

NUTRIÇÃO MINERAL DE FLORESTAS PLANTADAS: O ESTADO ATUAL E TENDÊNCIAS DA PESQUISA E DA PRÁTICA

Carlos Alberto Ferreira
EMBRAPA - CNPFlorestas

RESUMO

Neste trabalho são discutidos os avanços na área de nutrição e adubação mineral de florestas plantadas no Brasil, seu estágio atual e tendências da pesquisa e da prática. Como forma de avaliar o sucesso da pesquisa, nesta área, comparou-se as prioridades estabelecidas pelo Grupo Permanente de Trabalho em Nutrição e Fertilização Florestal, em 1983, e o atendimento a essas prioridades na última década. O trabalho discute ainda as tendências atuais de uso crescente de resíduos industriais e urbanos em substituição a fertilizantes minerais. Sugere ainda, a adoção de novas metodologias para implantação e análise de experimentos, tendo em vista a necessidade inclusive de atender ao conceito de sustentabilidade nas atividades florestais.

ABSTRACT

This paper discuss the progresses in forestry nutrition and fertilization, in Brazil, the present stage and the tendencies of the research and practice. As a procedure to evaluate the research effectiveness it was compared the progress obtained in the last decade to the priorities established, in 1983, by the Brazilian Permanent Work Group on Forestry Nutrition and Fertilization. This paper also discuss the increasing utilization of industrial and urban wastes to replace mineral fertilizers. It is also suggested methodologies to establish and analyze trials, in view of the necessity to assure that commercial forestry be sustainable.

INTRODUÇÃO.

A pesquisa em nutrição florestal no Brasil é relativamente recente. O seu desenvolvimento está relacionado principalmente, com a expansão da cultura do Eucalipto, e a ocupação de áreas de cerrado com este gênero. Os plantios efetuados anteriormente, e no início do período da expansão, não eram adubados. A queda da produtividade, devido à ocupação de solos de baixa fertilidade, despertou interesse na utilização de fertilizantes nos novos plantios. Após os trabalhos pioneiros de BRASIL SOBRINHO et al., (1961), MELLO, (1968), KNUDSON et al., (1967), foi possível a elaboração de formulações de NPK, que passaram a ser usadas de forma generalizada.

Depois de 1974, a maioria dos novos plantios recebia adubação no momento da implantação. De início esperava-se ganhos devido à redução da manutenção pelo aceleração da ocupação do sítio pelas plântulas. Entretanto, o potencial da técnica para o aumento dos níveis de produtividade foi comprovado tendo-se mostrado, inclusive, financeiramente interessante. Apesar do desenvolvimento de várias pesquisas no período de 1973 a 1981, estas concentraram-se em problemas de viveiro e poucas em adubação no campo. A natureza empírica desses trabalhos não permitiram generalizações e, portanto, pouco influenciaram nas mudanças de práticas de adubação, a maioria dos plantios continuaram utilizando basicamente a mesma formulação NPK independente de tipo de solo e exigências das espécies.

A criação do Grupo Permanente de Trabalho em Nutrição e Fertilização Florestal (G.P.T.N.F.F.), sob inspiração do Programa Na-

cional de Pesquisa Florestal, em 1983, representou um marco na pesquisa em nutrição florestal no Brasil. Pela primeira vez reuniam-se pesquisadores de instituições públicas e privadas e efetuava-se uma avaliação conjunta do estágio de desenvolvimento e propunha-se prioridades de pesquisa para orientação de órgãos executores e financiadores de projetos. O melhor direcionamento das pesquisas proposto na publicação GRUPO PERMANENTE DE TRABALHO EM NUTRIÇÃO E FERTILIZAÇÃO FLORESTAL (1983), bem como a emergência de grupos de pesquisadores, em várias Universidades e Instituições privadas e públicas, permitiram a partir de então significativos desenvolvimentos. Reconhecia-se, entretanto, nesse documento a necessidade do sólido embasamento científico da pesquisa em nutrição de plantas e fertilização do solo. O imediatismo e excessivo empirismo que prejudicaram o desenvolvimento da área, ainda hoje estão presentes, impossibilitando extrapolações e comparações válidas entre experimentos. Dessa forma há dificuldades para o desenvolvimento e a implementação de tecnologias que assegurem, não apenas o aumento, mas também a manutenção da produtividade dos sítios.

Este trabalho tem por objetivo, dentro de suas limitações, sumarizar as informações que hoje se encontram disponíveis, compará-las com as prioridades estabelecidas em 1983, e discutir as possíveis ações ainda demandadas, bem como, na opinião do autor, o possível direcionamento futuro das pesquisas em nutrição florestal.

II PRIORIDADES DE PESQUISA

As prioridades relacionadas a seguir foram estabelecidas pelo G.P.T.N.F.F. em 1983. Entendemos que várias destas prioridades ainda são atuais, enquanto outras podem ser consideradas pelo menos parcialmente atendidas:

- a) determinar critérios de avaliação de fertilidade, com ênfase em:
 - Métodos de análise de solos e planta compatíveis com as exigências nutricionais das espécies florestais.
 - Metodologia de coleta de amostras de tecidos vegetais e solo.
 - Níveis críticos de elementos minerais no solo e nos tecidos das principais espécies florestais plantadas;
- b) definir metodologias experimentais mais apropriadas para instalação, condução e avaliação dos ensaios;
- c) selecionar genótipos de essências florestais mais eficientes no aproveitamento dos nutrientes e mais tolerantes a fatores adversos do solo;
- d) estabelecer pesquisas de caráter multidisciplinar que auxiliem na condução, interpretação e extrapolação dos resultados experimentais.
- e) promover estudos de classificação de sítios, com base em fatores edafo-climáticos, no sentido de aproveitar as potencialidades de cada espécie.
- f) determinar as implicações da ciclagem de nutrientes, em povoamentos conduzidos sob diferentes sistemas de manejo, na produtividade florestal a longo prazo;
- g) determinar possíveis modificações químicas, físicas e biológicas do solo, de forma a orientar a adoção de técnicas que concorram para aumentar a produtividade florestal ao longo das rotações;
- h) avaliar as implicações nutricionais dos métodos de preparo e cultivo dos solos;
 - i) verificar a viabilidade do aproveitamento de resíduos industriais e urbanos, para fins de fertilização florestal;
 - j) estimular a formação de grupos de trabalho a nível nacional e regional, visando a um maior intercâmbio técnico-científico;

k) estudos sobre adubação de cepas visando obter dados sobre a necessidade, época, dosagem e modo de aplicação do fertilizante;

l) avaliar a viabilidade do uso de fosfatos naturais em atividades florestais.

Na sequência deste documento algumas das prioridades, essencialmente de pesquisa e consideradas mais importantes, serão discutidas em função do grau de atendimento pelos trabalhos executados. Procurar-se-a demonstrar os pontos fortes e as lacunas ainda existentes demandando informações e esforços de pesquisa.

III CONCENTRAÇÕES CRÍTICAS DE NUTRIENTES

III.1 Concentrações críticas de nutrientes nas folhas

O conhecimento das concentrações críticas de nutrientes é essencial para diagnósticos nutricionais. A sua importância é devida à correlação existente entre a concentração desses nutrientes em determinados tecidos das plantas e o crescimento das árvores. Embora outros tecidos possam ser amostrados, a folha tem sido preferida para a maioria das espécies, não apenas florestais. A grande vantagem da determinação das concentrações críticas é a possibilidade de detectar-se a deficiência de um ou mais nutrientes antes que os sintomas visuais se tornem aparentes, e o prejuízo ao crescimento já tenha se manifestado. A associação do diagnóstico visual com a análise subsequente das concentrações dos nutrientes, é a combinação ideal. O procedimento se justifica, ainda mais, quando se verificam deficiências múltiplas que prejudicam a avaliação visual.

Deve-se entender a concentração crítica de nutrientes como definida por NOVAIS et al. (1990), ou seja, "a concentração mínima de um dado nutriente essencial na planta que corresponde ao crescimento máximo (ou a um percentual deste máximo) desta planta".

As dificuldades para a determinação dos padrões dessas concentrações, nas folhas, têm limitado avanços significativos. A época de amostragem, a idade das árvores, a idade do tecido amostrado, a espécie, o local (clima) e o tipo do solo, bem como o poder tampão desse solo em relação aos nutrientes (NOVAIS et al, 1990), modificam as concentrações dificultando sua interpretação e as comparações. BELLOTE & FERREIRA (1993), apresentam dados que exemplificam essas variações para a mesma espécie, no mesmo solo mas em locais de clima diferente. Existe uma tendência, de aceitação geral, de adotar-se faixas de concentração crítica ao invés de um único valor, para fins de diagnose. Devido a relativa escassez de informações incluiu-se dados da literatura internacional para a discussão deste item.

Em várias espécies de *Eucalyptus* as variações nas concentrações, de determinados elementos minerais, chegam a ser, bastante significativas (HAAG et al., 1963; McCOOL & HUMPHREYS, 1967; ROGERS & WESTMAN, 1977; SILVA, 1983; PEREIRA et al., 1984a, 1984b). Com relação a concentração dos nutrientes minerais dos tecidos, em *E. grandis*, que é uma das espécies mais estudadas, pode-se considerar que o conhecimento ainda é insuficiente. Para os macronutrientes, a situação se agrava, uma vez que os valores encontrados são muito variáveis tanto na África do Sul (SCHÖNAU, 1981a, 1981b; HERBERT, 1983), quanto no Brasil (BELLOTE, 1979; POGGIANI et al., 1983; SILVA, 1983; PEREIRA et al., 1984a; MORAIS, 1988; FERREIRA, 1989).

Alguns níveis foliares, entretanto, podem ser admitidos, como possivelmente adequados para o desenvolvimento das plantas de *E. grandis*. Assim, o nível foliar adequado de nitrogênio, determinado por HAAG et al. (1961) situa-se entre 20,7 - 22,2 mg/g M.S.. Plantas com níveis iguais ou inferiores a 11,5 mg/g M.S. já apresentam sintomas de deficiência (KAUL et al., 1968).

Em relação ao fósforo, 1,1 mg/g M.S. é considerado o nível crítico do elemento nas folhas de *E. camaldulensis* (LACEY et al., 1966), enquanto que a concentração ótima varia entre 1,5 - 1,8 mg/g M.S. para *E. grandis* (SCHÖNAU & HERBERT, 1982).

No caso do potássio as árvores apresentam sintomas de deficiência quando a concentração foliar, atinge 4,0 mg/g M.S. (LACEY et al. 1966), em *E. camaldulensis*. A concentração ótima, para esse elemento, para o *E. grandis*, situa-se entre 6,3 e 8,3 mg/g M.S. (BELLOTE, 1990).

Árvores com teores de magnésio entre 2,6 e 3,6 mg/g M.S., nas folhas, estão ótimamente nutridas com esse elemento (BELLOTE, 1990). O mesmo autor demonstra que, juntamente com o potássio, o magnésio é o nutriente que mais limita o crescimento do *E. grandis* em São Paulo. Para o cálcio não há indicações seguras, as concentrações obtidas no Brasil, 3,8 - 4,0 mg/g M.S. por FERREIRA, (1989), estão muito abaixo da recomendada para a África do Sul, que estaria acima de 10 mg/g M.S. (SCHÖNAU, 1983). Há dúvidas quanto a importância de altas concentrações foliares de cálcio para o desenvolvimento do *E. grandis* no cerrado de São Paulo (BELLOTE, 1990, BELLOTE & FERREIRA, 1993).

Para os micronutrientes boro, cobre, ferro, manganês e zinco a situação é indefinida. Os poucos trabalhos, existentes na literatura, mostram teores foliares bastante variados para esses elementos, (BELLOTE, 1979; ROCHA FILHO et al., 1979; SCHÖNAU, 1981a, 1981b; POGGIANI et al., 1983; SILVA, 1983; MORAIS, 1988) e, para ferro, manganês e zinco, pouco relacionamento entre teores foliares e limitações de crescimento, (BELLOTE & FERREIRA, 1993).

O teor de boro nas folhas em que as plantas se apresentaram sadias foi de 40 - 70 µg/g M.S., enquanto que plantas cujas folhas apresentam teores de 25 - 35 µg/g M.S. exibem sintomas de deficiência do elemento (MALAVOLTA et al., 1978). O nível crítico ótimo de boro, apontado por ROCHA FILHO et al. (1979) nas folhas novas de *E. grandis* é de 68,5 µg/g M.S. e nas folhas maduras de 85,7 µg/g M.S. Valores ótimos encontrados nas folhas, para ferro, zinco e manganês, são respectivamente, 110, 18 e 600 µg/g M.S. (HERBERT & SCHÖNAU, 1989).

Em relação a teores de nutrientes em folhas de espécies de eucalipto, de modo geral, e que pode ser usado como uma boa referência recomenda-se a apresentada por NOVAIS et al. (1990), que sumariza grande parte dos dados brasileiros.

III.2 Concentrações críticas de nutrientes no solo

A utilização da análise de solo para fins nutricionais, da mesma forma que a análise foliar, requer o conhecimento dos níveis críticos dos nutrientes no solo. O uso da análise de solos também apresenta outras dificuldades discutidas em detalhe por BARROS et al. (1990), entre as quais destacam-se: o desconhecimento das exigências das espécies florestais, da correlação entre os dados de solo e possíveis respostas à adubação, a dificuldade de obtenção de amostras representativas da zona de exploração radicular das árvores, e a incerteza quanto à forma de extração do nutriente.

Este aspecto da nutrição florestal apresentou progressos, apesar de suas limitações, assim a primeira tentativa de estabelecimento de níveis críticos para plantios em áreas de cerrado de Minas Gerais foi estabelecida por BARROS et al. (1982) para fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Novas informações obtidas de experimentos permitiram outra proposição também por BARROS et al. (1986a), tendo por base as produtividades mais elevadas observadas nos cerrados daquele estado. A proposição apresenta níveis críticos para implantação e para manutenção dos povoamentos florestais. Os últimos níveis foram calculados com base no conceito de "coeficiente de utilização analítico" (BARROS et al., 1986b) e propostos por NOVAIS et al., (1986) para os cinco primeiros anos do povoamento e variam de acordo com a capacidade produtiva dos sítios.

Alguns dados recentes corroboram os níveis propostos por NOVAIS et al. (1986) para potássio. BELLOTE & FERREIRA, (1993) constataram que em solos com teores superiores a 45 ppm de K, as árvores não apresentavam níveis de potássio nas folhas, inferiores à faixa considerada adequada. O nível de 45 ppm seria o necessário para, pelo menos, uma produtividade de 20 m³/ha.ano; produtividades mais elevadas requereriam maiores quantidades de potássio no solo. BARROS et al. (1992) confirmam a necessidade de adubação com potássio, de preferência parcelada até os três anos, em solos com teores inferiores a 40 ppm, e respostas pouco expressivas em solos acima de 51 ppm.

Ainda de acordo com BELLOTE & FERREIRA, (1993), árvores com teores de Mg entre 2,6 e 3,6 mg/g M.S. nas folhas estão ótimamente nutridas com esse elemento. Esses teores foliares ótimos são observados quando a concentração de magnésio no solo está acima de 0,1 m.eq Mg/100 g de solo. Esta concentração seria suficiente nos casos em que a produtividade esperada não ultrapasse 20 m³/ha.ano segundo NOVAIS et al. (1986) e BARROS et al., (1992). Portanto, justifica-se, também neste caso, a expectativa de respostas ao Mg visando-se produções mais elevadas como salientam BELLOTE & FERREIRA, (1993).

Com relação ao cálcio pairam dúvidas quanto à sua importância, aparentemente não há relação entre o aumento do teor do nutriente no solo e o crescimento das árvores (BELLOTE, 1990; BELLOTE & FERREIRA, 1993). Teores de cálcio superiores a 0,25 m.eq/100 g de solo que seria o nível crítico do nutriente no plantio segundo NOVAIS et al. (1986) e BARROS et al., (1992) não estimulariam o crescimento do eucalipto. Aplicações de calcário na dosagem de 2 ton/ha em solo ácido, por ROCHA et al. (1983), não resultaram em aumento de pH nem das bases trocáveis, mas na redução da disponibilidade de K do solo, desaconselhando a prática. Em solos com teor elevado de P, VALERI, (1983), VALERI et al. (1985), obtiveram resposta a calagem quando seguida de adubação com N e K mais micronutrientes.

IV. Metodologia experimental e análise de solo e planta

Embora reconheça-se a necessidade de adaptações, para fins florestais, dos métodos tradicionais de análise de solo e planta, praticamente os mesmos métodos desenvolvidos para fins agrícolas continuam sendo utilizados para fins florestais.

A utilização de delineamentos melhor elaborados poderiam ser úteis para o aproveitamento de um grande número de experimentos, que foram implantados em delineamentos inadequados impedindo a obtenção de resultados com maior possibilidade prática e científica de aplicação.

Além de delineamentos e tratamentos inadequados, as variáveis acessadas e as análises estatísticas precisariam ser repensadas. No caso, por exemplo, das interações entre solo e planta, possivelmente a abordagem multivariada como proposto por WOOLONS & SNOWDON (1991), poderia ser útil. A determinação das deficiências nutricionais por métodos fisiológicos e bioquímicos como revistos por BOUMA (1983) merecem maior atenção por serem mais simples, rápidos e possivelmente mais precisos.

V. Seleção de genótipos mais eficientes

Variações em teores de nutrientes, entre espécies, clones e inclusiva posição individual no dossel da floresta, têm sido detectadas, em vários trabalhos. Algumas dessas diferenças demonstram que determinadas espécies e indivíduos são mais eficientes que outras na absorção e utilização dos nutrientes minerais, em um mesmo sítio (SILVA, 1983, SILVA et al., 1983). Entenda-se por eficiente a árvore que apresente a maior relação entre a produção e a concentração de nutrientes e não a que apresente a produção mais elevada.

VETTORAZZO (1989) constatou a existência de variações genéticas, entre clones de *E. grandis* aos 12 meses de idade, para concentrações de P, K, Mg, B, Fe e Zn em areia quartzosa, mas em podzólico vermelho escuro apenas para Ca e Mg. Essa variação também se mostrou dependente da idade, ou seja, aos 56 meses as mesmas variações foram observadas apenas para Ca, K e Mg em areia quartzosa e Ca no podzólico vermelho escuro. As variações genéticas, entre clones, para concentração de nutrientes foram mais marcantes na areia quartzosa.

O trabalho mencionado mostra certas dificuldades para uma seleção eficiente de clones. As interações significativas entre clones e ambientes mostraram que a seleção precisa ser feita especificamente para cada local, a seleção marginal de clones, portanto, mostra-se menos eficiente. Constata-se não ser uma tarefa fácil selecionar indivíduos com características nutricionais desejáveis.

Entende-se dessa forma porque muito pouco se tem feito em termos de seleção para maior eficiência no uso de nutrientes. A não inclusão de parâmetros nutricionais para seleção de novos clones, híbridos e raças locais, na busca de produtividades crescentes, e as dificuldades naturais de associar frugalidade com altas taxas de crescimento como demonstrado por CHAPIN, (1980) e BIELESKI & LAUCHLI, (1983), podem ser arroladas como razões para essa situação.

VI. Avaliação nutricional de métodos silviculturais

A manutenção da produtividade florestal, ou seja, sua sustentabilidade é uma das preocupações atuais daqueles envolvidos na atividade florestal. A conservação e mesmo o aumento da quantidade de nutrientes nos sítios florestais passa necessariamente pela avaliação das implicações nutricionais das operações florestais. A exploração florestal, que resulta na exportação dos nutrientes junto com a madeira e outros produtos, é uma das operações mais agressivas para as reservas de nutrientes do solo. O problema é agravado pelas rotações curtas e exploração de árvores jovens. Vários trabalhos, principalmente do início da década de 80, se reportam a implicações de rotações curtas e explorações intensivas sobre a exportação de nutrientes e a reposição natural dos mesmos, como por exemplo POGGIANI et al. (1983), FERREIRA et al. (1984), POGGIANI et al. (1984).

Além da exploração, outras operações silviculturais podem resultar em perdas significativas de nutrientes dos sítios. Entre estas operações, o preparo para a próxima rotação talvez seja a mais importante, com destaque para a queima dos restos de exploração, e o revolvimento seguido da exposição e aumento da temperatura do solo, com conseqüente aceleração da decomposição da serrapilheira. Estes aspectos, praticamente não foram estudados na área florestal no Brasil, entretanto uma exaustiva revisão de trabalhos, na maioria da literatura internacional, é apresentada por COSTA (1990) que demonstra a importância do assunto.

O reconhecimento das implicações negativas do preparo intensivo tem motivado o plantio pelo sistema denominado "cultivo mínimo". A grande vantagem do "cultivo mínimo", quando comparado ao sistema tradicional, seria o baixo custo de implantação e não necessitar de queimada na fase de preparação, com repercussão direta no balanço de nutrientes. Entretanto, há uma certa polêmica quanto aos seus resultados, os plantios seriam mais desuniformes com redução da produtividade. As árvores não se beneficiariam da disponibilidade imediata de nutrientes ocasionada pela queima da serrapilheira. Requer, ainda, uso intensivo de herbicidas com implicações ecológicas pouco conhecidas.

Apesar dos custos elevados, da dificuldade inerente da avaliação e do prazo longo, que estas pesquisas demandam, é urgente que os experimentos prevejam e avaliem as implicações na dinâmica e balanço nutricional das várias opções silviculturais de forma sistêmica.

Não há dúvida da importância dos estudos isolados, mas se o objetivo é a sustentabilidade da produtividade florestal, pesquisas mais abrangentes, considerando quantitativamente todas as etapas e aspectos do problema, devem necessariamente ser realizadas.

VII. Adubação de cepas

A adubação de cepas tem preocupado devido às reduções de crescimento, observadas na segunda rotação, quando o esperado seria o contrário. Razões são apontadas para esse decréscimo (FERREIRA, 1973), sendo que alguns trabalhos tem procurado repor nutrientes como forma de melhorá-lo. Entretanto, relativamente poucos dados foram obtidos, e ainda apresentam-se inconsistentes. Atualmente, há tendência de não adotar-se segundas rotações. Face à disponibilidade de material genético melhorado e de técnicas mais apropriadas, as chamadas "reformas" de povoamentos tem mostrado produtividades superiores às segundas rotações.

O desconhecimento da dinâmica das raízes e sua distribuição no solo é apontado por BARROS et al. (1990) como um dos fatores mais importantes para o sucesso da adubação das cepas, pois determinaria a época e a localização mais adequadas ao aproveitamento máximo dos nutrientes. Este aspecto é crucial para o caso do fósforo o nutriente mais limitante para o eucalipto, que é praticamente imóvel no solo.

As respostas mais significativas foram obtidas com a aplicação dos nutrientes antes do corte, sem queima da serrapilheira e em sulco na entrelinha. Há possibilidade de respostas a adubações em cobertura, até três anos de idade, medidas por incrementos devidos à adubação de até 140 estereos/ha (270% de aumento) na idade de quatro anos (FERREIRA, 1973; BALONI & SILVA, 1978).

VIII. Utilização de resíduos industriais e urbanos em florestas

A disposição de resíduos industriais e urbanos constitui-se num dos maiores problemas da sociedade moderna, que se caracteriza pela industrialização intensiva e excessiva urbanização. Embora no Brasil o problema não tenha a dimensão de outros países mais desenvolvidos, já preocupa várias instituições e empresas conscientes dos problemas ambientais que os mesmos acarretam.

Embora muito volumosos, o que implica em custos de transporte elevados, a utilização do resíduo da celulose e das cinzas das caldeiras são alternativas de aumento do conteúdo de matéria orgânica e melhoria da fertilidade dos solos, principalmente daqueles arenosos distróficos. Diversos experimentos, ainda não publicados, mostram resultados excelentes que tem motivado o uso crescente desses resíduos em plantios florestais. A aplicação conjunta de fertilizantes minerais, cinzas de caldeira e resíduos de celulose, devidamente preparados, propiciou aumento de 70% da produtividade em comparação a plantios de *E. grandis* que receberam apenas fertilizantes minerais, na região de Mogi-Guaçu (MORO 1993, comunicação pessoal).

Deve ser lembrado que junto com a matéria orgânica, os resíduos podem levar constituintes minerais que são prejudiciais, tanto pela sua característica química, como pela quantidade adicionada ao solo. Pesquisas sobre as implicações destes constituintes devem ser substancialmente implementadas nos próximos anos.

O lixo e o lodo resultante do tratamento dos efluentes urbanos, têm potencial como condicionadores de solo. Esses materiais, entretanto, apresentam os maiores inconvenientes, devido à sua composição muito variável e ainda à presença de metais pesados e outros contaminantes que exigem aplicação cuidadosa. Os resultados obtidos pela incorporação do lixo urbano, em solos arenosos de cerrado em São Paulo, são bastante animadores (ZEN & BELLOTE 1993, comunicação pessoal), entretanto as interações com os diversos tipos de

solos precisam ser melhor entendidas, bem como as possíveis contaminações do solo e do lençol freático. Outros resíduos industriais, como por exemplo o lodo de curtume e as escórias de siderúrgicas, também têm potencial, mas igualmente necessitam ser avaliados não só por seu efeito na produtividade, mas também por seus impactos ambientais.

IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa relacionada à diagnose nutricional precisa ser ampliada e intensificada. A diagnose nutricional através da análise foliar tem-se mostrado extremamente complexa devido ao elevado número de variáveis que influenciam os teores de nutrientes nas folhas. Há falta de níveis críticos adequadamente estabelecidos para *Eucalyptus*, não permitindo seu uso isolado, mas apenas em conjunto com outras características como sintomas visuais e o crescimento das árvores.

Em relação à concentração crítica de nutrientes no solo ocorreram progressos, apesar das limitações para sua interpretação adequada. Assim foram estabelecidos níveis críticos para plantios em áreas de cerrado de Minas Gerais, para fósforo, potássio, cálcio e magnésio, calculados com base no conceito de "coeficiente de utilização analítico" (BARROS et al., 1986a) e propostos por NOVAIS et al., (1986) para os cinco primeiros anos do povoamento e variando de acordo com a capacidade produtiva dos sítios. A coerência desses níveis tem sido confirmada por outros pesquisadores.

Embora reconheça-se a necessidade de adaptações, para fins florestais, dos métodos tradicionais de análise de solo e planta, praticamente os mesmos métodos desenvolvidos para fins agrícolas continuam sendo utilizados para fins florestais, não se registrando progressos notáveis nos últimos anos.

Além de delineamentos e tratamentos inadequados, as variáveis acessadas e as análises estatísticas precisariam ser repensadas. No caso por exemplo das interações entre solo e planta, possivelmente a abordagem multivariada como proposto por WOOLONS & SNOWDON (1991), poderia ser útil.

Apesar dos custos elevados, da dificuldade inerente da avaliação e do prazo longo, que estas pesquisas demandam, é urgente que os experimentos prevejam e avaliem as implicações na dinâmica e balanço nutricional das várias opções silviculturais de forma sistêmica, se o objetivo é a sustentabilidade da produtividade florestal.

A utilização de resíduos industriais e urbanos precisa de maior embasamento, sendo necessário avaliar principalmente as possíveis contaminações do solo e do lençol freático. Outros resíduos industriais, como por exemplo o lodo de curtume e as escórias de siderúrgicas, com potencial poluente considerável, necessitam ser avaliados não só por seu efeito na produtividade mas também em seus impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALONI, E.A., SILVA, A.P. Condução de touças de *Eucalyptus* : resultados preliminares. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, 1978, 6:1-34.
- 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**, 160, 1992, p. 7-12.
- BARROS, N.F.; GOMES, J.M.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; Interpretação de análises químicas de solo para o crescimento de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, 6, 1982, p.38-44.
- BARROS, N.F.; GOMES, J.M.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. : Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. **Informativo Agropecuário**, 12, 1986a, p 15-19.

- BARROS, N.F.; GOMES, J.M.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, 10, 1986b, p. 106-112.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de Eucalipto. *Relação Solo-Eucalipto*. Editora Folha de Viçosa, 1990, p.127-186.
- BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em função da idade**. Tese de MSc ESALQ/Univ. São Paulo, Piracicaba, 1979. 129 p.
- BELLOTE, A.F.J. **Nachrelementversorgung und Wuchsleistung von gedüngten *Eucalyptus grandis*-Plantagen in Cerrado von São Paulo (Brasilien)**. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen. Heft 26, 1990. 159 p.
- BELLOTE, A.F.J., FERREIRA, C.A. **Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado no Estado de São Paulo**. 1993, (no prelo)
- BIELESKI, R.L., LAUCHLI, A. Synthesis and Outlook. In *Inorganic Plant Nutrition. Enciclopedia of Plant Physiology, New Series*, vol 15B, Springer-Verlag, Berlin, 1983, p.745-755.
- BOUMA, D. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In Lauchli, A. and Bielecki, R.L. (eds) *Inorganic Plant Nutrition. Enciclopedia of Plant Physiology, New Series*, Vol 15A, Springer-Verlag, Berlin, 1983, p.120-146.
- BRASIL SOBRINHO, M. O.C., MELLO, F. A. F., RODRIGUES, N., MELLO, H.A. Competição entre diferentes tipos de localização de fertilizantes no plantio de *E. saligna* Smith. **2º Conferencia Mundial do Eucalipto. São Paulo**, 2, 1961, p.919-923.
- CHAPIN, F. S. III. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, II, 1980, p. 233-260.
- COSTA, L.M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. **Relação Solo - Eucalipto**. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990, p. 237-264.
- FERREIRA, C.A. **Problemas de manejo de Eucaliptos em segundo corte**, mimeografado, 1973. 15p.
- FERREIRA, C.A. **Nutritional aspects of the management of *Eucalyptus* plantations on poor sandy soils of the Brazilian cerrado region**. D.Phil. Thesis, Green College, Michaelmas Term, University of Oxford, 1989, 193p.
- FERREIRA, M. das G., KIMMINS, J.P., BARROS, N.F. de. Impact of intensive management on phosphorus cycling in *Eucalyptus grandis* plantations in the savannah region. Minas Gerais, Brazil **Proceedings IUFRO Symposium on Site and Productivity of Fast-growing Plantations**. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa. 2, 1984, p.847-856.
- GRUPO PERMANENTE DE TRABALHO EM NUTRIÇÃO E FERTILIZAÇÃO FLORESTAL. Pesquisa em nutrição e fertilização florestal: Diagnóstico e Prioridades. **EMBRAPA - URPFCS, Documentos 13**. Curitiba, 1983. 12 p.
- HAAG, H.P., MELLO, F.A.F., BRASIL SOBRINHO, M.O.C., ACORSI, W.R., ALAVOLTA, E. & ARZOLLA, S. Estudo sobre a alimentação mineral do *Eucalyptus*. **2ª Conferencia Mundial do Eucalipto**. São Paulo 2, 1961, p.926-932.
- HAAG, H.P., MELLO, H.A., MELLO, F.A.F., BRASIL SOBRINHO, M.O.C., VEIGA, A.A. Composição química do *E. alba* e *E. grandis*: resultados preliminares. *Fertilidade* 18, 1963, p.9-14.
- HERBERT, M.A. The response of *Eucalyptus grandis* to fertilising with Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Dolomitic Lime on a Mispah Soil Series. *South African Forestry Journal*. 124(3), 1983, p.4-12.
- HERBERT, M.A. & SCHÖNAU, A.P.G. Fertilizing commercial forest species in southern Africa. Research progress and problems. Paper presented in Symposium: **Mineralversorgung tropischer Waldbaume**. Bayreuth 1989.
- KAUL, O.N., SRIVASTAVA, P.B.L., TANDON, V.N. Nutrition studies on *Eucalyptus*. III. Diagnosis of mineral deficiencies in *E. grandis* seedlings. *Indian Forestry* 94(11), 1968, p.831-834.
- KNUDSON, D., CORREA, H., YAHNER, J.E. Adubação de *E. saligna* em solos de cerrado de Minas Gerais. In: **Reunião Brasileira de Cerrado (2º)**. Anais, 1967, p.101-125.
- LACEY, C.J.; LEAF, A.L., TALLIAR, R.: Growth and nutrients uptake by Flooded Gum seedling subjected to various phosphorus supplies. *Australian Forestry*, 30(3), 1966, p.212-222.
- MALAVOLTA, E., TRANI, P.E., ATHAYDE, M.F., BRAGA, N.R., NOGUEIRA S.S.S., MORAES, S.A. Nota sobre deficiência e toxidez de Boro em espécies cultivadas do gênero *Eucalyptus*. *Revista de Agricultura*, Piracicaba 53(4), 1978, p.243-247.
- McCOOL, J.G., HUMPHREYS, P. Relationships between some nutritional factors and the distributions of *E. gummifera* and *E. maculata*. *Ecology* 48(5), 1967, p.766-771.
- MELLO, H.A. **Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo, com *E. saligna***. Tese Prof. Catedrático, ESALQ/USP, 1968, Piracicaba.
- MORAIS, E.J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. Tese de Mestrado UFV, 1988, Viçosa.
- NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do Eucalipto. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. **Relação Solo - Eucalipto**. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990, p.25-98.
- NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Interpretação de análises químicas do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. Níveis críticos de implantação e de manutenção *Revista Árvore*, 10, 1986, p. 105-111.
- PEREIRA, A.R., BARROS, N.F., ANDRADE, D.C., CAMPOS, P.T.A. Concentração e distribuição de nutrientes em *E. grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. *Brasil Florestal*, 59, 1984a, p.27-37.
- PEREIRA, A.R., ANDRADE, D.C., LEAL, P.G.L. & SANTOS TEIXEIRA, N.C. dos Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. *Floresta* 15(1/2), 1984b, p.8-16.
- POGGIANI, F., COUTO, H.T.Z. do, CORRADINI, L., FAZZIO, E.C.M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. *IPEF* Piracicaba, 25, 1983, p.37-39.
- POGGIANI, F., ZEN, S., MENDES, J.M., SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. *IPEF* Piracicaba, 27, 1984, p.17-30.
- ROCHA, D., MAGALHÃES, J.G.R., FERNANDES, J.C., FONSECA, S.M. Contribuição do túfido, calcário calcítico e dolomítico para o crescimento do *Eucalyptus grandis*, na região de Itamarandiba - MG. Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro, Belo Horizonte - 1982. *Silvicultura*, 8 (28), p.476-478, 1983.
- ROCHA FILHO, J.V.C., HAAG, H.P., OLIVEIRA, G.D. Influência do Boro no crescimento e na composição química de *E. grandis*. *Anais E.S.A. "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 36, 1979, p.139-151.
- ROGERS, R.W., WESTMAN, W.E. Seasonal nutrient dynamics of litter in a Subtropical *Eucalyptus* forest, North Stradbroke Island. *Australian Journal of Botany*, 25(1), 1977, p.47-58.
- SCHÖNAU, A.P.G. Seasonal changes in foliar nutrient content of *E. grandis*. *South African Forestry Journal* 119(12), 1981a, p.1-4.
- SCHÖNAU, A.P.G. The effects of fertilising on the foliar nutrient concentrations in *E. grandis*. *Fertilizer Research* 2, 1981b, p.73-87.

- SCHÖNAU, A.P.G. & HERBERT, M.A. Relationship between growth rate and foliar concentrations of Nitrogen, Phosphorus and Potassium for Eucalyptus grandis. **South African Forestry Journal**, 120(3), 1982, p.19-23.
- SCHÖNAU, A.P.G.. Fertilization in South African forestry. **South African Journal of Forestry**. 125, 1983, p.1-19.
- SILVA, H.D.: **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do genero Eucalyptus, plantados em solo de baixa fertilidade**. Tese de MSc ESALQ/Univ. de São Paulo, Piracicaba. 1983
- SILVA, H.D., POGGIANI, F., COELHO, L.C. Eficiência da utilização de nutrientes em cinco espécies de Eucalyptus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba n. 6/7, 1983, p. 1-8.
- VALERI, S.V. **Efeitos do fosforo e do calcio no desenvolvimento de E. grandis**. Tese de Mestrado UNESP/Jaboticabal. 1983, 129p.
- VALERI, S.V., CORRADINI, L., AGUIAR, I.B., SOUZA, E.C.A. de, BANZATTO, D.A. (1985). Efeitos do fósforo e do calcário dolomítico no desenvolvimento inicial de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, plantado em um regossolo. **IPEF**, Piracicaba, 29, 1985, p.55-60.
- VETTORAZZO, S.C. **Efeito de fatores do solo e de genótipos no crescimento, nutrição e atividade da fosfatase ácida em clones de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden**. Tese de Mestrado, ESALQ-USP, Piracicaba, 1989, 115p.
- WOOLONS, R.C., SNOWDON, P. Utility of multivariate analyzes in examining foliage composition and soil nutrition in a factorial fertilizer experiment. **New Forests**, 5, (4), 1991, p.289-305.