terra e do mar;
- Adotar soluções que respeitem o meio ambiente.

O valor dos produtos e da tecnologia é garantido por patentes, em publicações internacionais de renome. Ancorada na transformação, a TIMAC Agro coloca seu patrimônio industrial no coração de suas atividades, presente em mais de 38 países, com 60 unidades industriais, a qual representa uma capacidade anual de produção de mais de 4 milhões de toneladas de produtos granulados especiais e 4 bilhões de litros de fertilizantes líquidos.

TECNOLOGIAS NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES

Macro e micronutrientes no grão

Parte do trabalho da empresa consiste na eliminação do efeito da segregação gerado durante a aplicação dos corretivos agrícolas convencionais, isso ocorre devido à diferença do tamanho e do peso das partículas presente na mistura de grânulos (resultante da mistura de fertilizantes simples) que ao serem distribuídas caem de forma heterogênea, prejudicando o desenvolvimento pleno e uniforme das plantas. De modo inovador, a TIMAC Agro, desenvolveu uma tecnologia de estruturação do fertilizante que confere a cada grânulo a quantidade de macro e de micronutrientes descritas na fórmula, além da uniformidade do grão, que acarretam a eliminação do efeito de segregação e da concentração dos nutrientes. Proporcionando assim, ganhos tanto na quantidade disponível de nutrientes, quanto em rendimento operacionais da aplicação.

Como reconhecimento da importância do setor florestal na conjuntura agrícola brasileira, a TIMAC Agro fomenta o comitê mestre do campo, que conta com 25 representantes-pesquisadores de grandes empresas e instituições que buscam discutir resultados em campo, novas soluções e linhas de pesquisa capazes de satisfazer as necessidades do setor. Para atender as especificações levantadas pelo comitê e mercado, a TIMAC Agro, criou um programa interno com profissionais especializados para desenvolver e suprir suas necessidades com uma linha completa de produtos para florestas. Os produtos além de conterem o NPK e o micro no grão ainda contam com a tecnologia desenvolvida na Europa que aumenta a disponibilidade e a efetividade nutricional no solo e na planta. Alguns exemplos da tecnologia serão elucidados a seguir.

Molécula Polifenólica Ativada (MPPA)

É um processo de fabricação (patenteado pelo Grupo Roullier) que permite a complexação dos nutrientes de origem mineral com substâncias orgânicas (molécula polifenólica ativada) durante o processo de granulação. As moléculas apresentam grupos funcionais derivados da decomposição controlada e dirigida de ácidos húmicos e fúlvicos que permitem a retenção e posterior disponibilidade dos elementos nutritivos diminuindo suas perdas no solo (Figura 1).

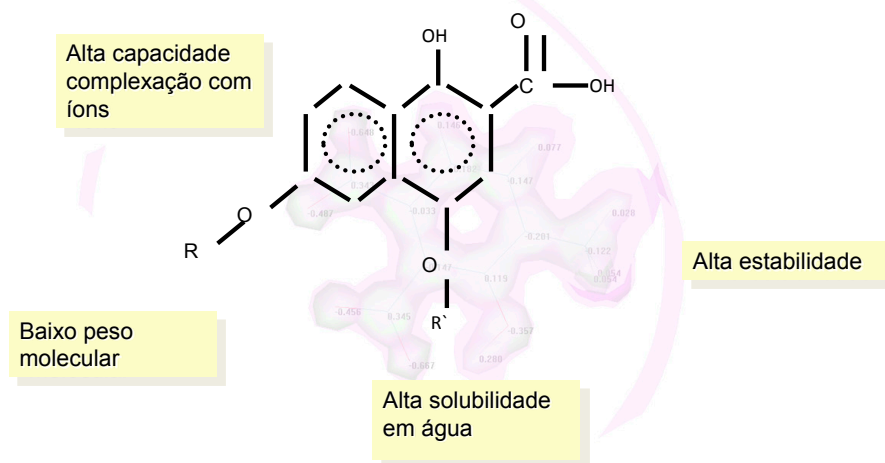


Figura 1 - Molécula Polifenólica Ativada (MPPA)

Complexo CSP (Tecnologias FT e PNT)

Os colóides e os óxidos presentes no solo se ligam ao fósforo, por romperem as ligações fracas entre as moléculas de fósforo e formam novos compostos indisponíveis para as plantas. Este efeito torna este nutriente o mais limitante à produção agrícola nos solos tropicais, exigindo assim, elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados (MATIAS, 2010). Para mitigar este problema, a TIMAC AGRO criou o complexo CSP (complexed superphosphate), que tem dupla função, a primeira através do uso da tecnologia PNT com a finalidade de complexar o fósforo com um ligante metálico e outra liga orgânica que promovem o impedimento da adsorção do fósforo pelos óxidos de ferro, alumínio e argila (colóides) presentes no solo.

A segunda função ocorre através da tecnologia FT que estimula o desenvolvimento radicular e o aumento da microbiota do solo. A importância das tecnologias consiste na maximização do fornecimento do fósforo na demanda nutricional da planta por meio de sua maior disponibilidade química e interceptação pelo sistema radicular quando comparada as fontes convencionais.

Patentes

- US2008221314-A1
- EP1997793-A2
- BR200800372-A
- FR 1050009

Bioestimulantes e anti-estressante

Enxergar a costa da Bretanha, no canal da Mancha, como potencial de estudo e de investimento, desde sempre pautou os passos de nosso negócio. Região sem paralelo no mundo, onde as variações de marés podem chegar a 12 metros entre a maré alta e baixa. Este movimento diário expõem as algas e organismos desta região a uma situação de stress única:

Maré alta, ambiente anaeróbico, salino, com temperaturas entre os 14 e 18 graus e com baixa luminosidade;

Maré baixa, ambiente aeróbico, com temperaturas entre 35 graus no verão e zero graus no inverno com insolação direta.

Este movimento induz as algas, à produção de substâncias para se proteger destas variações de ambiente (stress) e mesmo nestas circunstâncias proporcionar altos níveis de produtividade. O Grupo Roullier através de investimentos maciços em Pesquisa e Desenvolvimento lidera o estudo destas moléculas e seus efeitos benéficos para pessoas, animais e plantas.

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

“Eficiência de fertilizantes fosfatados solúveis, pouco solúveis e complexados com substâncias húmicas em plantações de eucalipto”.

A sustentabilidade da produtividade de plantações de *Eucalyptus* depende do adequado manejo da fertilização. O avanço das plantações florestais no Brasil tem ocorrido em regiões de solos altamente intemperizados e de baixa disponibilidade de nutrientes (Cerrado), porém com características fisiográficas que favorecem as operações florestais e reduzem os custos de formação da floresta. Esse movimento torna necessário alto investimento em fertilização, para reduzir as limitações químicas do solo (GONÇALVES et al., 2008). A adoção de materiais genéticos superiores, de maior produtividade por área, aumenta ainda mais a importância da fertilização no processo de formação dos plantios, em virtude da maior exportação de nutrientes do sítio via madeira. As maiores respostas à fertilização nas plantações do Brasil são devido ao fósforo, potássio e boro (SMETHURST, 2010).

Os processos que envolvem a fertilização florestal são responsáveis por mais de 35% do custo de formação dos plantios até o primeiro ano de idade e, aproximadamente, 65% do custo de insumos está relacionado com os fertilizantes. Contudo o Brasil importa mais de 70% da matéria prima para fabricação dos fertilizantes e, portanto, seu preço está atrelado às variações e oscilações do mercado mundial. Estas oscilações de preço estão sendo constantes devido às dificuldades de extração, logística e também devido ao aumento significativo da demanda por parte dos grandes produtores mundiais como China, Índia, EUA, União Européia e também o Brasil. O uso racional deste recurso é fundamental garantir produtividade adequada e custo competitivo com o mercado mundial.

O manejo adequado de fertilizantes em plantios florestais passa pela escolha da melhor fonte para o fornecimento do nutriente e deve levar em consideração o custo de aquisição e sua eficiência na disponibilidade do nutriente. Para o fósforo, diversas são as opções de fontes a serem utilizadas que diferem entre si pela concentração do nutriente, solubilidade e custo de aquisição (Figura 2b). Esta variação estende-se desde a utilização direta da rocha fosfática de origem sedimentar finamente moída (fosfato natural reativo), passando por produtos de maior pureza, concentração e solubilidade

como os fosfatos acidulados (superfosfato simples, superfosfato triplo, MAP e DAP) até produtos com novas tecnologias envolvidas no processo de fabricação do fertilizante (fosfatos complexados com radicais orgânicos, ERRO et. al, 2012).

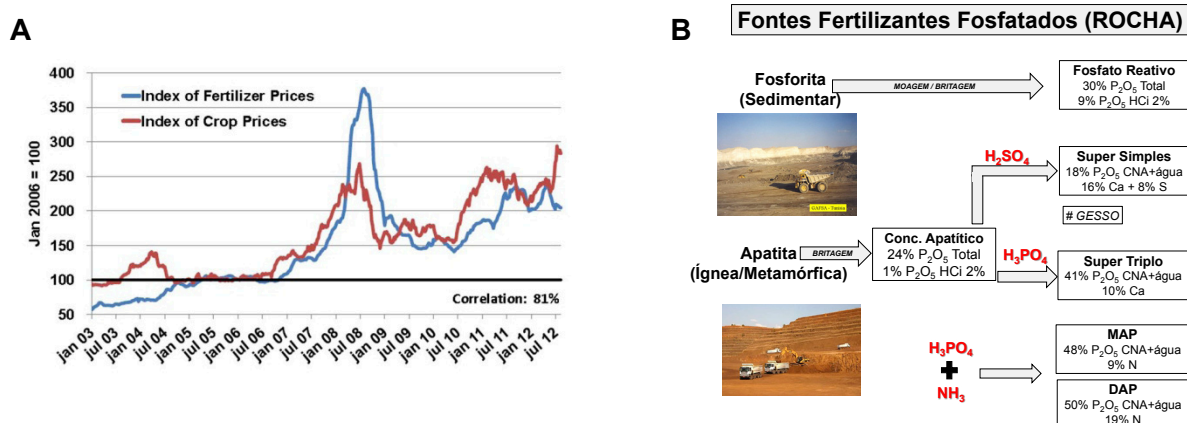


Figura 2 – Correlação entre a evolução do preço das culturas e dos fertilizantes.
Fonte: Berge, 2012 (a). Esquema de fabricação de fertilizantes fosfatados (b)

O objetivo do projeto é avaliar o efeito de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados sobre a nutrição e a produtividade de plantações de *Eucalyptus* e compreender o metabolismo do fósforo (P) nas plantas, a fim de estabelecer a melhor estratégia de fornecimento do nutriente. O estudo é conduzido na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (ESALQ/USP) e conta com 4 estratégias de manejo da fertilização fosfatada em plantio de *Eucalyptus grandis*, em Latossolo vermelho-amarelo de textura média.

São avaliadas as fontes “solúveis” (superfosfato simples e MAP), fontes reativas (Fosfato natural reativo), a combinação entre ambas e produtos com nova tecnologia agregada, que envolve a complexação do P com substâncias húmicas. A dose utilizada foi de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com base nas formas de P passíveis de assimilação pelas plantas. Ao todo serão comparados 4 tratamentos experimentais (Tabela 1). O experimento segue delineamento em blocos ao acaso com 4 repetições e as parcelas experimentais possuem 81 plantas (9 linhas de 9 plantas) dispostas em arranjo de 3 metros na entrelinha e 2 metros entre plantas. As respostas aos tratamentos serão avaliadas por meio da determinação de volume, biomassa, conteúdo e eficiência de uso de nutrientes na planta, além do Índice de Área Foliar.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos experimentais utilizados para comparação do efeito das fontes de fertilizantes fosfatados em plantios de eucalipto

Tratamento	Descrição	Nutriente		Fertilizante				
		P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	MAP	SPS	FNR	Fert1*	Fert2**
		(CNA+água)	(HCl 2%)					
		-----	kg ha ⁻¹	-----	kg ha ⁻¹	-----		
TES	Controle	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PSC	Solúvel Convencional	60,0	0,0	89,0	76,1	0,0	0,0	0,0
PSE	Solúvel Complexado	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	230,1	0,0
PMC	Mix Convencional	30,0	30,0	44,5	38,1	300,0	0,0	0,0
FNR	Fosfato Natural Reativo	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	600,0

A resposta à fertilização fosfatada é evidente até o presente momento. Resultados preliminares indicam que respostas são verificadas quando se compara o crescimento em diâmetro do colo e em altura (Figura 3). Aos 10 meses após o plantio verificam-se ganhos médios de 40% em altura, comparando-se os tratamentos que receberam fósforo e o controle (sem fertilização fosfatada). Não há diferença de desenvolvimento do colo e da altura das plantas comparando-se fontes fosfatadas solúveis com o fosfato natural reativo ou com a mistura de ambas até os 10 meses de idade. O fertilizante fosfatado que sofreu complexação com substâncias húmicas apresenta ganho de 50% em relação ao controle e 10% em relação às fontes convencionais no desenvolvimento da altura.

O trabalho deverá ser conduzido até a idade de corte (7 anos), porém resultados mais concretos deverão ser obtidos após 2 anos de desenvolvimento do povoamento.

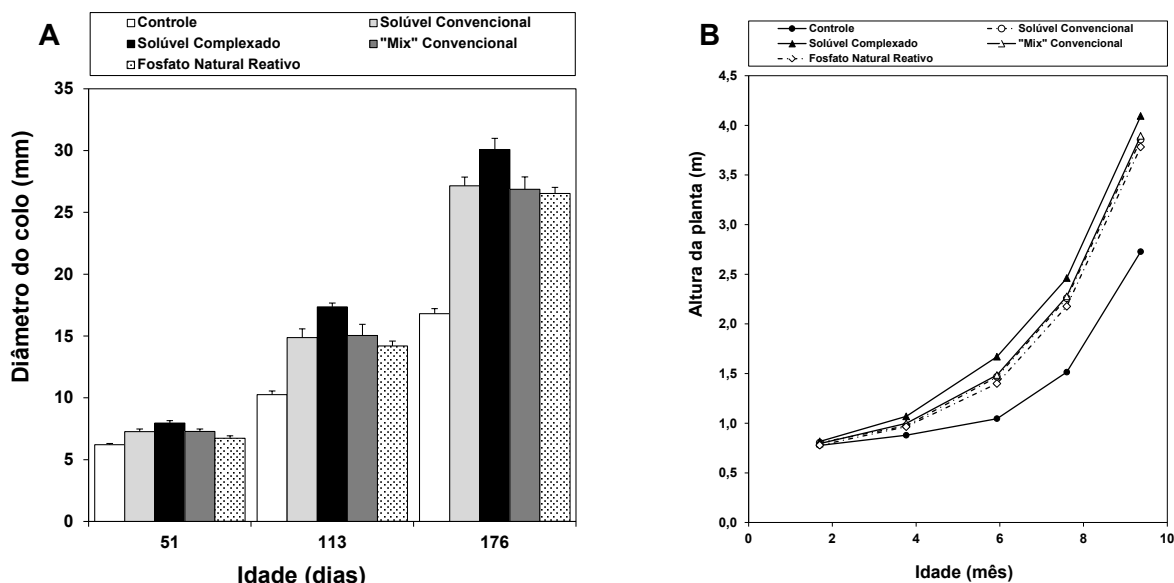


Figura 3 – Desenvolvimento em diâmetro do colo (a) e em altura (b) em função das diferentes fontes de fertilizantes fosfatados. As barras representam o erro padrão da média

Será instalado, um segundo delineamento experimental para avaliação da taxa de absorção de fósforo pelas plantas numa escala mensal, ao longo de 300 dias. Este estudo tem por objetivo compreender a dinâmica do fósforo no solo e na planta por meio da diferenciação de suas formas orgânicas e inorgânicas em cada situação.



Figura 4 – Desenvolvimento das plantas aos 226 dias após o plantio

O projeto conta também com a participação de trabalhos de iniciação científica em conjunto com alunos de graduação em Engenharia Florestal do Programa de Silvicultura e Manejo do IPEF (PTSM-IPEF). Em um dos trabalhos está sendo feita a caracterização física e química das diferentes fontes fosfatadas e será investigada a influência dessas características na qualidade da distribuição dos fertilizantes no campo e no desempenho da operação de fertilização. Um segundo trabalho irá avaliar a dinâmica de crescimento de raízes e sua relação com o índice de área foliar em função da solubilidade dos fertilizantes fosfatados.

Espera-se assim entender com maior clareza a contribuição e a dinâmica de cada fonte de fertilizante no crescimento e no desenvolvimento das plantações de eucalipto, na busca pela melhor estratégia econômica e ecológica de fornecimento de fósforo aos plantios florestais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São mais de 50 anos de desenvolvimento e inovação em que a empresa TIMAC Agro investe na melhoria da produção de fertilizantes e no aumento da sua eficiência, demonstrando responsabilidade e comprometimento no uso racional desse importante recurso natural. Pesquisas e posicionamentos técnicos que vão de acordo com essa premissa são de grande valia para que novos passos sejam dados na aplicação de fertilizantes e na nutrição mineral de plantas.

AGRADECIMENTOS

À colaboração entre TIMAC e o convênio IPEF/ESALQ e à FAPESP pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGE, M. Global Fertilizer Supply/Demand. Five-Year Market Outlook (2012-2017). In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES, 2., 2012, São Paulo. **Anais...** Disponível em: < http://www.anda.org.br/pdfs/palestras_2012/Fertilizer.pdf >. Acesso em: 1 ago. 2012.

ERRO, J.; URRUTIA, O.; BAIGORRI, R.; APARICIO-TEJO, P.; IRIGOYEN, I.; TORINO, F.; MANDADO, M.; YVIN, J.C.; GARCIA-MINA, J.M. Organic complexed superphosphates (CSP): Physicochemical characterization and agronomic properties. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 8, p. 2008-2017, 2012.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. 2010. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SMETHURST, P. J. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1-2, p. 83-100, Out 2010.

Tecnologia de aplicação de Nitrogênio e de Enxofre

Camila Beig Jordão
Engenheira Agrônoma

Tales Graciano Coelho
Gerente Técnico da Fertilizantes Heringer S/A, tales.coelho@heringer.com.br

INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas encontrados na adubação nitrogenada em diversas culturas, inclusive na cultura do Eucalipto, é a volatilização do N, causada pela utilização da ureia. Associado a isso, a utilização de fertilizantes concentrados em nitrogênio ocasiona outros problemas como a deficiência de enxofre (S) nos nossos solos pela substituição do sulfato de amônio pela ureia ou nitrato de amônio.

Pensando nisso, a Fertilizantes Heringer vem desenvolvendo estudos e novos fertilizantes de eficiência aumentada como a ureia com inibidor da urease (FH Nitromais) e os fertilizantes revestidos com enxofre elementar (Linha Gold).

OBJETIVO

Apresentar as tecnologias FH Nitromais e Linha Gold.

FH Nitromais

O nitrogênio é o nutriente demandado em maior quantidade pelas plantas e os solos, em geral, têm limitada capacidade de suprimento, o que torna a fertilização nitrogenada imprescindível. O elevado teor de N (44 a 46 %) é uma vantagem por afetar o custo de transporte, no entanto, a ureia tem menor eficiência agrônômica do que outros fertilizantes nitrogenados, o que se deve à perda de N por volatilização da amônia. Para a ureia relatam-se índices de recuperação do N que variam de 17 a 50 %, enquanto que para o sulfato de amônio este índice atinge a 70 % (VITTI et al., 2007). Busca-se maior eficiência por meio do manejo na aplicação da ureia e alternativas industriais. Destacam-se a adição de produtos acidificantes à ureia, (H_3PO_4 , HNO_3 , H_2SO_4) e a produção de ureia de solubilização lenta com a adição de formaldeído ou metileno, de liberação controlada, pelo recobrimento do grânulo com S elementar, resinas ou polímeros termoplásticos e a ureia com maior granulação (CANTARELLA, 2007). O revestimento da ureia com fertilizantes contendo micronutrientes é uma alternativa para uma aplicação mais uniforme dos micronutrientes, que, no entanto, tem efeito na inibição da volatilização da amônia.

- A urease

A urease é uma metaloenzima com o peso molecular de 590.000 ± 30.000 que contém 12 átomos de níquel (Ni) por molécula. É ubíqua: está presente no solo, em microorganismos, nas plantas, nos animais e no homem. É ativada pelo Ni e inibida por cátions bivalentes entre os quais se destaca o cobre (Cu) (TABATABAI, 1977).

A reação catalisada pela urease simplificada é a seguinte:



Onde $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ é a ureia, formando através de reação com a água o gás carbônico (CO_2) e a amônia. A urease é extremamente eficiente na hidrólise da ureia e altamente específica ao seu substrato.

A amônia produzida na reação tem dois destinos principais:

- (1) passa para atmosfera por volatilização;
- (2) em uma fração maior ou menor, dependendo das condições do solo, clima e manejo, é convertida em NH_4^+ e absorvida pela raiz ou fixada no complexo de troca ou, ainda, nitrificada.

A perda de N por volatilização é consequência de aplicação superficial da ureia, principalmente no plantio direto - ocorre quando há água suficiente para a reação e insuficiente para que a ureia desça no solo e seja posta ao alcance da raiz.

No caso de culturas irrigadas as perdas de N podem ser evitadas ou reduzidas aplicando-se ureia em cobertura antes da água. Em se tratando de culturas de sequeiro, há duas alternativas principais:

(1) manejo da ureia - incorporação superficial, promovendo a “fixação” da amônia pelo solo;

(2) emprego de inibidores de urease e adicionados à ureia (adição de micronutrientes B e Cu ou NBPT)

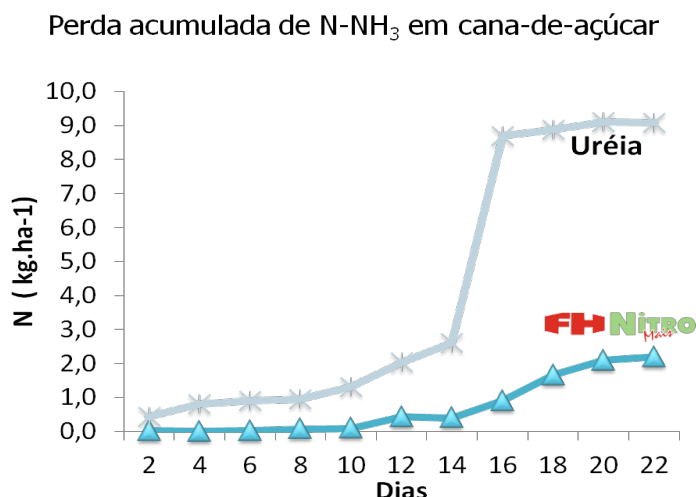
O produto: FH Nitromais

É uma tecnologia onde a ureia (45% N) é recoberta com Boro (ácido bórico) e Cobre (sulfato de cobre). O Boro e Cobre atuam como inibidores da urease além de serem altamente solúveis e disponíveis.

A aplicação de inibidor da urease em fertilizantes contendo ureia impedirá ou retardará de 7 a 14 dias a transformação do N-amida para N-amônia. Esses mecanismos são benéficos em solos onde: a) as perdas de amônia da ureia aplicada são grandes; b) a incorporação da ureia no solo é difícil ou impossível; c) a ureia não é lavada no solo devido à seca; d) o cultivo do solo é mínimo ou nulo (plantio direto); e) em consequência, há acúmulo de matéria orgânica no solo (WATSON, 2005).

A utilização de ácido bórico e sulfato de cobre para reduzir as perdas por volatilização é possível devido ao efeito da inibição competitiva da urease pelos cátions bivalentes, entre os quais se destaca o cobre. O Boro, muito provavelmente, funciona como inibidor não competitivo da urease, fixando o N (WATSON, 2000). Grohs et al. (2011) verificaram redução de perda por volatilização da ureia recoberta com estes compostos em relação à ureia convencional.

No trabalho de Nascimento (2012) sobre perdas acumuladas de NH_3 em cana-de-açúcar utilizando ureia convencional e FH Nitromais, houve redução de 75% da perda de NH_3 com o uso de FH Nitromais comparada à ureia convencional (Figura 1).



Fonte: Nascimento (2012). Esalq/USP

Figura 1 - Perda acumulada de N- NH_3 em cultivo de cana-de-açúcar (Fonte: Nascimento (2012))

Linha Gold

Deficiências de enxofre ocorrem em diversas regiões do Brasil, notadamente nas áreas dos Cerrados.

As fontes mais utilizadas para suprir o S às plantas são o superfosfato simples, que contém 12% de S-sulfato, e o sulfato de amônio, com 24% de S-sulfato. Ambos são utilizados isoladamente ou

como componentes de fertilizantes comerciais. A utilização de S-elementar, que contém mais de 90% de S, incorporado a fertilizantes comerciais é uma alternativa que pode aumentar a concentração dos nutrientes nas formulações e reduzir os custos de produção, de transporte e de aplicação do fertilizante.

O S-elementar aplicado ao solo deve ser oxidado para S-sulfato para ser absorvido pelas plantas (JANZEN; BETTANY, 1987). A oxidação pode ser realizada por fatores abióticos, porém, as reações catalisadas pelos microrganismos são os principais agentes nesse processo. Fatores de solo como pH, textura, disponibilidade de nutrientes, aeração e temperatura podem afetar a oxidação do S-elementar a S-sulfato (GERMIDA; JANZEN, 1993). O pH do solo é, quase sempre, relacionado com a taxa de oxidação do S-elementar (JANZEN; BETTANY, 1987).

O efeito do pH na oxidação do S-elementar possivelmente está relacionado à capacidade do solo em tamponar o ácido sulfúrico formado na oxidação, que, se acumulado em altas concentrações, inibe a atividade dos microrganismos que transformam S elementar em S-sulfato.

O uso de enxofre elementar (S^0) no recobrimento da ureia com a finalidade de retardar a liberação do N é estudado a mais de 40 anos (FURUTA et al., 1967) e produzidos em escala comercial a pelo menos 30 anos (SHAVIV, 2005).

A fabricação da ureia revestida com enxofre consiste no pré-aquecimento de grânulos de ureia com temperatura entre 71 a 82°C que são pulverizadas com enxofre fundido a 143°C em tambor rotativo de revestimento para revestir cada grânulo.

A liberação de nutrientes a partir de fertilizantes revestidos com enxofre é diretamente afetada pela espessura do recobrimento.

Os principais fatores que favorecem a combinação de enxofre com a ureia são: a) diminuição de perdas de N volatilizado (em torno de 50% de redução), b) altas concentrações de N e S em um só produto (podendo ser substituído pelo sulfato de amônio, matéria prima menos concentrada e custo por ponto de N e S bem superior a ureia revestida com enxofre). E sobre os fatores que favorecem a combinação de enxofre com fertilizantes fosfatados são: a) altas concentrações de P_2O_5 e S em um só produto (podendo ser substituído pelo superfosfato simples, matéria prima menos concentrada e custo por ponto de P e S bem superior ao MAP ou Supertríplo revestido com enxofre).

A disponibilização do enxofre elementar (oxidação) está ligada diretamente com a temperatura do solo (Figura 2).

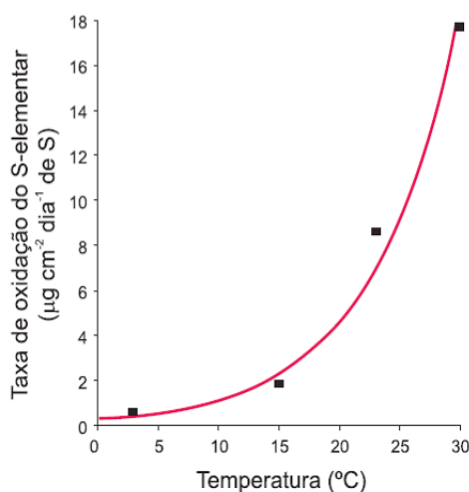


Figura 2. Relação entre taxa de oxidação do S-elementar e temperatura.
Fonte: adaptada de JANZEN e BETTANY (1987c).

Figura 2 - Relação entre taxa de oxidação do S-elementar e temperatura (Fonte: adaptada de Jansen & Bettany (1987))

A Linha Gold é uma linha de fertilizantes nitrogenados ou fosfatados que contem recobrimento de enxofre elementar, a fim de fornecer os nutrientes de maneira equilibrada para todas as culturas.

O enxofre elementar não é absorvido diretamente pelas plantas, porém os microorganismos do solo como as bactérias do gênero *Thiobacillus* fazem rapidamente a transformação do enxofre em sulfato (SO_4^{2-}), este sim prontamente disponível para assimilação.

Os microorganismos existentes no solo fazem a transformação do enxofre, de seu estado natural para sulfato (SO_4^{2-}), solúvel no solo. Este é um processo que ocorre durante todo o crescimento da cultura.

Na Linha Gold encontramos:

FH Nitrogold: 37% N e 16% S

FH Plantio Gold – MAP (9% N, 43% P_2O_5 e 16% S) e TSP (37% e 16% S).

CONCLUSÕES

A ureia como fonte de nitrogênio pode não ser adequada ao setor florestal devido à probabilidade de perda por volatilização;

Há alternativas no mercado, como os fertilizantes da linha FH apresentados, que reduzem significativamente esse efeito.

Devido às concentrações baixas nos principais fertilizantes que contém enxofre, esse nutriente tem sido pouco aplicado nas culturas em geral. A linha Gold apresenta-se como alternativa ao setor florestal como fonte desse nutriente.

REFERÊNCIAS

- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; STIPP-ABDALLA, S.R.; VITTI, G.C. (Orgs.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. v.1, p.355-412.
- GERMIDA, J.J.; JANZEN, H.H. Factors affecting the oxidation of Elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**. v.35, p.101-114, 1993.
- GROHS, M.; MARCHESAN, E.; SANTOS, D.E.; MASSONI, P.F.S.; SARTORI, G.M.S.; FERREIRA, R.B. Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor de uréase em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.2, p. 336-345, 2011.
- JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, v. 143, n. 6. p. 444-452, 1987.
- NASCIMENTO, C.A.C. **Ureia recoberta com S°, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2012. 71p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-15.
- TABATABAI, M.A. Effects of trace elements on urease activity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 9, p. 9-13, 1977.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada a localização de adubos nitrogenados aplicados sobre resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 491-498, 2007.

WATSON, C. J. Urease activity and inhibition: principles and practice. London: The International Fertilizer Society, 2000. 40 p.

WATSON, C. J. Urease inhibitors. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-10.

Síntese do questionário sobre mecanização e das entrevistas com profissionais do setor

José Carlos Arthur Junior

Engenheiro Florestal, Coordenador Técnico do PTSM/IPEF, arthur@ipef.br

José Henrique Bazani

Engenheiro Florestal, Mestrando em Recursos Florestais da ESALQ/USP, jhbazani@usp.br

INTRODUÇÃO

Na reunião administrativa da 45ª Reunião Técnico-Científica do PTSM, realizada nos dias 15 e 16 de maio em Telêmaco Borba/PR, sobre a temática “Mecanização e automação das atividades silviculturais”, o grupo de empresas associadas deliberou pela: i) criação de um grupo de trabalho (GT) sobre o tema mecanização; ii) elaboração de questionário para eleger equipamentos prioritários para desenvolvimento; e, iii) organização de workshop com os principais fornecedores/fabricantes de equipamentos.

A partir dessas deliberações a coordenação do programa elaborou um questionário (Anexo I) objetivando priorizar quais são as atividades silviculturais com maior demanda por desenvolvimento de equipamentos para viabilizar a mecanização. Foi proposto, pela coordenação, como metodologia complementar ao questionário, a realização de entrevistas com profissionais do setor, com o objetivo de compreender melhor as demandas e as dificuldades da mecanização das atividades silviculturais sob diferentes pontos de vista.

A compilação dessas informações foi apresentada pelo coordenador técnico do PTSM ao final do primeiro dia da 46ª Reunião Técnico-Científica para embasar as próximas decisões do grupo.

METODOLOGIA

Os equipamentos apresentados pelas empresas associadas na 45ª reunião técnica, os quais já estão em fase de desenvolvimento, foram relacionados na primeira tabela, deixando-se a possibilidade de inserção de outros. Criou-se uma escala de relevância para priorizar esses equipamentos (muito alta - 9 pontos; alta - 7 pontos; média - 5 pontos; baixa - 3 pontos; muito baixa - 1 ponto).

Na segunda tabela solicitou-se relação de fornecedores e seus respectivos contatos, para convidá-los a expor seus produtos e serviços no workshop sobre equipamentos e implementos florestais. A terceira tabela objetivou compilar informações de custos e de rendimentos das principais atividades silviculturais, a fim de se destacar as de maior relevância. Ao final do questionário solicitaram-se informações do perfil do profissional que o GT sobre mecanização pretende contratar para coordenar as ações.

Foram entrevistados profissionais das empresas prestadores de serviço, Plantar (David Evandro Fernandes, Paulo César Cacao Melo e Sebastião Machado) e JFI (José Carlos de Almeida e Felipe de Almeida), e da associada Fibria (Caio Eduardo Zanardo). Também foram entrevistados os professores Fernando Seixas (ESALQ/USP) e José Paulo Molin (ESALQ/USP).

CONTEÚDO

Resultados do questionário

Das 15 empresas associadas ao PTSM, 13 responderam ao questionário. O retorno foi satisfatório e o resultado reflete a opinião do grupo.

Destacam-se como prioritários o desenvolvimento dos equipamentos (Tabela 1): sistema de irrigação, plantadeira mecanizada, subsolador conjugado com outras operações, aplicador de herbicida em pré e em pós-emergência, preparador de solo em área declivosa e rebaixador de toco. Embora tenha recebido elevada pontuação, considera-se que os sensores de aplicação de adubo, de profundidade de subsolagem e de aplicação de herbicida, são tecnologias que demonstram a preocupação de se ter ferramentas capazes de monitorar a qualidade das operações.

Apesar da baixa pontuação recebida no questionário, dois aspectos foram destaques durante as entrevistas realizadas. Em primeiro lugar a necessidade de desenvolvimento de um equipamento para aplicação de isca formicida, uma vez que esta atividade contribui de modo bastante significativo para grande demanda de mão de obra das atividades silviculturais. Outro destaque é para a necessidade da existência de um trator, concebido e adaptado ao ambiente florestal desde o início de seu processo de fabricação. O ambiente florestal é mais robusto e agressivo às máquinas e implementos, em função do acúmulo de material lenhoso, tocos e resíduos que são mantidos no campo.

Tabela 1 - Prioridade de desenvolvimento de equipamentos para mecanização

Equipamento	Total
Sistema de irrigação p/ estabelecimento inicial	87
Plantadeira mecanizada	81
Sensor de aplicação de adubo	77
Sensor de profundidade de subsolagem	77
Sensor de aplicação de herbicida	77
Subsolador	71
Aplicador de herbicida pós-emergente	61
Preparador de solo em área declivosa	59
Aplicador de herbicida pré-emergente	55
Rebaixador de toco	43
Afastador de resíduos	14
Subsolador com marcação de bacia para irrigação e NPK intermitente	09
Aplicação de Herbicidas em Harvesters	09
Manejo de plantas daninhas com Sistema de Precisão com taxa variável	09
Sistema de Adubação (Base e Cobertura) com Sistema de Precisão com Taxa Variável	09
Adubação de base Mecanizada	09
Pulverizador de Herbicida auto Propelido	07
Combate à formiga Mecanizado	07
Trator Configuração Florestal para silvicultura	07

Os fornecedores de equipamentos e implementos indicados pelas associadas foram convidados (Tabela 2) e participaram do Workshop sobre Equipamentos e Implementos Florestais, realizado nos dias 10 e 11 de dezembro de 2012. Participaram do evento, 94 profissionais de empresas associadas e convidados.

As informações sobre custos e rendimentos apresentaram alta variabilidade em função das diferentes situações. Perante este cenário objetivou-se realizar a composição de custo por atividade sem entrar muito no detalhe de cada empresa. Destacaram-se as atividades plantio manual, plantio semimecanizado, rebaixamento de toco e subsolagem como as atividades de maiores custos por hectare (Tabela 3). Exceto o rebaixamento de toco, as outras três atividades possuem aproximadamente 58% da composição do custo referente a insumo, nesse caso fertilizantes e/ou mudas. O rebaixamento de toco é uma atividade mecanizada com alto custo, reflexo do baixo rendimento proporcionado pelos tocos das sucessivas rotações. É uma atividade já destacada anteriormente e que sugere maior atenção.

As atividades de capina química manual e de combate à formiga manual são as que apresentam maiores custos com mão de obra, aproximadamente 80% do custo da atividade, seguido das atividades irrigação e plantio manual com aproximadamente 35% do custo. Perante a falta de mão de obra, essas são atividades que sinalizam ser prioritárias para mecanização.

Relativo aos custos de insumos, os fertilizantes são os mais expressivos, o que justifica os diversos estudos científicos e técnicos sobre nutrição e fertilização, e o desenvolvimento de novas tecnologias, para otimizar seu uso.

Tabela 2 – Lista de contato dos fornecedores indicados pelas empresas associadas ao PTSM

Empresa que indicou	Fornecedor	Equipamento	Nome
Painel: Trator Florestal			
International Paper	John Deere	Trator Florestal	Rodrigo Junqueira
International Paper	New Holland	Trator Florestal	Felipe Vieira
-	Massey Fergusson	Trator Florestal	José Geraldo Rodrigues
Painel: Plantadeira mecanizada			
CESP	Arador	Plantadeira mecanizada	Francisco Orlanda
Arauco	New Holland	Plantadeira mecanizada	Luiz Miotto
Duratex	Terramaxx	Plantadeira mecanizada	Geraldo Magela
Painel: Subsolador			
Fibria/Caxuana	Arador	Subsolador	Francisco Orlanda
International Paper	Eco-agricola	Subsolador	Marcos Chiari
CMPC/Klabin	Savannah Forestry Equipment	Subsolador	John D. Yáñez
Duratex	Terramaxx	Subsolador	Geraldo Magela
Painel: Aplicador de agroquímicos (formicida e herbicida)			
International Paper	Unibrás	Venda de isca formicida	André Silva
International Paper	New Holland	Pulverizador	Felipe Vieira
Suzano	Apoitec	Pulverizador/Conceição	Rudolf Woch
Eucatex	FM Copling	Pulverizador/Conceição	Geraldo Franco
Duratex	Tornotécnica	Conceição	José Jackson Dutra
Painel: Irrigação			
Ramires	Arador	Sistema de irrigação	Francisco Orlanda
Caxuana	Edson Técnica (crocodilo)	Sistema de irrigação	Edson Martins
Eucatex	FM Copling	Sistema de irrigação	Geraldo Franco
Duratex	Terramaxx	Sistema de irrigação	Geraldo Magela
Painel: Equipamentos e sensores de precisão			
Klabin	Apoitec	Sensores aplicação herbicidas	Rudolf Woch
Ramires	Arvus Tecnologia	Sensores de precisão	Bernardo Castro
Prof. Milan	Verion	Sensores	Marcos Nascimbem Ferraz
Prof. Milan	Geo Agri	VANT	Gustavo Fedrizzi
Painel: Treinamentos (Manutenção de Máquinas e Operadores)			
Duratex	WM-Consultoria	Treinamentos	Vagner Aparecido Gomes
Suzano	BM Consultoria	Treinamentos	Cleber Muniz de Brito

Tabela 3 - Custo das principais atividades silviculturais e sua respectiva composição percentual

Atividade	Custo	MAQ¹	MDO²	INS³
	R\$ ha⁻¹		%	
Capina química manual	294,95	19	76	04
Capina química mecanizada	112,75	54	21	25
Fertilização de base	456,64	36	18	46
Fertilização de cobertura	274,88	25	14	61
Calagem	140,35	43	06	51
Combate formiga manual	43,40	01	81	18
Combate formiga mecanizado	50,00	70	-	30
Irrigação	228,51	61	37	02
Plantio manual	601,44	-	33	67
Plantio semimecanizado	759,17	23	18	59
Rebaixamento de toco	450,92	100	-	-
Subsolagem	605,06	39	12	49

¹ MAQ - máquinas; ² MDO - mão de obra; ³ INS - insumos

Referente ao perfil do profissional a ser contratado pelo GT para coordenar as ações, foram elencadas várias características:

- formação em engenharia mecânica, agrícola ou florestal;
- possuir experiência técnica;
- ter conhecimento na área de engenharia mecânica e estar atualizado sobre as novidades da tecnologias de precisão;
- ter boa rede de contatos com fornecedores do setor;
- não estar vinculado a nenhuma empresa prestadora de serviços ou fornecedora de máquinas/equipamentos;
- ter conhecimento da metodologia de gerenciamento de projetos PMI;
- ter proatividade, criatividade e capacidade de integrar as diversas áreas (silvicultura, mecânica, elétrica);
- ter bom relacionamento interpessoal;
- possuir disponibilidade para viagens.

RESULTADOS DAS ENTREVISTAS

Realidade

O setor florestal encontra forte concorrência por mão de obra. Os principais competidores são: usinas de açúcar e álcool, citricultura, pecuária, construção civil e manutenção de estradas. Os salários são maiores e algumas atividades apresentam menor esforço físico.

Essa concorrência também ocorre em culturas agrícolas como café, grãos, etc., algumas culturas tendem definir em determinadas regiões devido a essa dificuldade da contratação de mão de obra.

Os bons profissionais, que possuem experiência estão se aposentando gradativamente e a nova geração de trabalhadores não possui perfil para o trabalho de campo, aumentando a rotatividade e exigindo maiores esforços em treinamentos. Além disso, a expansão das atividades florestais está migrando para regiões com baixa disponibilidade de mão de obra. Trabalhadores são migrados e hospedados, gerando grande desafio para administrar essa situação.

A escassez de trabalhadores é fator complicador para a execução das atividades silviculturais. Em 2011 o custo dos insumos aumentou em média de 1 a 2%, enquanto que o custo dos serviços aumentou 11%.

A mecanização das operações florestais mesmo que não apresente a eficiência ideal, resultando em aumento de custos e, ou em perda de produtividade, será viabilizada perante o risco de não se conseguir realizar as atividades pela falta de mão de obra.

Operadores

É preciso investir em treinamentos e capacitação de operadores de máquinas. A cada dia esses equipamentos se tornam mais sofisticados, com tecnologias embarcadas que exigem maior capacitação desse profissional. Há boas entidades promovendo treinamentos e capacitação de operadores, entre eles destaca-se o SENAR.

Manutenção

Ponto chave para o bom funcionamento de sistemas mecanizados. Existe grande espaço para melhorias nesse aspecto, o que resultaria em ganhos de disponibilidade mecânica e redução de custos, diminuindo a pressão pelo desenvolvimento de novos equipamentos. É preciso investir no treinamento de profissionais para realizar manutenções preventivas. Já existe um modelo a ser observado, o da colheita, onde máquinas de elevado custo não podem parar por longos períodos à espera de manutenção e de peças.

Insumos

Há a necessidade de insumos com maior tecnologia agregada, que garantam melhor qualidade das atividades. Exemplos: - novas moléculas de herbicidas pré-emergentes, associadas a outras moléculas ou não, mas que ampliem o efeito residual e reduzam o número de intervenções; - molécula de pós-emergente graminicida seletivo à cultura do eucalipto permitindo a mecanização.

Fornecedores

Há uma carência de modelos eficientes de assistência técnica por parte dos fornecedores de máquinas e de equipamentos. A baixa disponibilidade de serviços especializados compromete o desempenho e a manutenção dos equipamentos.

Os fornecedores estão em uma “zona de conforto”, pois o setor florestal compra esses equipamentos, independentes de atenderem ou não a necessidade, por não existir alternativas.

Atividades silviculturais com demanda de desenvolvimento

i) Controle de plantas daninhas – atividade que demanda aproximadamente 30% da mão de obra. Operação de aplicação em pós-emergência com costal é a mais crítica.

ii) Combate à formiga – segunda atividade com maior demanda de mão de obra, responsável por aproximadamente 10% da demanda.

iii) Rebaixamento de toco – devido o aumento da área sob manejo de talhadia, que acarreta em cepas de maiores dimensões, essa atividade tem seu custo elevado;

iv) Fertilização – o desafio está na distribuição dos fertilizantes, principalmente na base em conjunto com a subsolagem. Há grande irregularidade na distribuição e na dosagem, sobretudo nas áreas de reforma florestal em função da presença de resíduos e de tocos.

v) Irrigação de plantio – faltam informações técnicas precisas e de estudos sobre fisiologia da planta e o efeito da irrigação.

Embora não seja uma atividade, o trator florestal, com configurações específicas de fábrica é uma antiga demanda do setor, e foi citada como de extrema importância.

Considerações sobre o perfil do aluno ligado às ciências florestais

Perante uma realidade onde há a necessidade de mecanização e automação das operações florestais, é preciso não só trazer novas soluções em implementos e máquinas adaptadas ao ambiente florestal, mas também capacitar os silvicultores e gestores florestais para o gerenciamento de sistemas mecanizados. Isso já é praticado rotineiramente pela colheita.

Também é importante refletir sobre a qualificação deste novo perfil exigido ao engenheiro florestal (gestão de máquinas e equipamentos, tecnologia embarcada, sensoriamento remoto, etc.). Como estamos nos preparando para este panorama e também preparando os futuros profissionais para o mercado?

Anexo I - Questionário

Caro representante,

Conforme deliberado na última reunião administrativa segue questões para identificação de prioridades na área de mecanização florestal.

Questões

1) Na tabela 1 estão listados os equipamentos apresentados pelas associadas durante a 45ª Reunião do PTSM. Preencher a tabela de acordo com a prioridade de desenvolvimento de equipamento de sua empresa. Caso julgue necessária a inclusão de outros equipamentos, favor adicioná-lo ao final da tabela e classificá-lo quanto à prioridade.

Tabela 1 - Prioridade de desenvolvimento de equipamentos apresentadas pelas associadas durante a 45ª Reunião do PTSM

Equipamento	Prioridade ¹					Justificativa
	muito baixa	baixa	média	alta	muito alta	
Plantadeira mecanizada						
Sistema de irrigação p/ estabelecimento inicial						
Aplicador de herbicida pós-emergente						
Aplicador de herbicida pré-emergente						
Rebaixador de toco						
Subsolador						
Sensor de aplicação de adubo						
Sensor de profundidade de subsolagem						
Sensor de aplicação de herbicida						
Preparador de solo em área declivosa						
...						
...						
...						

¹Pontuação (muito alta - 9 pontos; alta - 7 pontos; média - 5 pontos; baixa - 3 pontos; muito baixa 1 ponto)

2) Quais os fornecedores de equipamentos e prestadores de serviço que a empresa considera como potenciais parceiros no desenvolvimento de equipamentos para participar do Seminário a ser realizado no segundo semestre? Preencher a tabela 2.

Tabela 2 - Lista de potenciais fornecedores de equipamentos e prestadores de serviço para participar do Seminário

Fornecedor/prestador de serviço	Equipamento	Contato		
		nome	e-mail	telefone
...				
...				
...				
...				

3) Objetivando identificar as atividades silviculturais mecanizadas e manuais, os custos e rendimentos relativos a estas, preencher a tabela 3 com valores médios praticados na empresa. Caso possua alguma tabela da empresa com as informações solicitadas, a mesma pode ser enviada. Todas as informações consideradas confidenciais serão mantidas em sigilo e não divulgadas.

Tabela 3 - Composição de equipamentos, de mão de obra, de insumos, de custos e de rendimentos operacionais, das principais atividades silviculturais

Atividade silvicultural	equipamento/ implemento	mão de obra (MDO)	insumo	rendimento		custo atividade (R\$/ha)			área ¹ %
				HM ha ⁻¹	HH ha ⁻¹	máquina	MDO	insumo	
Combate a formiga									
Rebaixamento de toco									
Controle de daninhas									
Calagem									
Preparo do solo									
Controle pré-emergente									
Fertilização de base									
Plantio									
Irrigação									
Fertilização de cobertura									
...									
...									
...									

1 - percentual da área total em que a atividade é realizada

4) Quais características devem compor o perfil do profissional a ser contratado pelo grupo para gerenciar as ações sobre mecanização? Você conhece/recomenda algum profissional?

Nutrição e Fertilização Florestal: considerações finais

José Henrique Bazani

Engenheiro Florestal, Mestrando em Recursos Florestais da ESALQ/USP, jhbazani@usp.br

Rodrigo Eiji Hakamada

Pesquisador Florestal da International Paper, rodrigo.hakamada@ipaper.com

José Carlos Arthur Junior

Engenheiro Florestal, Coordenador Técnico do PTSM/IPEF, arthur@ipef.br

José Leonardo de Moraes Gonçalves

Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, jlmgonca@usp.br

É preciso compreender a dinâmica de crescimento da floresta e de utilização dos recursos essenciais às plantas (água, luz e nutrientes) para que se adote a melhor estratégia de fertilização, que assegure a produtividade e a competitividade. A disponibilidade nutricional do sítio bem como a dinâmica de utilização destes nutrientes disponíveis às plantas vem sendo intensamente investigadas pelos gestores florestais (ALMADO; MARTINS, 2014; HAKAMADA et al., 2014; LOURENÇO; SILVA, 2014).

Sistemas computacionais que relacionam o estoque de nutrientes no ambiente com a necessidade da plantação estão sendo desenvolvidos, validados em campo e aprimorados para que possam se tornar uma importante ferramenta de manejo florestal. Aliados à estes sistemas, também são realizados o acompanhamento do desenvolvimento da floresta por meio de monitoramento nutricional (análises nutricionais de tecido foliar e diagnose DRIS) e o uso de informações da rede de parcelas de inventário florestal.

Estas informações e ferramentas permitem ao gestor verificar se o desenvolvimento da plantação corresponde às expectativas traçadas e se há necessidade de intervenções e/ou correções. A definição sobre o melhor modelo ainda é controversa, sendo questionadas as efetividades em cada situação, porém a união dos pesquisadores e a troca de informações são fundamentais para a definição das melhores estratégias a serem adotadas.

As respostas à fertilização são mais evidentes nas fases iniciais do estabelecimento do povoamento florestal. O potássio tem se mostrado como um dos principais nutrientes limitantes ao plantio de eucalipto em condições brasileiras (LACLAU et al., 2014; MELO et al., 2014). Em solos mais intemperizados, o fósforo pode provocar redução drástica de crescimento e em ambientes com maior restrição hídrica, o boro merece especial atenção. O aporte de nutrientes na fase inicial da floresta promove melhor arranque do povoamento e pode assegurar maior vigor do plantio favorecendo a competição com as plantas daninhas e a tolerância às pragas e doenças.

O melhor estabelecimento das plantas pode trazer implicações no custo de formação da floresta, em função da redução do replantio e das irrigações. Em contrapartida, para a maioria dos nutrientes, as respostas à fertilização desaparecem ao final da rotação (6-7 anos), pois fatores como água e luz passam a ser mais limitantes ao desenvolvimento das árvores (LACLAU et al., 2014).

A busca por sistemas de manejo florestal que intensifiquem os processos ecológicos e criem uma maior diversidade nas áreas de produção são desejáveis. Estas práticas utilizadas em sistemas agrícolas passam a fazer parte das discussões em ambientes florestais, com objetivo de produção de madeira. O uso de plantios mistos entre os gêneros *Eucalyptus* e *Acacia* tem se mostrado promissor em regiões tropicais fora do Brasil. Em nosso país, a rede de pesquisa criada pela parceria ESALQ-CIRAD e empresas do setor florestal têm conseguido grandes avanços para o entendimento da dinâmica de nutrientes da floresta e do aumento da eficiência de utilização de recursos naturais (BOUILLET et al., 2014).

O modo de aplicação dos nutrientes merece atenção, pois pode favorecer ou não a eficiência de utilização dos fertilizantes. O uso de compostos nitrogenados à base de uréia aplicados em cobertura e sob sistema de cultivo mínimo provocam perdas significativas de nitrogênio por volatilização, com valores em torno de 50 a 70% em um período de 30 dias após a aplicação (MELO et al., 2014).

Diversas são as fontes disponíveis para fornecimento de nutrientes às plantas, as quais podem provocar comportamentos distintos do nutriente no solo e seus efeitos devem ser de domínio do silvicultor. Dias et al. (2013) constataram ganhos de até 9,5% em volume em florestas de eucalipto com 5,4 anos quando utilizou fontes solúveis de P associadas à S em comparação com o fosfato natural reativo, que possui formas de P de menor solubilidade. Esta tendência tem sido comprovada em novos ensaios experimentais instalados na região do cerrado (DIAS et al., 2014) e também em São Paulo (LIBARDI et al., 2014).

O sucesso do manejo nutricional das plantações florestais passa, sem dúvida, pela qualidade do fertilizante bem como pelas técnicas para sua distribuição em campo (tecnologia de aplicação). Esta preocupação era, até pouco tempo atrás, negligenciada pelo silvicultor, haja vista as dúvidas que pairavam sobre a influência dos nutrientes na produtividade das florestas. Sanadas ou, parcialmente entendidos estes questionamentos, um ajuste fino nas recomendações se faz necessário.

Quando se trabalha a informação em larga escala, conforme exposto por Hakamada et al. (2014) as falhas operacionais podem refletir em ganhos de até 30% com fertilizações extras. Dentro das falhas operacionais, as características dos fertilizantes podem influenciar a distribuição dos nutrientes dentro do talhão e, por conseguinte, a uniformidade final da floresta, podendo gerar déficits de produtividade do empreendimento florestal. Estes ajustes passam pela qualidade dos fertilizantes utilizados, quer seja com relação às suas características químicas, físicas ou físico-químicas. Hakamada et al. (2013) destaca três importantes pontos que devem ser observados: a qualidade da distribuição dos fertilizantes, a qualidade dos fertilizantes e os critérios e assertividade das recomendações.

Por se tratar de um recurso limitado, as empresas fabricantes de fertilizantes buscam o aumento da eficiência de utilização de nutrientes. Com isso novas tecnologias no processo de fabricação são desenvolvidas e disponibilizadas. Antes, porém, faz-se necessário a compreensão da sensibilidade da cultura frente a estas novas tecnologias. Durante a reunião foram apresentadas soluções para redução das perdas de nitrogênio por volatilização, para o fornecimento de S, para o aumento da eficiência de uso de P e a fontes alternativas para o suprimento de Ca e Mg. O tratamento dos grânulos de uréia com ácido bórico e cobre possibilitam reduções de até 75% das perdas por volatilização do N contido no fertilizante. O recobrimento dos grânulos de uréia, MAP e superfosfato triplo com enxofre elementar é uma alternativa para o fornecimento de S às plantações. Esta técnica viabiliza a utilização das fontes de nutrientes mais concentradas, sem comprometimento ao fornecimento de enxofre (JORDÃO; COELHO, 2014).

Devido aos processos de fixação do P com o solo o que torna o nutriente pouco disponível na solução, desenvolveu-se uma técnica de complexação da molécula de P com radicais orgânicos. Este processo reduz as interações deste elemento com o solo e tornam o nutriente mais disponível à planta. Resultados experimentais em condições de campo têm mostrado que a cultura do eucalipto apresenta sensibilidade a esta nova tecnologia de fertilizante fosfatado (LIBARDI et al., 2014).

Alguns resíduos gerados na indústria de celulose apresentam características de corretivos de acidez do solo, devido aos altos teores de cálcio, hidróxidos e carbonatos, conferindo alto poder de neutralização, assim, é uma boa alternativa em substituição ao calcário dolomítico. O uso desse insumo como substituto ao calcário dolomítico, como corretivo da acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para os plantios de eucalipto na Veracel já é prática usual e rotineira. Além de reduzir a pressão sobre o aterro sanitário, o uso desses resíduos traz também grandes benefícios econômicos para a silvicultura, com significativa redução no custo de aplicação (LOURENÇO SILVA et al., 2014).

A cooperação entre empresas do setor florestal, universidades, institutos de pesquisa e empresas fabricantes e/ou fornecedoras de insumos (fertilizantes) é a chave para se alcançar maior eficiência no processo de produção. Garantir o suprimento nutricional adequado de nossas plantações ao longo das sucessivas rotações é assegurar a sustentabilidade do setor florestal brasileiro. É com este intuito que o programa de Silvicultura e Manejo do IPEF torna disponível as discussões geradas em seus encontros técnicos, para que sirvam de fonte de consulta no futuro para profissionais, pesquisadores e estudantes, auxiliando na difusão e na disseminação do conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMADO, R.P.; MARTINS, L.G.C. Manejo de solos e nutrição de plantas na ARCELORMITTAL. Bioflorestas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- BOUILLET, J.P.D.; VOIGTLAENDER, M.; LACLAU J.P.; GONÇALVES, J.L.M.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; HAKAMADA, R.E.; MARESCHAL, L.; MABIALA, A.; NOUVELLON, Y. Efeito da associação de leguminosas no ciclo de nitrogênio nas plantações de eucaliptos. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- DIAS, S.C.M.; FERNANDES, D.E.; AFONSO, C.E. Nutrição de plantações de eucalipto em áreas do cerrado de Minas Gerais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- HAKAMADA, R.E.; LEMOS, C.C.Z.; BATISTUZZO, G.; SILVA, R.M.L. Estudos de caso em fertilização florestal: qualidade da operação, do fertilizante e da recomendação de fertilização. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, dez.2014.
- JORDÃO C.B. Tecnologia de aplicação de Nitrogênio e de Enxofre. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- LACLAU J.P.; GONÇALVES, J.L.M.; MOREIRA, R.R.; BOUILLET, J.P.D.; NOUVELLON, Y. Dez anos de pesquisa sobre os ciclos biogeoquímicos em ecossistemas de *Eucalyptus* no Brasil: consequências para a fertilização das plantações comerciais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- LIBARDI, D.J.; MENDES, E.C.M.; BAZANI, J.H.; GONÇALVES, J.L.M. Novas tecnologias na produção de fertilizantes – TIMAC Agro Brasil. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- LOURENÇO, H.M.; SILVA, S.R. Aspectos do manejo de nutrientes na Veracel. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- MELO, E.A.S.C.; HAKAMADA, R.E.; QUEIROZ, D.; BORGES, J.S.; GONÇALVES, J.L.M. Respostas às fertilizações com doses crescentes de N-P-K em quatro sítios florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.
- MELO, E.A.S.C.; ARTHUR JUNIOR, J.C.; GONÇALVES, J.L.M. Volatilização de N em plantações de eucalipto fertilizadas com ureia. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.

Lista de participantes

Agnaldo Norberto Vitti – Veracel
Alecimar Teixeira – Suzano
Alejandro Gonzalez – Eufores
Aline Vergani – Veracel
Alvaro Byczkowski – Suzano
Amanda Roberta Vergani – Caxuana
Antônio Marcelo Scopel – Carpelo
Arnaldo Pasmanik – Brasilwood
Arthur Vrecchi - Veracel
Ayeska Braga Nunes Hubner - PTSM
Caio Polizel – PTSM
Camila Beig Jordão – Fertilizantes Heringer
Camila Denoni – PTSM
Camila Mazão – PTSM
Carlos Adriano Basilio – Fertilizantes Heringer
Carlos Eduardo Afonso – Plantar
Caroline Ribeiro Rodrigues – Veracel
Cristina Pierroti Aun – Gerdau
Dalmo Caresato – Compo do Brasil
Daniel Soares – Timac Agro
Daniela Andrade Neves – Veracel
Danilo Libardi
Davi Fernando Prandini – Arvus
David Calaes Arbex – Copener
Davidson Pereira dos Santos – Fibria
Denilson José Fernandes – Fibria
Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo - ESALQ/USP
Eduardo Resende Girardi Marques – PTSM
Eldio Vicente Amaral – Veracel
Eloá Cabrera Machado Mendes – Timac Agro
Evandro Gujanwsky – Fertilizantes Heringer
Fabrício de Oliveira Gebrim – Arauco
Fabrício Sebok – Veracel
Flancer Novaies Nunes – Copener
Flávio Luis Souza – Veracel
Guilherme G. Ornelas Christo – Copener
Guilherme Luiz de Jesus – Cenibra
Guilherme Zaghi Borges Batistuzzo - International Paper
Helton Maycon Lourenço – Veracel
Hernon José Ferreira – Eucatex
Jansen Barrozo Fernandes – Suzano
Jarbas Silva Borges – Duraflora
Jean-Paul Laclau – CIRAD/ESALQ/USP
Jean-Pierre Daniel Bouillet – CIRAD/ESALQ/USP
Jerffson da Silva Santos – KTM Engenharia
Jerônimo Ferreira Christo – Veracel
João Paulo Masculi de Luchio – Fertilizantes Heringer
Joaquín Orellana Correa – Compo Agro
Jonas Elias Castro da Rocha – Vale Florestar

José Carlos Arthur Junior – PTSM/IPEF
José Henrique Bazani – ESALQ/USP
José Henrique Rocha – PTSM
José Leonardo de Moraes Gonçalves – LCF/ESALQ/USP
José Marcio Cossi Bizon – Fibria
José Renato Ventura Rodrigues – Arauco
Jovane Vicente Ferreira – Veracel
Juan Schapovaloff – Alto Parana
Júlio Cezar Oliveira Carvalho – Veracel
Karina Zamprogno Ferreira – Veracel
Luciana Duque Silva – LCF/ESALQ/USP
Luis Migray – Veracel
Marcello Bontempi Pizzi – PTSM
Marcelo Doéring Marsom – Compo do Brasil
Marcelo Ferreira – Veracel
Márcio Souza Reis – Veracel
Marcos André Piedade Gama – Universidade Federal Rural da Amazônia
Marcos Antônio Guimarães – Copener
Marcos Antônio Lemos - Lemos & Petersen Agropecuária
Marcos Sandro Felipe – Eucatex
Maria Cecília Rodini Branco – RR Agroflorestal
Michelle Bayerl – Veracel
Miguel Tadeu Gonçalves Cadini – Fibria
Nadívio Souza dos Santos – Suzano
Nínive Maia – Veracel
Osmar Menegol – Fibria
Patrícia R. Torquato – PTSM
Paulo Renato Teixeira – Fibria
Rafael Tiburcio – Veracel
Raniere José Ornelas Nascimento – Veracel
Raul Netto Motta Siqueira – Veracel
Ricardo Previdente Martins – Suzano
Rildo Moreira e Moreira – ESALQ/USP
Robson Minatel – Klabin
Rodrigo Eiji Hakamada – International Paper
Rodrigo Firmino da Silva – KTM Engenharia
Rone Patrício Ferreira – Timac Agro
Roosevelt de Paula Almado – ArcelorMittal BioFlorestas
Sebastião da Fonseca – Fibria
Sérgio Ricardo Silva
Sézar A. Santos Costa – Veracel
Sharlles Christian Moreira Dias – Plantar
Thuliany Fernandes Araújo Paes – UFV
Tiago de O. Godinho – PTSM
Valentim Augusto Colombo – Brasilwood
Valéria Lacerda de Almeida – Carpelo
Vinícius Evangelista Silva – Eldorado Brasil
Washington de Souza Vieira – Veracel
Wellington Blunck Rezende – Veracel
Wilson de Souza Lopes Junior - Fibria

