

LAFAYETE GONÇALVES CAMPELO MARTINS

MÉTODO DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA EUCALIPTO
COM BASE NO MONITORAMENTO NUTRICIONAL

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
“Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M386m
2004

Martins, Lafayette Gonçalves Campelo, 1965-
Método de recomendação de adubação para eucalipto
com base no monitoramento nutricional / Lafayette Gon-
çalves Campelo Martins. – Viçosa : UFV, 2004.
ix, 72f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Nairam Félix de Barros.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 50-56.

1. Solos - Fertilização. 2. Eucalipto - Adubação. 3.
Eucalipto - Nutrição. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 20.ed. 631.42

LAFAYETE GONÇALVES CAMPELO MARTINS

MÉTODO DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA EUCALIPTO
COM BASE NO MONITORAMENTO NUTRICIONAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 22 de janeiro de 2004.

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Paulo César Rezende Fontes

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva

Dr. Fernando Palha Leite

Prof. Nairam Félix de Barros
(Orientador)

A Deus,
A meus filhos Ana Carolina e Luís Felipe,
À minha esposa Kátia Gardênia,
A meus pais Dejanira e Synéas

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao ex Gerente de pesquisa da JARI CELULOSE S.A. Eng. Roberto Miranda Pacheco, ao Eng. Osvaldo Navegante Cândia, responsável pelo setor de Melhoramento Genético e de Solos e Nutrição, ao ex-funcionário Eng. Francisco Sérgio Gomes, à secretária Beta e à Vânia Maria, aos Eng. Stanley Schettino, João Carlos Zenaide, Jerônimo Ferreira Christo, Adalton Pinheiro Cruz, Euclides Luiz, e a todos os funcionários da JARI que, mesmo não tendo participação direta nas atividades envolvidas neste trabalho, contribuíram de maneira indireta.

Em especial, agradeço à equipe orientada pelo Técnico Augusto Praxedes Neto, Srs. Adirson de Jesus Costa Castro, Clodeci Nascimento dos Reis, Edcarlos Brito, Idásio José Pereira Alves, João Pantoja Jesus Neto, José Elias Soares Martins, Walter Saito, equipe digna de elogios pelo esforço, pela dedicação e pela qualidade dos trabalhos realizados no campo.

Agradeço também aos Professores Nairam Félix de Barros, Roberto Ferreira de Novais e Júlio César Lima Neves pelas constantes orientações e sugestões.

BIOGRAFIA

LAFAYETE GONÇALVES CAMPELO MARTINS, filho de Synéas Martins Campelo e Dejanira Gonçalves Campelo, nasceu em Jequitibá, Minas Gerais, em 9 de abril de 1965.

Concluiu os estudos de primeiro grau na Escola Estadual Professor João Fernandino Júnior, em Sete Lagoas, Minas Gerais.

Em dezembro de 1984, founou-se em Técnico em Agropecuária pela Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal, em Florestal, Minas Gerais.

No período de 1985 a 1987, atuou como Técnico de Nível Médio em atividades dos setores Florestal, Agropecuário e de Extensão Rural.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa – MG em agosto de 1992; no mesmo ano e na mesma universidade, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, concluindo-o em 1995.

Entre 1995 e 1997 exerceu atividades de consultoria para empresas do setor florestal, sendo contratado pela Cia SUZANO de Papel e Celulose em 1997, onde trabalhou como Pesquisador.

Em 1998, iniciou o Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG.

CONTEÚDO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Estabelecimento de padrões nutricionais	10
3.2 Estimativa da demanda do sistema radicular	13
3.3 Capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo	14
3.4 Capacidade de recuperação do nutriente pela floresta e cálculo da dose recomendada.	16
3.5 Sustentabilidade	25
3.6 Idade de realização do monitoramento	25
3.7 Aplicação do programa de monitoramento	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Padrões nutricionais	29
4.2 Diagnose das florestas monitoradas	37
4.3 Recomendações de fertilizantes para correção dos desvios em relação ao padrão	41
4.4 Experiências de aplicação do modelo de monitoramento	46
5. RESUMO E CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

RESUMO

MARTINS, Lafayette Gonçalves Campelo, D.S. Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2004. **Método de Recomendação de Adubação para Eucalipto Com Base no Monitoramento Nutricional**. Orientador: Nairam Félix de Barros. Conselheiro: Júlio César Lima Neves e Roberto Ferreira de Novais.

A adubação mineral de plantações de eucalipto no Brasil consiste, em geral, da aplicação de fertilizantes na época do plantio e uma a duas vezes mais, nos dois primeiros anos, como adubação de manutenção. Os critérios para definir a época e a quantidade de fertilizantes desta última adubação não foram ainda bem estabelecidos, o que leva a grandes variações desta técnica entre as empresas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia, com base no monitoramento nutricional, para diagnosticar deficiências minerais e recomendar doses de fertilizantes para a fase de manutenção de plantações de eucalipto. O método se baseia no estabelecimento de padrões quantitativos de acúmulos de matéria seca e de nutrientes totais na parte aérea, com os quais se comparam as florestas monitoradas. Para o cálculo das doses recomendadas, levam-se em consideração os acúmulos atuais da floresta monitorada, os acúmulos padrões pré-estabelecidos, a capacidade de suprimento do solo e a capacidade da planta de recuperar os nutrientes aplicados via fertilizante. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos na região de Monte Dourado, Pará, em plantações pertencentes à Jari Celulose S. A. Para o estabelecimento dos padrões, povoamentos de híbridos urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E.*

urophylla) cultivados em três tipos de solos, um arenoso (argila < 20 %) e dois argilosos, sendo um mais rico (10 a 20 % de Fe₂O₃ - LU) e outro mais pobre (LA) em óxido de ferro, foram amostrados. Foram selecionados 15 povoamentos (talhões) no solo arenoso, 24 no LA e 13 no LU, com idades variando entre sete meses e quatro anos e com diferentes taxas de crescimento. Em pontos aleatórios desses povoamentos foram escolhidas três árvores dominantes, para determinação da biomassa e concentração de nutrientes dos vários componentes das árvores. Amostras de solo foram colhidas às profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para análises químicas e textural. Em cada condição (solo e idade), os povoamentos com as maiores produtividades foram considerados como padrões de acúmulos de biomassa e de nutrientes. Outros 31 povoamentos, estes com aproximadamente 18 meses de idade, foram monitorados para fins de teste de aplicação do modelo como estudo de caso. Verificou-se, para os povoamentos utilizados para a obtenção dos padrões, que o pico da taxa de acúmulo dos nutrientes ocorre quando as plantações têm idade de aproximadamente 12 meses. A adubação de manutenção, quando necessária, deveria ser aplicada um pouco antes dessa fase. Nos povoamentos monitorados, detectou-se a necessidade de aplicação de N, P, K, Ca e Mg, sendo que K foi o nutriente que, aparentemente, apresentou maior grau de limitação. Para esse nutriente, 93,5% dos povoamentos tiveram acúmulos inferiores ao padrão. O P foi o nutriente que apresentou menor grau de limitação, sendo 58,0% dos povoamentos com acúmulos de P inferiores ao padrão. O K foi o nutriente cujo acúmulo na parte aérea mais se correlacionou com o de matéria seca, e o acúmulo de P o que menos se correlacionou. Doses de nutrientes para corrigir as carências detectadas foram calculadas para os povoamentos monitorados, conforme o procedimento proposto, e variaram entre esses povoamentos de zero a 90, 50, 140, 345 e 85 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e de Mg, respectivamente. Quanto aos padrões ou referências nutricionais estabelecidas, exceto para o Ca, não houve diferenças entre as três unidades de manejo testadas.

ABSTRACT

MARTINS, Lafayette Gonçalves Campelo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, January 2004. **Fertilizer Recommendation Method for Eucalyptus based on Nutritional Monitoring**. Adviser: Nairam Félix de Barros. Committee Members: Júlio César Lima Neves and Roberto Ferreira de Novais.

Chemical fertilization of Eucalyptus plantation in Brazil consists, in general, in applying fertilizers during planting time and once or twice more during the first two years as maintenance fertilization. The criteria to define the time and amount of fertilizers for this last fertilization have not been well-established yet, leading to great variation of this technique among the companies. This work aimed to develop a nutritional monitoring - based methodology to diagnose mineral deficiency and recommend fertilizer doses to be applied during the maintenance phase of Eucalyptus plantations. The method is based on the establishment of quantitative standards of dry matter and total nutrient accumulation in the aerial part of the plants, compared to the monitored forests. In order to calculate the recommended doses, the present accumulation of the monitored forest is taken into account, as well as the previously - established standard accumulation, soil supply capacity and the plant `s capacity to recover the fertilizer- applied nutrients. The data used in this work were obtained in the region of Monte Dourado, Pará, from plantations owned by Jari Celulose S. A. In order to establish the standards, stands (populations) of urograndis hybrids (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) cultivated in three types of soils, a sandy

one (clay < 20 %) and two clayey ones, one richer (10 to 20 % of Fe_2O_3 - LU) and the other poorer (LA) in iron oxide, were sampled. Fifteen stands (plantations) were selected in the sandy soil, 24 in LA and 13 in LU, with ages ranging between seven months and four years and at different growth rates. Three dominant trees were chosen at random points of these stands for determination of biomass and nutrient concentration of the various components of the trees. Soil samples were taken at depths 0-20 and 20-40 cm, for chemical and textural analyses. For each condition, (soil and age), the stands presenting the highest productivities were considered as standards of biomass and nutrient accumulation. Thirty-one stands, approximately 18 month old, were monitored to test the application of the model as a case study. It was verified that, for the stands used to obtain the standards, the nutrient accumulation rate peak occurs when the plantations reach the age of 12 months. Maintenance fertilization, when necessary, should be applied shortly before this phase. The need for N, P, K, Ca and Mg application was detected in the monitored stands, with K being the nutrient apparently presenting the highest degree of limitation with 93.5% of the stands presenting K accumulation below the standard. P presented the lowest degree of limitation, with 58.0% of the stands presenting P accumulation below the standard. K was the nutrient whose accumulation in the shoot correlated the most with dry matter accumulation, while P accumulation correlated the least. Nutrient doses used to correct the deficiency detected were calculated for the stands monitored, according to the procedure proposed, ranging from zero to 90, 50, 140, 345 and 85 kg ha^{-1} of N, P, K, Ca and of Mg, respectively. With regard to the nutritional standards or references established, no differences were observed among the three management units tested, except for Ca.

1. INTRODUÇÃO

A utilização racional dos recursos do solo tem sido, recentemente, uma das preocupações maiores da agricultura e da atividade florestal. Isso decorre da maior conscientização da sociedade, o que reflete em exigências sobre os produtos por ela demandados. Neste sentido, os consumidores se dispõem a pagar mais se os produtos forem ecologicamente corretos. Na área florestal, a preservação de matas naturais e a adoção de técnicas de manejo sustentável e que interfiram o mínimo possível na qualidade de outros recursos naturais têm se constituído em requisitos indispensáveis na comercialização de produtos florestais. O emprego racional de fertilizantes e corretivos do solo, visando tanto ao aumento da captura de carbono como à sua manutenção no ecossistema florestal, alinha-se nessa preocupação. Além disso, o melhor aproveitamento desses insumos pelas árvores permite o máximo retorno ao capital investido.

Atualmente no Brasil, a adubação mineral de plantações de eucalipto consiste, em geral, da aplicação de fertilizantes na época do plantio e uma a duas vezes mais, nos dois primeiros anos, como adubação de manutenção. Os critérios para definir a época e a quantidade de fertilizantes desta última adubação não foram ainda bem estabelecidos, o que leva a grandes variações desta técnica entre as empresas.

Para diagnosticar as deficiências nutricionais em plantas, de modo geral, e para recomendar as fertilizações, várias alternativas podem ser adotadas. Alguns exemplos são a observação de sintomas visuais, a análise química de tecidos e a

análise química de solos. Outras técnicas menos comuns também são encontradas na literatura.

Os testes bioquímicos/enzimáticos (BAR-AKIVA & LAVON, 1969; MALAVOLTA et al., 1997; LAVON & GOLDSCHMIDT, 1999) constituem uma técnica que se baseia na medição da atividade de enzimas que requerem elementos essenciais para o seu funcionamento normal, ou no acúmulo ou desaparecimento de substratos metabólicos e produtos finais de reações que requerem nutrientes específicos (DELL, 1996). Hoje em dia, são muitos os testes bioquímicos disponíveis para quase todos os macro e micronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

O uso da radiação eletromagnética como maneira de estimar os teores de clorofila nas folhas também tem sido uma alternativa para avaliar níveis de nitrogênio em diversas culturas (THOMAS & OERTHER, 1972; BLACKMER et al., 1996; SARANGA et al., 1998; TAYLOR et al., 1998). A partir do uso de sensores a bordo de satélites é possível detectar distúrbios nutricionais em plantas. O sensoriamento remoto é uma tecnologia que tem se desenvolvido muito nos últimos anos. Sensores a bordo de plataformas orbitais são capazes de detectar as cenas terrestres com resoluções espaciais e espectrais cada vez melhores. A utilização desses recursos para fins de diagnósticos nutricionais em florestas ainda é restrita, por causa da escassez de pesquisas desenvolvidas nessa área. Aparelhos portáteis como o SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) (PIEKIELEK & FOX, 1992), chamados clorofilômetros, também medem a transmitância da radiação visível através do limbo das folhas, permitindo com isso estimar o teor de clorofila.

A observação de características fitotécnicas ou da planta (número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta, área foliar e outras características morfológicas), em determinada fase do crescimento da cultura, pode servir como indicativos de deficiência de nutriente no solo (FONTES, 2001). Essas características são influenciadas também por fatores não nutricionais, podendo, assim, afetar os diagnósticos. Acredita-se, portanto, que essa técnica deve ser

considerada apenas para avaliações em ambientes com poucas restrições ambientais (FONTES, 2001).

As técnicas de infiltração consistem em se fazer infiltrações com diferentes soluções nas folhas “in vivo” que apresentam os sintomas de carências nutricionais. Dependendo da solução que resultar no desaparecimento do sintoma, sabe-se qual é o nutriente causador da deficiência (MALAVOLTA et al., 1997). As infiltrações são feitas a partir de cortes no limbo das folhas e imergindo-se esses cortes nas soluções. O tempo necessário para que o tratamento produza efeito pode variar de horas a semanas (MALAVOLTA et al., 1997). Apesar da rapidez na obtenção dos diagnósticos que essa técnica permite, ela deve ser utilizada com restrições quando se deseja uma avaliação precoce do estado nutricional. É que, para submeter uma amostra às infiltrações, é necessário que a manifestação da deficiência já esteja visível. Sabe-se, porém, que uma técnica precoce de diagnose deve ser capaz de detectar a deficiência antes mesmo que os sintomas se tornem visíveis.

A bioavaliação é uma técnica que consiste em usar raízes destacadas ou plantas inteiras e colocá-las para absorver, num período determinado, elementos marcados ou não, tais como fósforo (^{32}P), nitrogênio (^{15}N) ou rubídio ^{86}Rb (como traçador do potássio). Após um período de absorção, faz-se análise para determinar quanto do elemento marcado foi absorvido (MALAVOLTA et al., 1997).

Na silvicultura, as análises químicas de tecidos ou do solo e a observação dos sintomas visuais de deficiências ou de toxidez têm sido os procedimentos mais comumente adotados para a recomendação de fertilizantes e para detectar desequilíbrios nutricionais. Para interpretar os resultados das análises químicas, algumas técnicas são adotadas, tais como: fertigramas (MALAVOLTA et al., 1997), nutrição global, índices balanceados de Kenworthy (KENWORTHY, 1961), nível crítico e faixa de suficiência, desvio percentual do ótimo (DOP) (MONTAÑÉS et al., 1991; 1993), sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1973), técnica da diagnose da composição nutricional (CND) (SILVA, 2001), e o método PASS (Plant Analysis with Standardized Scores) (BALDOCK & SCHULTE, 1996).

O nível crítico é um valor de concentração do nutriente no tecido da planta abaixo do qual o crescimento e, ou, a produção passam a ser comprometidos. Trata-se do mais antigo método que utiliza análises de tecidos como ferramenta de diagnóstico (HALLMARK et al., 1987) e é o mais comumente adotado no setor florestal. Dentre as desvantagens deste método têm-se: o teor crítico de um nutriente varia com a concentração de outros nutrientes; varia com a idade das plantas ou dos tecidos, com os materiais genéticos (BATES, 1971) (espécies ou clones, no caso de eucalipto) e com características do solo, como a argila para P (FABRES, 1986; MUNIZ et al., 1987), Zn (KALBASI et al., 1978) e S (FONTES et al., 1982); não é capaz de definir qual nutriente é o mais limitante quando dois ou mais nutrientes são simultaneamente deficientes (HALLMARK et al., 1987); não são definitivos, estando sujeitos a revisões periódicas em consequência da introdução de novos materiais genéticos, de novas técnicas silviculturais ou cultivo em novos ambientes. A utilização dessa técnica, portanto, exigiria, periodicamente, a instalação de experimentos de calibração, os quais, para o eucalipto, são sempre de longa duração (WADT et al., 1998).

O DRIS é uma técnica que tem sido muito utilizada, por levar em consideração o equilíbrio dos nutrientes na planta e não apenas os teores isolados de cada elemento. Para os autores que defendem essa técnica, o equilíbrio nutricional é, muitas vezes, o fator mais importante e crítico na determinação da produtividade vegetal. Resumidamente, ALVAREZ V. & LEITE (1992) definem o índice DRIS de um determinado elemento (IA) como sendo a média aritmética dos quocientes do teor deste nutriente (A) com os teores dos demais nutrientes (B, C, ..., N) determinados na análise foliar. Estes quocientes, ao mesmo tempo em que devem seguir distribuição normal, são transformados em variáveis normais reduzidas (z); portanto são quocientes “estudentizados”.

Há atualmente um grande número de alternativas metodológicas para o cálculo dos índices DRIS, por causa das várias modificações dessa técnica, que foram introduzidas ao longo do tempo. Como grande parte dessas modificações foi feita visando a melhorias para uma determinada cultura em particular, torna-se

necessário selecionar as que se adaptam melhor às particularidades dos plantios florestais. Essa é uma das desvantagem do uso dessa técnica. Uma outra restrição ao uso do sistema DRIS é quanto à especificidade das normas. No caso de plantios florestais, já foi constatada a influência de fatores como idade, região e material genético (WADT, 1996; SILVA, 2001) sobre variações das normas. Portanto, para que o potencial do DRIS seja aproveitado de maneira plena, é necessário que as normas utilizadas sejam as mais específicas possível.

Em se tratando exclusivamente das análises químicas de solo como estratégia para diagnosticar problemas nutricionais nas culturas e para embasar as recomendações de fertilizantes, uma série de limitações pode ser identificada. Essas limitações residem no fato de que entre a planta e o solo há a interferência de vários fatores na absorção dos nutrientes. A falta de umidade (BARBER, 1984; MARSCHNER, 1997), de aeração (PERATA & ALPI, 1993; ARMSTRONG et al., 1994), a compactação afetando crescimento de raízes e o fluxo difusivo de nutrientes (CAMARGO, 1983, NOVAIS & SMYTH, 1999) por exemplo, podem restringir a absorção dos nutrientes pelas plantas. Dessa maneira, é possível a existência de formas disponíveis de um determinado nutriente no solo, detectadas pelas análises químicas, e mesmo assim a planta apresentar sintomas de deficiências deste nutriente.

A análise química de tecidos é capaz de reproduzir com mais segurança a situação nutricional das plantas, comparativamente à análise de solo, já que integra o efeito da ação de todos os fatores que interferem na sua nutrição. Dentre os tecidos, segundo MARSCHNER (1997), as folhas constituem o principal compartimento metabólico das plantas, sendo seu estado fisiológico e nutricional um dos aspectos mais importantes a influenciar sua capacidade produtiva, fato que tem prestigiado o uso da análise dos nutrientes nas folhas para avaliação nutricional.

Percebe-se, enfim, que não existe uma técnica que possa ser utilizada isoladamente e que seja ideal para diagnosticar deficiências nutricionais nas plantas e para recomendar doses adequadas de fertilizantes. Talvez, a melhor aproximação

seja pela utilização tanto dos resultados de análises de tecido quanto dos de análises de solo, considerados alguns fatores do ambiente.

As técnicas disponíveis para diagnose nutricional e para recomendação de fertilizantes, apesar de normalmente expressarem seus resultados de maneira quantitativa, têm caráter apenas qualitativo, ou seja, informam sobre a ordem de limitação de cada nutriente ou o grau das carências nutricionais, mas não permitem o cálculo de valores quantitativos de doses dos nutrientes que devem ser aplicados para corrigir as deficiências. Portanto, é premente a necessidade de se desenvolverem técnicas quantitativas e que se baseiem em modelos que simulem ou que possam reconstituir os fenômenos envolvidos na aquisição dos nutrientes pelas plantas, levando-se em consideração os fatores que afetam a relação solo-planta-ambiente. Um sistema ideal para recomendação dos fertilizantes deve levar em consideração, de início, o que a planta demanda para atingir certa produção (NOVAIS & SMYTH, 1999). Essa demanda da planta deve ser estabelecida em função da idade, da capacidade produtiva do sítio e da eficiência nutricional do material genético (BARROS et al., 1995).

O modelo de monitoramento proposto baseou-se na comparação do conteúdo total de cada nutriente na parte aérea dos povoamentos a serem monitorados com valores de referência estabelecidos na própria região, para obtenção dos diagnósticos nutricionais. Para o cálculo das doses dos fertilizantes, foram considerados: o conteúdo total de cada nutriente na parte aérea, as estimativas dos conteúdos nas raízes, a disponibilidade dos nutrientes no solo e a capacidade da planta em absorvê-los. Grande parte da estrutura básica desta proposta de modelo foi guiada pela estrutura do NUTRICALC (BARROS et al., 1995) e pelas sugestões apresentadas por NOVAIS & SMYTH (1999), que vêm sendo adotadas para outras culturas (MELLO, 2000; FREIRE, 2000; PREZOTTI, 2001; POSSAMAI, 2003) para elaboração do sistema FERTICALC. Modificações em relação ao modelo original de NOVAIS & SMYTH (1999) foram feitas visando principalmente adaptá-lo para utilização em florestas de eucalipto.

2. OBJETIVOS

Objetivou-se com este trabalho desenvolver uma metodologia, com base no monitoramento nutricional, para diagnosticar deficiências minerais e recomendar fertilizantes para a fase de manutenção de plantações de eucalipto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em florestas da JARI CELULOSE S/A, em áreas situadas no baixo curso do rio Jari, na divisa dos estados do Pará e Amapá (Figura 1). O clima é do subtipo Amw, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26,4 °C e precipitação média anual de 2.115 mm, sendo que as maiores precipitações ocorrem durante o primeiro semestre do ano. Os solos utilizados nos plantios comerciais são, em sua grande maioria, provenientes de sedimentos terciários da formação Barreiras, como Latossolos e Argissolos amarelos com texturas variadas, havendo também solos mais férteis provenientes de corpos intrusivos de diabásio, em associação com a formação Curuá, e outros de menor importância para o plantio de florestas, provenientes de sedimentos quaternários (CORREA et al., 1989).

A grande maioria das florestas utilizadas foram plantadas no sistema de cultivo mínimo, espaçamento de 3 x 3 m ou de 3,5 x 2,5 m, sendo feita uma adubação de plantio com 450 kg/ha de fosfato natural reativo e uma adubação de cobertura, aos três meses de idade com 180 kg/ha de NPK 15-10-20.

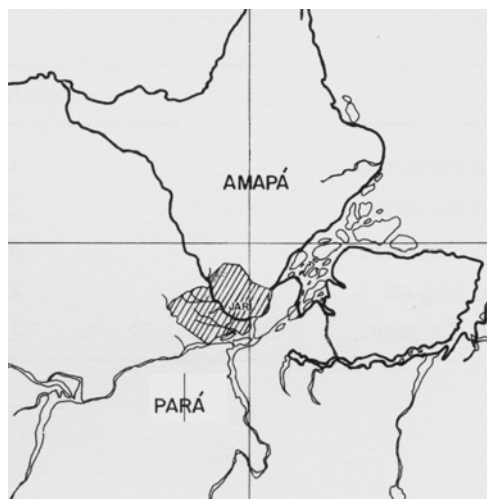


FIGURA 1 – Localização das áreas de estudo utilizadas neste trabalho (área hachurada).

Três unidades de manejo foram estabelecidas com vistas ao agrupamento de áreas semelhantes quanto às características de solo. A unidade de manejo 1 (UM1) compreendeu todas as classes de solo com teor de argila inferior a 20%; a unidade de manejo 2 (UM2), as classes de solo com teor de argila superior a 20%; e a unidade de manejo 3 (UM3) compreendeu o grupo de Latossolos argilosos (também com teor de argila superior a 20%) com teores entre 10 a 20% de Fe_2O_3 pelo ataque sulfúrico, e desenvolvidos de sedimentos da Formação Curuá com contribuição ou não de Diabásio Penatecaua (PESSOTTI, 1997).

O programa de monitoramento foi implantado em duas etapas, sendo que a primeira consistiu no estabelecimento de padrões nutricionais para os diferentes ambientes da empresa, e a segunda, num teste de aplicação do método em escala comercial.

3.1 Estabelecimento de padrões nutricionais

Os padrões de desenvolvimento e de estado nutricional foram estabelecidos a partir da quantificação de matéria seca e de nutrientes na parte aérea de árvores dominantes escolhidas em florestas consideradas de ótimo crescimento (modelos) e com diferentes idades. Para isso, curvas do tipo mostrado na Figura 2 foram ajustadas utilizando-se os dados dos acúmulos nas árvores e suas respectivas idades. Isso foi feito separadamente para cada unidade de manejo.

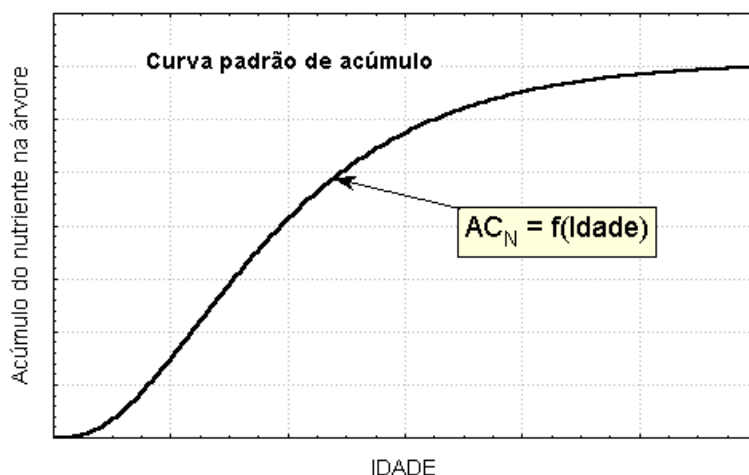


FIGURA 2 - Representação esquemática da curva padrão de acúmulo de nutriente (AC_N) em função da idade.

Inicialmente, florestas clonais de híbridos urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*), propagados por macroestaquia e sendo a maioria plantada no espaçamento de 3 x 3 m ou 3,5 x 2,5 m, foram classificadas de acordo com suas produtividades. Essa classificação serviu para selecionar as florestas mais produtivas em várias faixas de idade e nas diferentes unidades de manejo. A classificação foi feita com uso das informações de inventário e a partir de

observações de campo, sendo comparadas entre si florestas com idades semelhantes e que se encontravam numa mesma unidade de manejo. Somente áreas com plantios entre sete meses e quatro anos de idade, nas três unidades de manejo, foram incluídas nessa classificação.

Foram selecionados 15 povoamentos florestais (talhões com aproximadamente 30 ha cada) na UM1, 24 na UM2 e 13 na UM3. Em pontos aleatórios desses povoamentos, foram escolhidas árvores dominantes para a quantificação da biomassa e para coletas de amostras. Três árvores foram escolhidas para cada talhão. Evitaram-se árvores próximas de falhas, próximas a indivíduos dominados ou que tivessem características fenotípicas diferentes do restante do povoamento.

O uso das árvores dominantes e não das médias, neste caso, se deve ao fato delas refletirem melhor as potencialidades produtivas de cada ambiente do que as árvores médias.

As árvores escolhidas foram abatidas e mediram-se o DAP e a altura total. Os componentes folhas, galhos, casca e lenho foram separados e pesados. Amostras de cada um desses componentes foram coletadas para determinação de umidade e para determinações químicas.

As amostras do lenho para análises químicas foram constituídas de serragem obtida ao longo do tronco, utilizando-se uma motosserra sem óleo na corrente. As amostras para determinação de umidade do lenho foram constituídas de três discos, com aproximadamente 2 cm de espessura, retirados da base, do meio e da ponta do tronco comercial (diâmetro mínimo de 2 cm).

Para a amostragem da casca, foram obtidos pequenos fragmentos desse órgão ao longo do tronco. Os fragmentos foram misturados e, em seguida, as amostras foram colhidas.

A amostragem de galhos (sem folhas) foi feita a partir de três galhos; um da base, um da região mediana e outro da região apical da copa. Esses galhos foram picados com auxílio de um facão, os fragmentos homogeneizados e as amostras retiradas.

As folhas foram separadas dos galhos e misturadas e, em seguida, as amostras foram coletadas.

As amostras foram pesadas ainda no campo, imediatamente após o abate e separação dos componentes, e, em seguida, levadas ao laboratório onde foram secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C até peso constante, moídas em moinho do tipo Willey e analisadas. Determinaram-se os teores de N pelo método de Kjeldahl, após digestão sulfúrica, P pelo método colorimétrico da vitamina C (BRAGA e DEFELIPO, 1974), K por fotometria de emissão de chama, Ca e de Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

Amostras compostas de solo foram coletadas nas camadas de zero a 20 cm e de 20 a 40 cm, sendo 15 amostras simples por amostra composta e por talhão. Nessas amostras, determinaram-se os teores de argila, de P pelo método da resina, K por Mehlich 1, Ca e Mg por KCl 1mol L⁻¹ e carbono orgânico pelo método de Walkley & Black.

Os padrões ou referências nutricionais consistiram das curvas de acúmulos totais de cada macronutriente na parte aérea das árvores modelos em função da idade. Os padrões ou referências de crescimento consistiram das curvas de acúmulos de matéria seca total da parte aérea dessas árvores em função da idade. Utilizou-se o modelo de Chapman-Richards (equação 1) tanto para o ajuste das curvas de nutrientes quanto para as de matéria seca.

$$\hat{Y} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 X)]^{\beta_2} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que

\hat{Y} = variável dependente (conteúdo estimado de nutriente ou de matéria seca em kg ha⁻¹);

X = variável independente (idade em ano);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros do modelo.

Para o ajuste das curvas, primeiramente os dados foram agrupados em quatro classes de idade: de 0,5 a 1,5 ano; de 1,5 a 2,5 anos; de 2,5 a 3,5 anos e de 3,5 a 4,0 anos. Em seguida, para cada uma dessas classes e para cada unidade de manejo, calculou-se a média de idade e a média dos respectivos acúmulos observados. Esses valores médios foram utilizados nos ajustes das curvas.

Um teste de identidade de modelos proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002) foi aplicado, a fim de verificar a possibilidade de utilizar um modelo único ao invés de um modelo para cada unidade de manejo. Neste caso, trabalhou-se com todos os registros e não só com as médias.

3.2 Estimativa da demanda de nutrientes pelo sistema radicular

A demanda de nutrientes pelo sistema radicular, tanto para as florestas utilizadas para ajustar os padrões quanto para as florestas monitoradas, foi estimada utilizando-se equações (Quadro 1) ajustadas a partir de dados obtidos por REIS et al. (1987), LELES (1995), LADEIRA (1999) e por NEVES (2000). Essas equações relacionam os acúmulos de nutrientes nas raízes com a idade, com o espaçamento (área útil por planta) e com os respectivos acúmulos na parte aérea. As equações são válidas para valores de idade entre 1,25 e 9 anos e para espaçamentos entre 3x1 m (área útil por planta de 3 m²) e 9x9 m (área útil por planta de 81 m²).

QUADRO 1 – Equações para estimativas de conteúdos de nutrientes nas raízes de eucalipto em função da idade (ID), do espaçamento, expresso em área útil por planta (AU), e do acúmulo do nutriente observado na parte aérea (X_{PA})

NUTRIENTE	EQUAÇÃO AJUSTADA	R ²
N _R	$\hat{Y} = -26,3266 + 1,74398^{**}AU + 27,49225^{**}ID - 2,60056^{**}ID^2 + 0,13603^{*}N_{PA}$	0,51
P _R	$\hat{Y} = -0,67596 + 0,18088^{**}AU + 0,21711^{**}P_{PA}$	0,58
K _R	$\hat{Y} = -18,61183 + 0,949279^{**}AU + 9,60592^{**}ID - 1,04507^{**}ID^2 + 0,19293^{**}K_{PA}$	0,66
Ca _R	$\hat{Y} = -51,15613 + 1,11737^{**}AU + 27,60101^{**}ID - 3,38574^{**}ID^2 + 0,34761^{**}Ca_{PA} - 0,000189^{**}Ca_{PA}^2$	0,63
Mg _R	$\hat{Y} = -9,24139 + 0,12138^{**}AU + 5,88911^{**}ID - 0,60788^{**}ID^2 + 0,14819^{**}Mg_{PA}$	0,59
S _R	$\hat{Y} = -0,49097 + 0,189172^{*}S_{PA}$	0,51

N_R, P_R, K_R, Ca_R, Mg_R e S_R = conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e de S nas raízes (kg/ha); AU = área útil por planta (m²); ID = idade (anos); N_{PA} = conteúdo de N na parte aérea (kg/ha); P_{PA} = conteúdo de P na parte aérea (kg/ha); K_{PA} = conteúdo de K na parte aérea (kg/ha); Ca_{PA} = conteúdo de Ca na parte aérea (kg/ha); Mg_{PA} = conteúdo de Mg na parte aérea (kg/ha); S_{PA} = conteúdo de S na parte aérea (kg/ha). Equações ajustadas a partir de dados obtidos por REIS et al. (1987), LELES (1995), LADEIRA (1999) e por NEVES (2000).

O ideal é que equações como as utilizadas para estimativas de nutrientes no sistema radicular sejam ajustadas a partir de dados obtidos localmente, de maneira específica para o material genético e, ou, para o ambiente em que este monitoramento estiver sendo aplicado. Essas equações específicas podem ser conseguidas ao longo do tempo, à medida que o modelo for sendo utilizado e aperfeiçoado. Neste trabalho, a utilização de dados provenientes de outras regiões e para materiais genéticos diversos se deu pela inexistência desses dados específicos.

3.3 Capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo

A capacidade de suprimento dos nutrientes pelo solo, exceto para o nitrogênio, foi estimada calculando-se doses equivalentes a partir dos teores disponíveis detectados pelas análises químicas. A dose equivalente, neste caso, corresponde à dose de um nutriente aplicada via fertilizante que equivale ao teor indicado no resultado da análise química. Utilizou-se, para este cálculo, a taxa de recuperação (kg recuperado/kg aplicado) de cada extrator utilizado (Equação 2). As taxas de recuperação, para P e K, são dependentes do fator capacidade do solo que, neste caso, foi estimado pelo fósforo remanescente (P_{REM}) (Quadro 2). Como o

fósforo remanescente não foi determinado nas análises para este trabalho, houve necessidade de estimá-lo a partir de teores de argila, sendo utilizada para isso a equação obtida por PREZOTTI (2001) (Equação 3).

$$DE = \frac{RA}{TR_{EXT}} \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

em que

DE = Dose equivalente (kg ha⁻¹);

RA= Resultado da análise química do solo com unidade convertida a kg ha⁻¹;

TR_{EXT} = Taxa de recuperação do extrator (%).

QUADRO 2 – Equações para estimativas de taxas de recuperação de nutrientes (Nutriente recuperado/Nutriente aplicado) pelos extratores utilizados nas análises químicas do solo

NUTRIENTE	EXTRATOR	EQUAÇÃO	R ²	FONTE
P	Resina	$\hat{Y} = 0,419 P_{REM}^{0,1281}$	0,694	SANTOS (2002)
K	Mehlich-1	$\hat{Y} = 0,65 + 0,0063 P_{REM}$	0,735	POSSAMAI (2003)
Ca	KCl 1 mol L ⁻¹	$\hat{Y} = 0,778$	0,917 ¹	FREIRE (2001)
Mg	KCl 1 mol L ⁻¹	$\hat{Y} = 0,809$	0,906 ¹	FREIRE (2001)

P_{REM} = Fósforo remanescente (mg/L). \hat{Y} = estimativa da taxa de recuperação (kg recuperado/kg aplicado).¹ Quando \hat{Y} = constante, esses valores constantes são coeficientes angulares de equações ajustadas de doses aplicadas em função de nutrientes recuperados. Os valores de R², neste caso, são relativos a essas equações.

$$P_{REM} = 53,819 - 1,1145^{**} Arg + 0,0066^{**} Arg^2 \quad (R^2 = 0,74) \quad \text{(Equação 3)}$$

em que

P_{REM} = Fósforo remanescente (mg L⁻¹);

Arg = Teor de argila no solo (dag kg⁻¹).

O teor de N no solo foi estimado a partir do teor de carbono orgânico, considerando-se uma relação C/N igual a 30. Quanto ao cálculo da dose equivalente para N, considerou-se a taxa de recuperação do extrator igual a 100.

Como as análises químicas dos solos neste trabalho representaram as camadas de zero a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade, as doses equivalentes calculadas também são relativas a essas camadas e, portanto, correspondem à quantidade total de nutrientes teoricamente adicionados na camada de zero a 40 cm. Considerou-se, portanto, essa dose equivalente como sendo a capacidade de suprimento do solo.

3.4 Capacidade de recuperação do nutriente pela floresta e cálculo da dose recomendada

Após determinada a demanda da planta e a capacidade de suprimento do solo, falta saber qual é a proporção de nutriente adicionado ao solo via fertilizantes que a planta é capaz de recuperar. Normalmente, para se obter a estimativa dessa capacidade de recuperação, compara-se o acúmulo de nutrientes em uma parcela adubada com outra parcela não adubada de um experimento. A taxa de recuperação ou porcentagem do nutriente aplicado no solo que é absorvida pela planta é obtida pela equação a seguir:

$$TR(\%) = \frac{AC_{PA} - AC_{PNA}}{DOSE} \times 100 \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que

TR = Taxa de recuperação (%)

AC_{PA} = Acúmulo na parcela adubada

AC_{PNA} = Acúmulo na parcela não adubada

Dose = Dose do nutriente adicionada ao solo

A título de teste desse método de cálculo, foram determinadas as taxas de recuperação de florestas de eucalipto de diferentes espécies e em diferentes condições ambientais e de manejo, utilizando-se resultados experimentais disponíveis na literatura. Os resultados obtidos (Quadro 3) mostram que, ao adotar esse método, os coeficientes de variação são muito elevados. Obtiveram-se desde valores negativos de taxas de recuperação até valores acima de 100%, o que, teoricamente, não deve ser admitido.

QUADRO 3 – Taxas de recuperação (TR) de N, P, K e de Ca por florestas de eucalipto calculadas a partir de dados provenientes de literaturas diversas

NUTRIENTE	Nº DE EXPERIMENTOS UTILIZADOS	TR			CV (%)
		MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA	
N	27	17,26	-11,74	250,00	318,79
P	97	1,81	-3,45	8,21	105,55
K	39	27,55	-6,52	171,05	158,11
Ca	89	8,73	-35,43	70,88	168,51

Nesses resultados, fatores como período de tempo em que as plantas ficaram submetidas ao solo fertilizado, doses aplicadas, características do fertilizante (solubilidade ou tamanho dos grânulos) e características do solo tiveram efeitos significativos sobre as taxas de recuperação. É bastante provável que outros fatores também possam afetar essa característica, tais como: modo de aplicação do fertilizante (aplicação localizada ou não), restrições físicas ao crescimento de raízes, disponibilidade natural do nutriente na parcela não adubada, limitação por outros nutrientes, associações micorrízicas, competição por ervas invasoras, espaçamento

do plantio, material genético, fase do desenvolvimento da floresta, grau de deficiência da planta, etc.

Neste trabalho, outra alternativa para estimar a taxa de recuperação está sendo proposta. A capacidade extratora das plantas foi estimada a partir dos resultados das análises de solo e das comparações feitas entre os acúmulos das florestas monitoradas e os acúmulos padrões.

Partiu-se do pressuposto de que as curvas estabelecidas de padrões de acúmulos dos nutrientes em função da idade representam situações consideradas modelos ou ideais, isto é, descrevem os acúmulos que ocorreriam para florestas saudáveis crescendo em solos cujas condições edáficas seriam consideradas ótimas. Para efeito do cálculo da taxa de recuperação, portanto, é como se essas curvas padrões fossem correspondentes às de uma parcela adubada de um experimento hipotético. Se uma outra curva de acúmulo, utilizando o mesmo modelo adotado para ajustar os acúmulos padrões, for traçada passando sobre o ponto que registra o acúmulo da floresta monitorada (qualquer floresta crescendo em um solo fisicamente semelhante ao da floresta padrão, porém com menor disponibilidade nutricional), tem-se uma estimativa da sua curva de acúmulo (Figura 3). Essa curva para a floresta monitorada pode ser considerada, para efeito do cálculo da taxa de recuperação, como sendo correspondente à de uma parcela não adubada do mesmo experimento hipotético.

Vale lembrar que, para a estratégia de monitoramento nutricional que está sendo proposta, os padrões são estabelecidos para condições edáficas e climáticas semelhantes às das florestas a serem monitoradas. Portanto, ao se considerar a floresta padrão e a monitorada como sendo pertencentes a um mesmo experimento, essa semelhança das condições assegura o controle ambiental desse experimento hipotético.

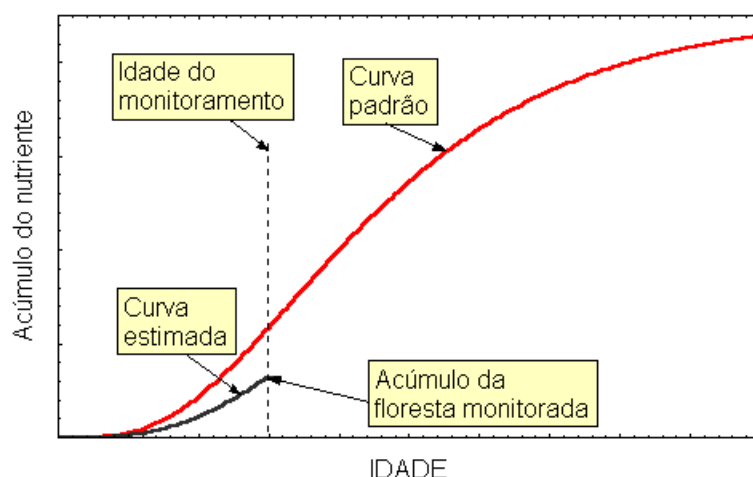


FIGURA 3 – Representação esquemática da curva padrão e de uma curva estimada de acúmulo da floresta monitorada.

Conhecidos o acúmulo de um determinado nutriente na parcela adubada e o acúmulo na parcela não adubada, resta saber a dose aplicada por ocasião da instalação desse experimento (plântio) para que se possa calcular a taxa de recuperação. Tem-se então duas incógnitas (a dose aplicada e a taxa de recuperação) e uma única equação (Equação 4) e, portanto, o problema não pode ser resolvido apenas sob essa perspectiva de análise. Mas essa mesma situação pode ser analisada sob um outro ponto de vista, ou seja, levando-se em consideração a "lei dos acréscimos decrescentes", ou lei de Mitscherlich.

De acordo com a primeira aproximação do modelo de Mitscherlich (Equação 5) (ALVAREZ V., 1985), a resposta da planta às doses de um fator é acentuada para as doses mais baixas do fator, decresce à medida que as doses aumentam e tende a zero para as doses muito elevadas. Quando o fator é considerado limitante, seus níveis encontram-se numa faixa em que a resposta em função das doses é acentuada.

$$\hat{Y} = \beta_0 (1 - 10^{(-\beta_2(X+\beta_1))}) \quad \text{(Equação 5)}$$

em que

\hat{Y} = variável dependente (conteúdo estimado de nutriente ou de matéria seca em kg ha^{-1});

X = variável independente (dose equivalente do nutriente no solo kg ha^{-1});

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros do modelo.

A resposta do vegetal na curva de Mitscherlich normalmente é representada na forma de crescimento em altura, volume, acúmulo de matéria seca ou qualquer outra variável que correlacione com o crescimento. O acúmulo de um determinado nutriente na parte aérea em função de uma medida de sua disponibilidade no solo também poderia ser representado em uma curva de Mitscherlich. Ao representar os acúmulos de um nutriente nas florestas monitorada e padrão nessa curva (Figura 4), é possível identificar os componentes da equação para o cálculo da taxa de recuperação. Na representação, AC_0 e AC_1 correspondem, respectivamente, aos acúmulos totais do nutriente na parte aérea da floresta monitorada e da floresta padrão; D_0 e D_1 são as medidas de disponibilidade do nutriente no solo ou as doses aplicadas na floresta monitorada e na floresta padrão. Se D_0 e D_1 são expressos em doses equivalentes, então a origem do sistema (valor zero de dose equivalente) corresponde ao teor abaixo do qual a planta teria absorção zero do nutriente e D_0 equivale ao parâmetro β_1 da primeira aproximação do modelo de Mitscherlich (Equação 5).

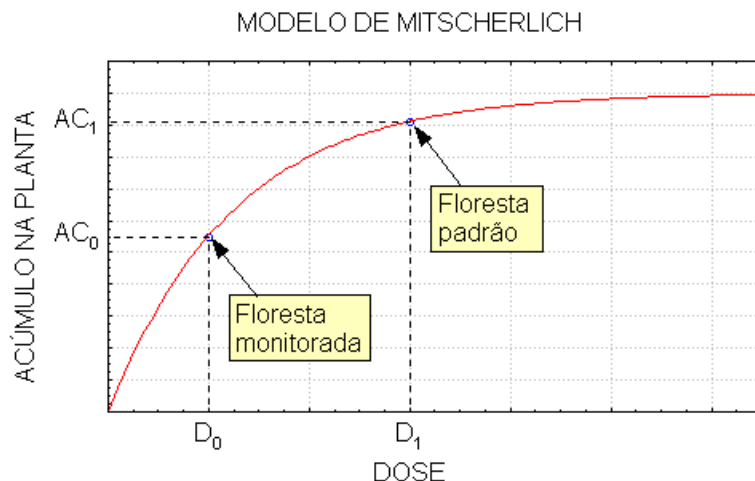


FIGURA 4 – Acúmulos de nutriente da floresta monitorada e da floresta padrão, na idade do monitoramento, representados em uma curva de Mitscherlich (primeira aproximação do modelo de Mitscherlich).

Para o cálculo da taxa de recuperação, D_0 é a disponibilidade natural do nutriente na parcela não adubada do experimento hipotético e D_1 é a disponibilidade do nutriente na parcela adubada. Neste caso, o cálculo da taxa de recuperação do nutriente pela parcela adubada (padrão) seria:

$$TR = \frac{AC_1 - AC_0}{D_1 - D_0} \times 100 \quad \text{(Equação 6)}$$

em que

TR = Taxa de recuperação da floresta (%);

AC_0 = Acúmulo observado na floresta monitorada (kg ha^{-1}) (equivalente à parcela não adubada);

AC_1 = Acúmulo na floresta padrão (kg ha^{-1}) (equivalente à parcela adubada);

D_0 = Disponibilidade natural do nutriente na floresta monitorada no início do período (plantio) em kg ha^{-1} (equivale à dose zero ou parcela testemunha e é igual ao valor estimado do parâmetro " β_1 " da equação de Mitscherlich);

D_1 = Dose do nutriente aplicada na floresta padrão no início do período (plantio) em kg ha^{-1} (equivale à dose aplicada na parcela adubada mais o valor estimado do parâmetro " β_1 " da equação de Mitscherlich).

Admitindo o acúmulo padrão (AC_1) como sendo igual a 90% do acúmulo máximo teoricamente possível, nota-se uma relação aproximadamente constante entre a taxa de recuperação (TR) e o quociente AC_0/D_0 . Independentemente dos parâmetros estimados para ajuste da curva de Mitscherlich, a relação $R = TR/(AC_0/D_0)$ é aproximadamente igual a 0,4 quando AC_0 é muito baixo (alta deficiência), e aproximadamente igual a 0,25 quando AC_0 é alto ou próximo a AC_1 (baixa deficiência), e tem variação quase retilínea (Equação 7) para deficiências intermediárias. Portanto, a taxa de recuperação para a floresta padrão pode ser estimada (Equação 8).

O valor percentual de 90 % do acúmulo máximo teórico, assumido como sendo o acúmulo padrão, é apenas uma pressuposição, portanto, deve ser substituído futuramente por números a serem obtidos a partir de observações de campo, em talhões comerciais ou em experimentos.

$$R = 0,41141 - 0,13043 (AC_0/AC_1) \quad \text{(Equação 7)}^1$$

em que

R = relação $TR/(AC_0/D_0)$;

$$TR = \frac{AC_0}{D_0} \times R \times 100 \quad \text{(Equação 8)}$$

¹ Equação teórica, obtida a partir de atribuições de valores arbitrários para os parâmetros do modelo de Mitscherlich e mantendo AC_1 igual a 90% do parâmetro α desse mesmo modelo

Unindo-se as equações 6 e 8 obtém-se a equação que permite o cálculo da dose recomendada (Equação 9).

$$\frac{AC_0}{D_0} \times R \times 100 = \frac{AC_1 - AC_0}{D_1 - D_0} \times 100$$

$$\Rightarrow D_1 - D_0 = \frac{AC_1 - AC_0}{\frac{AC_0}{D_0} \times R}$$

$$\Rightarrow D_1 - D_0 = \text{Dose recomendada} = \frac{(AC_1 - AC_0) \times D_0}{AC_0 \times R} \quad \text{(Equação 9)}$$

em que

AC_0 = Acúmulo observado na floresta monitorada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

AC_1 = Acúmulo na floresta padrão ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

D_0 = Disponibilidade natural do nutriente na floresta monitorada no início do período (plantio) em kg ha^{-1} ;

D_1 = Dose do nutriente aplicada na floresta padrão no início do período (plantio) em kg ha^{-1} ;

R = relação $TR/(AC_0/D_0)$, calculado conforme a equação 7.

Há ainda dois problemas com a equação para cálculo da dose recomendada (Equação 9). A situação a partir da qual foi formulada a hipótese para se chegar a essa equação foi estabelecida considerando o período de tempo que vai do plantio até a data da realização do monitoramento (aproximadamente 1,5 ano de idade). Portanto, D_0 na equação refere-se à dose aplicada (ou disponibilidade natural do nutriente no solo) no início desse período, ou seja, no plantio. AC_0 é o acúmulo observado no final do período (data do monitoramento). Por ocasião do monitoramento, não há elementos que possam servir como estimativa de D_0 na data do plantio. Este é um dos problemas. O segundo problema é que a dose calculada,

neste caso, é a que deveria ter sido aplicada no plantio para que, na data do monitoramento, não houvesse diferença entre a floresta monitorada e o padrão. Isso poderia até ser uma informação interessante do ponto de vista do manejo nutricional, porque serviria como um indicativo para orientar as adubações de base para o próximo ciclo da floresta. Mas a informação que interessa, para efeito do monitoramento nutricional, é a dose que deve ser adicionada para fazer com que a taxa de acúmulo do nutriente na floresta monitorada seja restabelecida ao nível considerado padrão.

A taxa de acúmulo na idade do monitoramento, tanto da floresta padrão como da monitorada, é a inclinação de uma tangente que toca as curvas de acúmulo na idade do monitoramento. Se as variáveis AC_0 e AC_1 na equação 9 forem substituídas por taxas de acúmulo (tangente da curva de acúmulo na idade do monitoramento), o período de duração do experimento passa a ser infinitesimalmente curto e, então, a data do início do experimento passa a ser a mesma data em que foi feita a coleta das amostras de solo analisadas para o monitoramento. Essas análises podem, então, ser utilizadas para estimar D_0 da equação; os acúmulos passam a ser uma medida por unidade de tempo e a diferença entre D_1 e D_0 da equação 2 passa a ser a dose recomendada para restabelecer a taxa de acúmulo desejada, e pode ser calculada pela equação:

$$\text{Dose recomendada} = \frac{(TAC_1 - TAC_0) \times D_0}{TAC_0 \times R} \quad \text{(Equação 10)}$$

em que

TAC_0 = Taxa de acúmulo observado na floresta monitorada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

TAC_1 = Taxa de acúmulo na floresta padrão ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

D_0 = Resultado da análise química de amostras de solo, coletadas por ocasião do monitoramento, transformadas em doses equivalentes (kg ha^{-1});

D_1 = Dose que proporciona taxas de acúmulo iguais ao padrão (kg ha^{-1});

R = relação TR/(AC₀/D₀), calculado conforme equação 7.

Este foi o procedimento adotado para a determinação das doses dos nutrientes neste trabalho (Equação 10).

3.5 Sustentabilidade

Para garantia de sustentabilidade do sistema produtivo, teores dos macronutrientes P, K, Ca e Mg foram estabelecidos para serem preservados no solo. Portanto, além da dose recomendada para corrigir os desequilíbrios nutricionais, e mesmo na ausência desses desequilíbrios, doses adicionais foram recomendadas quando os teores atuais observados no solo para a floresta monitorada estavam inferiores aos estabelecidos para serem preservados. Os teores estabelecidos foram: 4,4 mg dm³ de P, 75 mg dm³ de K, 0,7 cmol_c dm³ de Ca e 0,16 cmol_c dm³ de Mg, sendo para P e K, considerado o extrator Mehlich 1 e, para Ca e Mg, o extrator KCl 1 mol L⁻¹, conforme proposto por BARROS et al. (1990) como níveis críticos de manutenção para uma produtividade média de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

O cálculo da dose necessária para o restabelecimento dos teores a serem preservados foi feito subtraindo-se os teores atuais nos solos das florestas monitoradas dos teores a serem preservados, ambos transformados em doses equivalentes.

3.6 Idade de realização do monitoramento

A faixa de idade entre um e 1,5 ano foi a escolhida para a realização do monitoramento. Reconhece-se que essa faixa de idade já possa ser muito elevada para que possíveis doses recomendadas tenham sua eficácia máxima, especialmente para o caso do fósforo que é mais exigido pela floresta em idades mais jovens. Mas

o monitoramento nutricional não tem como objetivo apenas definir as fertilizações para corrigir eventuais imperfeições cometidas nas adubações de implantação e fazer recuperar as taxas de crescimento da floresta monitorada. Os diagnósticos e as recomendações geradas servem também para orientar mudanças nas estratégias de fertilizações de implantação para os próximos ciclos de florestas a serem implantadas em áreas semelhantes. Além disso, se por um lado possam haver críticas sobre o fato de que as idades previstas para a realização do monitoramento são demasiadamente elevadas, esse tempo de vida das plantas é necessário para que sejam “experimentados” por elas os efeitos das diferentes estações climáticas sobre a nutrição e para que esses efeitos sejam refletidos na forma de taxas de crescimento e de acúmulos de nutrientes. Enfim, essa idade é importante sob o ponto de vista de que as plantas e suas interações com o ambiente são os melhores indicadores sobre suas reais necessidades nutricionais e é o que deve ser observado no momento de definir ações corretas para satisfazê-las.

3.7 Aplicação do programa de monitoramento

Povoamentos florestais com idade de aproximadamente 18 meses foram monitorados para fins de teste de aplicação do modelo como estudo de caso. Para a amostragem e a quantificação de matéria seca e de nutrientes nessas florestas, adotou-se o mesmo método empregado para a obtenção dos padrões nutricionais. A diferença é que, neste caso, as árvores amostradas tinham dimensões médias dos respectivos povoamentos (o estabelecimento dos padrões foi feito utilizando-se árvores dominantes). Para a escolha dessas árvores, parcelas retangulares de 100 indivíduos foram delimitadas e as árvores foram medidas a fim de se obter o valor médio de DAP. As árvores amostradas foram escolhidas entre as que apresentavam DAPs iguais ou muito próximos desse valor médio. Da mesma maneira como foi feito para a obtenção dos padrões, evitaram-se as que apresentavam falhas ou

indivíduos dominados em suas proximidades ou que tinham características morfológicas muito diferentes do restante do povoamento e, também, a presença anormal de resíduos ou de restos de eventuais queimadas. Em cada talhão monitorado, três árvores foram amostradas. Foram avaliados 31 talhões, sendo sete na UM1, 13 na UM2 e 11 na UM3.

Amostras compostas de solo também foram coletadas nos talhões monitorados para determinações químicas, sendo 15 amostras simples por amostra composta e por talhão, nas camadas de zero a 20 e de 20 a 40 cm. Foram determinados os teores de P pelo método da resina, K por Mehlich 1, Ca e Mg por KCl 1mol L⁻¹ e carbono orgânico pelo método de Walkley & Black.

Os acúmulos de matéria seca e de nutrientes das florestas monitoradas foram comparados com os respectivos padrões, considerando as suas idades. Esses acúmulos relativos (porcentagem do acúmulo nas florestas monitoradas em relação ao padrão) indicaram os elementos carentes, assim como a magnitude das carências detectadas.

Em resumo, ao aplicar a técnica proposta neste trabalho para recomendar as doses de fertilizantes, os seguintes fatores são considerados: o resultado da diagnose nutricional (percentagem de acúmulo do nutriente na parte aérea na floresta monitorada em relação ao padrão), o resultado da análise química do solo, o fator capacidade do solo (estimado pelo P remanescente ou pelo teor de argila), extrator utilizado, a taxa de recuperação dos nutrientes pelas plantas, o material genético, o teor de nutriente a ser preservado no solo e a estimativa da capacidade produtiva do sítio (m-3 ha-1 ano-1).

O processamento dos dados e o cálculo das recomendações foram realizados utilizando-se o programa **MN-Eucalyptus**. Trata-se de um aplicativo de banco de dados desenvolvido em linguagem DELPHI e base de dados em ACCESS. O programa permite o cadastro e o armazenamento dos dados relativos ao solo e à nutrição de modo geral, tais como dados de levantamentos de classificação de solos, resultados de análises químicas de solos realizadas em diferentes épocas, adubações e outros tratamentos culturais efetuados na floresta, dados de medições e de

quantificações de biomassa das árvores, resultados de análises de tecidos, dados sobre os materiais genéticos, além de outros de importância relevante para a nutrição das florestas. Esse programa foi especialmente desenvolvido para integrar as informações, processar e gerar os diagnósticos e as recomendações conforme as técnicas propostas neste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Padrões nutricionais

Comparando-se as unidades de manejo quanto à média dos teores de nutrientes disponíveis e quanto à média dos teores de argila dos solos que as compõem (Quadro 4), nota-se que há diferenças expressivas entre elas. Apesar disso, para a matéria seca e todos os nutrientes avaliados, exceto Ca na UM2, não houve diferenças estatisticamente significativas dos padrões nutricionais entre as três unidades de manejo. Isso foi verificado a partir do teste de identidade de modelos proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002). Portanto, as equações específicas, ajustadas para cada unidade, puderam ser substituídas por uma equação geral única (Quadro 5 e Figura 5). Para o cálcio, apesar da diferença dos padrões entre as unidades de manejo, também foi adotado o modelo único para fins de diagnóstico e de cálculo das doses neste trabalho.

QUADRO 4 – Teores médios de argila, matéria orgânica e dos nutrientes P, K, Ca e Mg nos solos que compõem cada unidade de manejo

Unidade de manejo	Profundidade cm	Argila	M. O.	P	K	Ca	Mg
		----- % -----		mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	
UM 1	0-20	16,13	2,57	11,61	0,56	6,91	3,95
	20-40	22,52	1,58	5,13	0,42	3,79	2,03
UM 2	0-20	62,55	4,40	9,43	0,42	11,91	5,07
	20-40	67,89	2,12	6,57	0,24	5,70	2,73
UM 3	0-20	71,30	4,23	20,86	0,79	13,56	4,87
	20-40	75,36	4,34	12,66	0,28	5,68	2,19

De modo geral, as curvas de acúmulos padrões de N, P, K, Ca e Mg (Figura 5), especialmente dos três primeiros, apresentaram forte declividade entre 0,5 e dois anos de idade. Essa fase corresponde ao período em que ocorrem as maiores taxas de acúmulo e, portanto, deve ser crítica quanto ao suprimento dos nutrientes para as árvores. Para Ca e Mg, essa forte declividade se estende até próximo à idade de três anos. Estes dois nutrientes, especialmente o Ca, concentram-se em maior quantidade na casca e nos órgãos estruturais, comparativamente aos demais, e esses órgãos apresentam pico de crescimento mais tardiamente. Provavelmente, por isso, suas taxas de acúmulo permanecem altas por mais tempo. A curva de acúmulo de matéria seca (Figura 5F) tem inclinação mais suave do que as dos nutrientes, apresentando declividade mais forte entre um e três anos de idade.

Quadro 5 – Estimativas dos parâmetros do modelo de Chapman-Richards ($\hat{Y} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 X)]^{\beta_2}$), para quantidades de matéria seca e de N, P, K, Ca e Mg acumulados na parte aérea de árvores dominantes de híbridos urograndis, em função da idade, escolhidas em povoamentos de alta produtividade nas unidades de manejo UM1, UM2 e UM3 e para um modelo único (ajustado para todas as unidades de manejo) na região do vale do rio Jari – PA

Variável dependente	β_0	β_1	β_2	R ²	n° árvores
UM1					
MS (t ha ⁻¹)	181,7679	0,7000	4,4480	0,9978	72
N (kg ha ⁻¹)	263,5357	1,8000	6,7643	0,9996	72
P (kg ha ⁻¹)	29,4743	1,0047	3,2464	0,9918	72
K (kg ha ⁻¹)	182,7042	2,0000	9,6385	0,9904	72
Ca (kg ha ⁻¹)	323,3749	0,7000	2,6597	0,9968	72
Mg (kg ha ⁻¹)	80,7301	0,8350	3,4426	0,9998	72
UM2					
MS (t ha ⁻¹)	216,0982	0,6000	3,8097	0,9740	45
N (kg ha ⁻¹)	264,1272	2,0000	6,3025	0,8288	45
P (kg ha ⁻¹)	26,7919	1,0000	2,7322	0,9829	45
K (kg ha ⁻¹)	174,0122	2,5000	12,7497	0,8225	45
Ca (kg ha ⁻¹)	323,9204	1,3000	4,8171	0,9260	45
Mg (kg ha ⁻¹)	73,7829	1,3406	5,6661	0,9984	45
UM3					
MS (t ha ⁻¹)	200,7772	0,6000	3,4356	0,9567	36
N (kg ha ⁻¹)	252,9514	1,0640	2,6081	0,9924	36
P (kg ha ⁻¹)	26,9127	0,8000	1,7877	0,8508	36
K (kg ha ⁻¹)	202,8810	1,4900	5,6625	0,9421	36
Ca (kg ha ⁻¹)	342,3854	0,5000	1,6375	0,9930	36
Mg (kg ha ⁻¹)	57,0062	1,3013	4,9134	0,9912	36
Modelo único					
MS (t ha ⁻¹)	178,2732	0,7690	4,8169	0,9719	153
N (kg ha ⁻¹)	259,6575	1,5488	4,5482	0,8926	153
P (kg ha ⁻¹)	26,4780	1,1573	3,3633	0,9425	153
K (kg ha ⁻¹)	186,5457	1,7830	7,0204	0,9090	153
Ca (kg ha ⁻¹)	330,6964	0,7521	2,5102	0,8893	153
Mg (kg ha ⁻¹)	69,5717	1,1433	4,5630	0,9365	153

β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros do modelo de Chapman-Richards para estimativa dos conteúdos de nutrientes e de matéria seca.

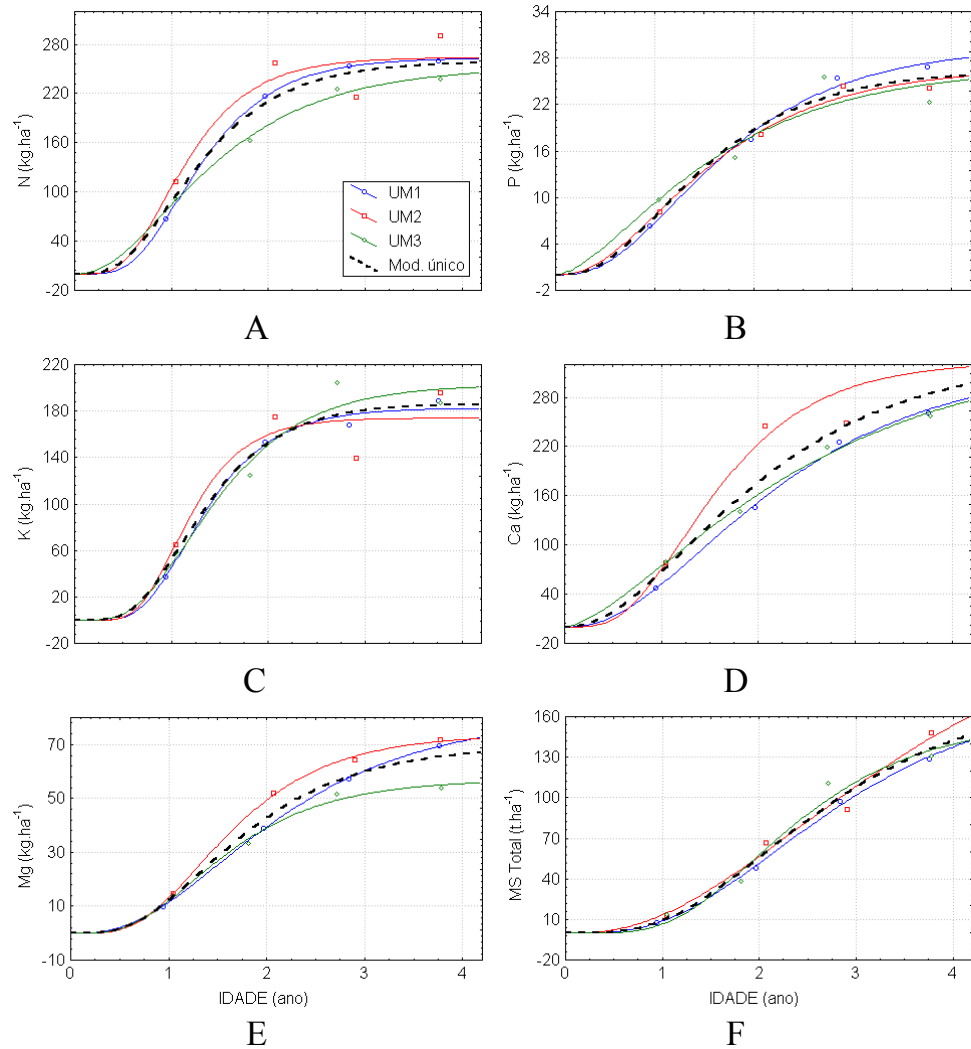


FIGURA 5 – Quantidades de matéria seca e de N, P, K, Ca e Mg acumuladas na parte aérea de árvores dominantes usadas como padrões, em função da idade, escolhidas em povoamentos de alta produtividade nas unidades de manejo UM1, UM2 e UM3 e para o modelo único (ajustado para todas as unidades de manejo).

Comportamento da dinâmica de acúmulo de nutrientes e de matéria seca em função da idade, semelhante ao deste trabalho, foi descrito por MILLER (1984), referindo-se à dinâmica de ciclagem de nitrogênio em *Pinnus nigra*. A diferença é que no caso do eucalipto no Brasil as idades são bem menores. Segundo MILLER (1984), a dinâmica de acúmulo de nutrientes é diferente da de acúmulo de matéria seca porque as concentrações de nutrientes variam muito entre os componentes das árvores. Além disso, as folhas e as raízes finas, que são mais ricas em nutrientes, atingem seu crescimento máximo em idades mais precoces do que outros órgãos estruturais como o lenho e raízes grossas.

O cálculo da derivada primeira das equações de acúmulos gera funções que descrevem as taxas de acúmulos (quantidade de nutrientes ou de matéria seca acumulados por unidade de tempo). Essas funções indicam as idades críticas, onde ocorrem as maiores taxas de acúmulos de cada nutriente, e, portanto, idades em que as carências nutricionais devem provocar danos mais expressivos ao crescimento. Tomando-se como referência as equações gerais (modelo único) para o cálculo dessas funções, observa-se que as taxas máximas dos acúmulos ocorreram ao 0,98, 1,05, 1,09, 1,22 e 1,33 ano de idade, respectivamente, para N, P, K, Ca e Mg (Figura 6). Para a matéria seca, a taxa máxima de acúmulo ocorreu somente por volta dos dois anos de idade (Figura 6). NEVES (2000), trabalhando com plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Estado do Espírito Santo, observou que o incremento corrente de biomassa atingiu um pico por volta dos três anos de idade e que a taxa de acúmulo máxima de nutrientes, assim como neste estudo, também antecedeu a de biomassa. Portanto, nas idades mais jovens, há maiores taxas de acúmulo de nutrientes que de biomassa, indicando que, com o avançar da idade, decresce o custo nutricional para a produção de biomassa pelas árvores (NEVES, 2000). Outra importância prática deste estudo está relacionada com o manejo das adubações de manutenção e com o controle da mato-competição. O conhecimento das idades críticas torna mais evidentes as fases do crescimento das florestas em que o fornecimento dos fertilizantes é mais importante e em que a mato-competição deve ser mais prejudicial.

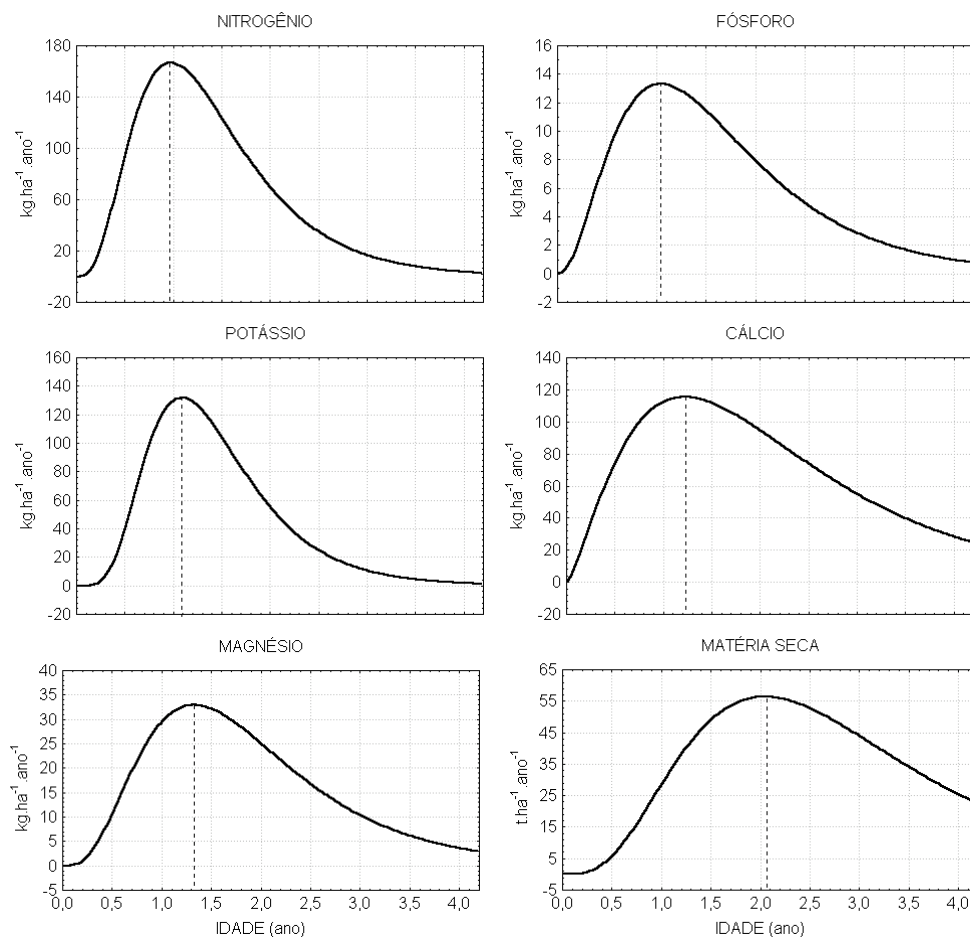


FIGURA 6 – Taxas de acúmulo de matéria seca e de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea de árvores dominantes usadas como padrões, em função da idade, escolhidas em povoamentos de alta produtividade na região do vale do rio Jari – PA.

A taxa de acúmulo de folhas foi máxima por volta dos 12 meses de idade, antecedendo a taxa máxima de acúmulo de matéria seca das árvores como um todo (aproximadamente dois anos). Esse é o modelo esperado e confirma a relação de causa e efeito entre a quantidade do órgão responsável pela fotossíntese e a produção de carboidratos. O crescimento é resultante da fotossíntese e, por isso, é esperado que a taxa de crescimento seja proporcional à biomassa de folhas. Segundo MILLER (1995), para uma determinada espécie, isso normalmente é verdade, mas os detalhes desse relacionamento diferem entre espécies.

A idade de máxima taxa de acúmulo dos nutrientes (aproximadamente um ano) coincide com a máxima taxa de acúmulo de folhas e com a etapa do crescimento em que as folhas são o principal dreno. Enquanto que, a essa idade, a matéria seca de folhas nas árvores representava em média 24,4% da matéria seca total da parte aérea das árvores, os nutrientes N, P, K, Ca e Mg acumulados nas folhas representavam em média 74,1; 54,7; 47,4; 31,2 e 52,0%, respectivamente, dos totais acumulados na parte aérea. Isso sugere que nas idades críticas em que as taxas de acúmulo de nutrientes são maiores, qualquer limitação nutricional traria prejuízos, principalmente na formação da copa e no incremento do índice de área foliar, havendo posterior comprometimento do acúmulo de matéria seca em consequência da menor fotossíntese.

Após ocorrerem os picos de absorção dos nutrientes, a etapa seguinte do crescimento é caracterizada por um decréscimo acentuado dessas taxas de absorção, o que ocorre entre as idades de 1,5 a 2,5 anos, com pequenas variações dependendo do nutriente. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores em outras regiões do Brasil (SILVA, 1999). Esse decréscimo nas taxas de absorção pode ser entendido de duas maneiras: primeiro, admitindo que seja provocado pelo esgotamento da capacidade de suporte do solo ou pela competição entre os indivíduos; segundo, que é resultado de uma modificação fisiológica das plantas em consequência da idade ou de uma modificação da arquitetura das árvores, especialmente pela diminuição da proporção de copa por causa da competição lumínica. Segundo MILLER (1995), deficiências nutricionais reduzem o peso da

copa pelo decréscimo da longevidade dos tecidos, o número e às vezes o tamanho das folhas.

Sendo as quedas observadas na taxa de absorção dos nutrientes (Figura 6) causadas pela baixa capacidade de suprimento pelo solo, a diminuição do acúmulo de biomassa, que ocorre imediatamente depois, também pode não ser apenas um fenômeno natural ou geneticamente definido, e sim uma consequência direta desse declínio nas taxas de absorção dos nutrientes. Neste caso, a manutenção do acúmulo de matéria seca em níveis elevados poderia ser obtida mais facilmente por uma estratégia de fertilizações minerais durante essa fase crítica do crescimento. Portanto, já que tudo isso que está sendo discutido é referente aos padrões que foram estabelecidos, é possível que esses padrões não estejam ainda refletindo a real capacidade produtiva dos ambientes e do material genético estudados. Conseqüentemente, é sensato considerar a possibilidade de que esses padrões atuais sejam ainda melhorados à medida que novas florestas, com redução mínima na taxa de crescimento, forem conseguidas.

A manutenção da produtividade em níveis elevados ao longo do crescimento das florestas certamente depende da boa nutrição mineral, mas apenas a nutrição adequada não é suficiente para evitar o declínio da produção primária líquida. Várias causas de ordem não nutricional são apontadas como responsáveis pelo declínio da produção florestal, tais como: redução da área foliar em decorrência da abrasão das copas nos povoamentos mais altos e com galhos mais longos (RYAN et al.; 1997); redução na condutividade hidráulica dos vasos por causa da maior altura das árvores e de seus galhos (GOWER et al., 1996; BARNARD, 2000; RYAN, 2000; SMITH & LONG, 2001); redução da condutância estomatal (SANDS & MULLIGAN, 1990); crescente alocação de carbono para a produção de raízes (SMITH & RESH, 1999) e o aumento da respiração da biomassa de madeira (GOWER et al., 1996). Esses fatores não nutricionais devem afetar negativamente a eficácia das eventuais adubações sugeridas pelo monitoramento nutricional. Portanto, antes que as adubações sejam efetivamente aplicadas, é necessário

considerar o quanto da limitação do crescimento tem causas diretamente nutricionais e o quanto são devidas a fatores não nutricionais.

4.2 Diagnose das florestas monitoradas

Comparando-se os acúmulos observados nas florestas monitoradas com os respectivos padrões (Figura 7), observou-se que, de modo geral e dentre os nutrientes avaliados, a carência nutricional mais freqüente foi de potássio e a menos freqüente foi de fósforo. Para o K, 93,5% dos povoamentos registraram acúmulos inferiores ao padrão. Na seqüência vem o magnésio (71,0%), o nitrogênio (64,5%), o cálcio (61,3%) e o fósforo (58,0%). Quanto ao acúmulo de matéria seca na parte aérea, 96,8% dos povoamentos ficaram abaixo do padrão (Figura 7). Como os padrões foram estabelecidos utilizando-se árvores dominantes e as avaliações nas florestas monitoradas utilizando-se árvores médias, freqüências tão elevadas de ocorrências inferiores aos padrões já eram esperadas. A adubação fosfatada realizada no plantio deve ter contribuído para que houvesse menor freqüência de carências de fósforo. Partindo-se desses resultados, seria recomendável mudar a estratégia das adubações de base da empresa (adubações de plantio e de cobertura), especialmente para o potássio, já que foi o nutriente de maior carência aos 18 meses.

A partir de uma análise de correlação de Pearson, verificou-se também que o K foi o nutriente cujo acúmulo na parte aérea mais se correlacionou com o de matéria seca ($r = 0,80$ $p < 0,01$) e o P foi o que teve menor correlação ($r = 0,58$ $p < 0,05$). Isso sugere uma relação de dependência mais estreita entre a produtividade (acúmulo de matéria seca) e o acúmulo do nutriente que foi considerado mais carente; e uma relação de pouca dependência entre a produtividade e o acúmulo do nutriente considerado menos carente, e leva a confirmar que os resultados dos diagnósticos obtidos são compatíveis com a realidade observada.

A observação dos resultados da diagnose é importante na tomada de decisões no momento de recomendar as doses a serem aplicadas. O modelo recomenda doses de fertilizantes para todos os nutrientes, inclusive para os que não são os mais limitantes. As doses só são nulas quando os acúmulos observados na floresta monitorada são superiores aos padrões estabelecidos. Sabe-se, porém, conforme a lei do mínimo, que não há respostas à aplicação de um determinado nutriente, ou elas são pouco expressivas, se o mais limitante é outro. Por isso, antes de se decidir sobre a aplicação ou não da dose recomendada, é necessário analisar os resultados da diagnose. Sugere-se que as fertilizações sejam realizadas apenas para os dois ou três elementos apontados como os mais limitantes, pressupondo-se que a absorção dos outros nutrientes, de menor grau de carência, possa estar sendo afetada não pela falta dos mesmos no solo, mas pelo desequilíbrio na planta causado pelos mais carentes.

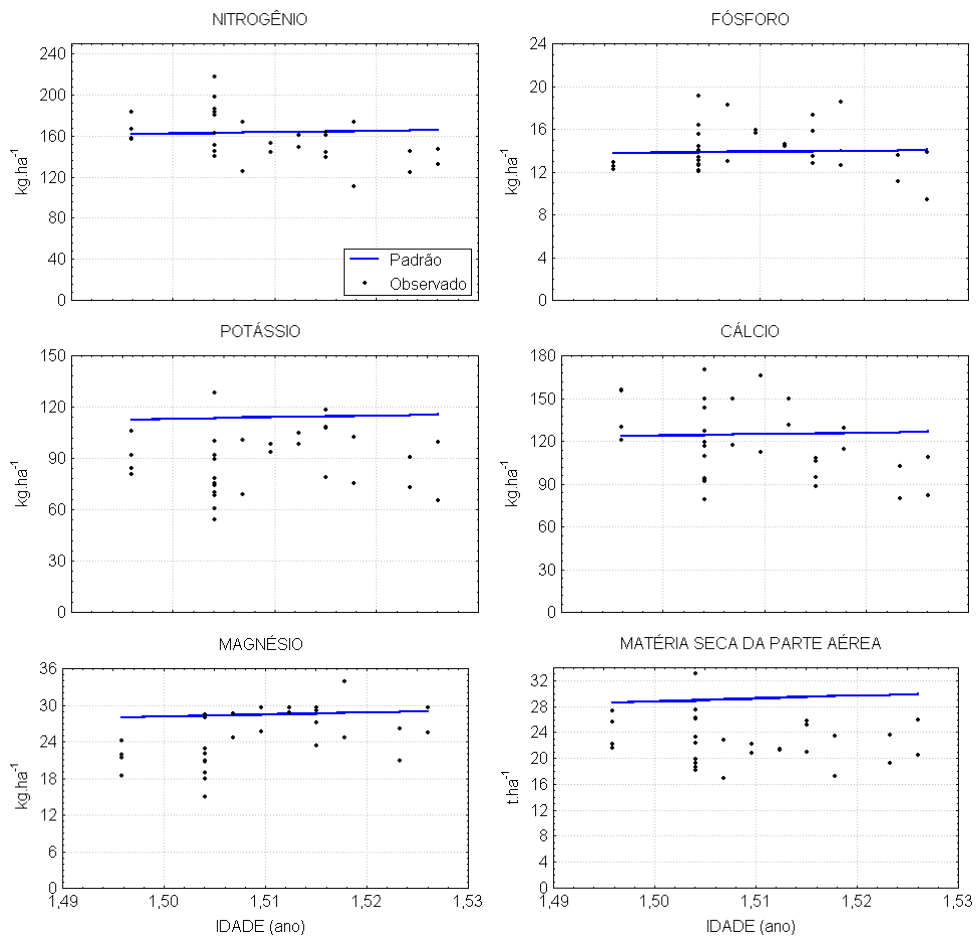


FIGURA 7 – Comparação entre os acúmulos de nutrientes e de matéria seca na parte aérea dos povoamentos monitorados de híbridos urograndis em relação aos seus respectivos padrões estabelecidos para a região do vale do rio Jari – PA.

Comparando-se os conteúdos relativos (porcentagem de acúmulos nas florestas monitoradas em relação aos acúmulos padrões) entre os nutrientes para cada unidade de manejo, observou-se que em todas as unidades de manejo houve diferenças significativas (Figura 8). O potássio apresentou-se como o mais limitante nas três unidades. Na unidade de manejo UM2, o nitrogênio foi, em média, o nutriente com menor grau de deficiência; nas unidades UM1 e UM3, o fósforo foi o menos deficiente. Esses resultados são compatíveis com o que a experiência prática tem mostrado¹. Para a idade em que foi realizado o monitoramento, a aplicação de potássio tem proporcionado respostas mais expressivas de crescimento.

Outra comparação, utilizando os resultados da diagnose nutricional, foi feita para cada nutriente e para os acúmulos de matéria seca entre as unidades de manejo. Observou-se, neste caso, que apenas nitrogênio e cálcio tiveram variações significativas dos seus conteúdos relativos (conteúdos em relação ao padrão) entre as unidades de manejo. Em ambos os casos, os povoamentos da unidade UM2 acumularam mais e os da unidade UM1 acumularam menos esses nutrientes. Para os outros nutrientes (P, K e Mg) houve maior acúmulo na unidade UM3 e menor acúmulo na unidade UM1.

¹ Comunicação pessoal de supervisores e técnicos da Empresa.

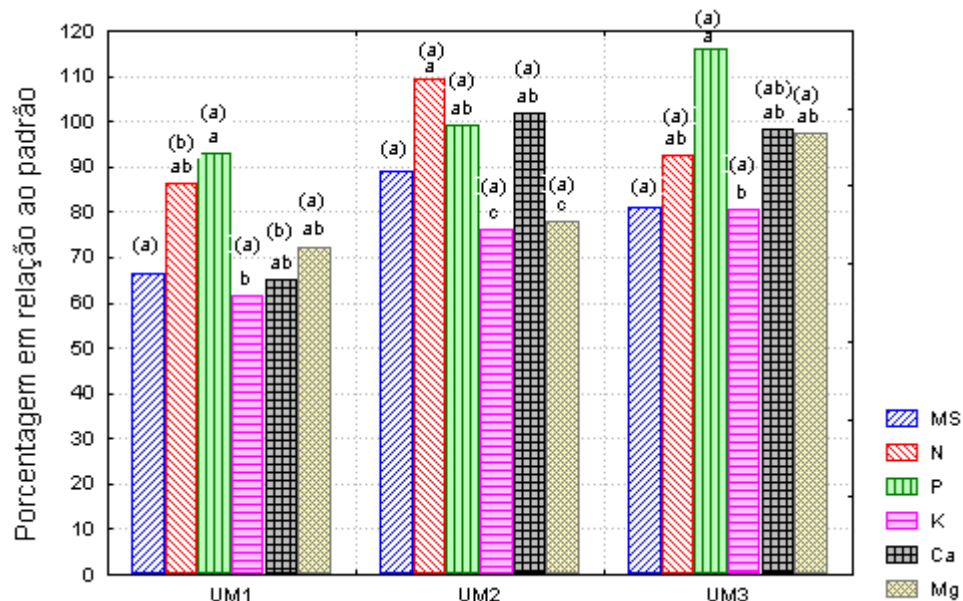


FIGURA 8 – Porcentagem do acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na parte aérea em relação aos acúmulos padrões, para povoamentos provenientes das unidades de manejo UM1, UM2 e UM3, monitorados aos 18 meses de idade (letras sem parênteses referem-se às comparações entre os nutrientes dentro de cada unidade de manejo; letras entre parênteses referem-se às comparações entre as unidades de manejo – colunas com uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%).

4.3 Recomendações de fertilizantes para correção dos desvios em relação ao padrão

As doses dos nutrientes necessárias para corrigir as carências nutricionais, de acordo com o modelo, são definidas pelas diferenças entre os acúmulos observados e seus respectivos padrões (Figura 9). A função que descreve esse relacionamento é curvilínea, havendo menor variação das doses à medida que os acúmulos relativos são menores. Esse comportamento é consequência do efeito das taxas de recuperação estimadas, e provém do comportamento do modelo de Mitcherlich. Este pressupõe que as plantas com maior grau de carência apresentam maiores taxas de acúmulos de nutrientes em função das doses adicionadas, daí esse comportamento curvilíneo. Para acúmulos relativos superiores a 100%, a dose necessária para corrigir as carências é zero.

As doses necessárias para corrigir as carências, para os povoamentos monitorados, variaram de zero a 90, 50, 140, 345 e 85 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e de Mg, respectivamente (Figura9). Essas doses são compatíveis com o que é esperado na prática e demonstram que as variações das necessidades nutricionais são muito variadas para uma mesma região. Portanto, quando se aplica uma dose única de fertilizante em todas as áreas de uma empresa, sem um critério de diagnose nutricional, prática que é bastante comum atualmente, é provável que grande número de florestas estejam sendo fertilizadas desnecessariamente em excesso, enquanto que outras estejam recebendo fertilizações em doses insuficientes. Isso pode agravar ainda mais os desequilíbrios existentes e não promover o resultado esperado.

Quanto às doses que efetivamente são recomendadas para aplicação via fertilizantes, segundo o modelo, dependem não só do grau de carência das plantas mas, também, da capacidade de suprimento do solo. Se os teores do nutriente no solo encontram-se abaixo do estabelecido para ser preservado, uma dose adicional para repor essa diferença é recomendada, além da necessária para correção da carência da planta. Neste caso, se a carência nutricional é nula, as doses a serem aplicadas variam apenas em função dos teores no solo. Neste caso, essas doses seriam aplicadas apenas para reposição do nutriente no solo e seriam de caráter preventivo, para evitar que carências futuras venham a ocorrer. Se os teores no solo encontram-se acima do valor a ser preservado, o modelo considera positiva a capacidade de suprimento do solo e subtrai da dose necessária o que o solo pode fornecer. Os resultados obtidos para os povoamentos monitorados ilustram bem as variações possíveis de doses recomendadas em função do grau de carência nutricional das plantas (Figura 10).

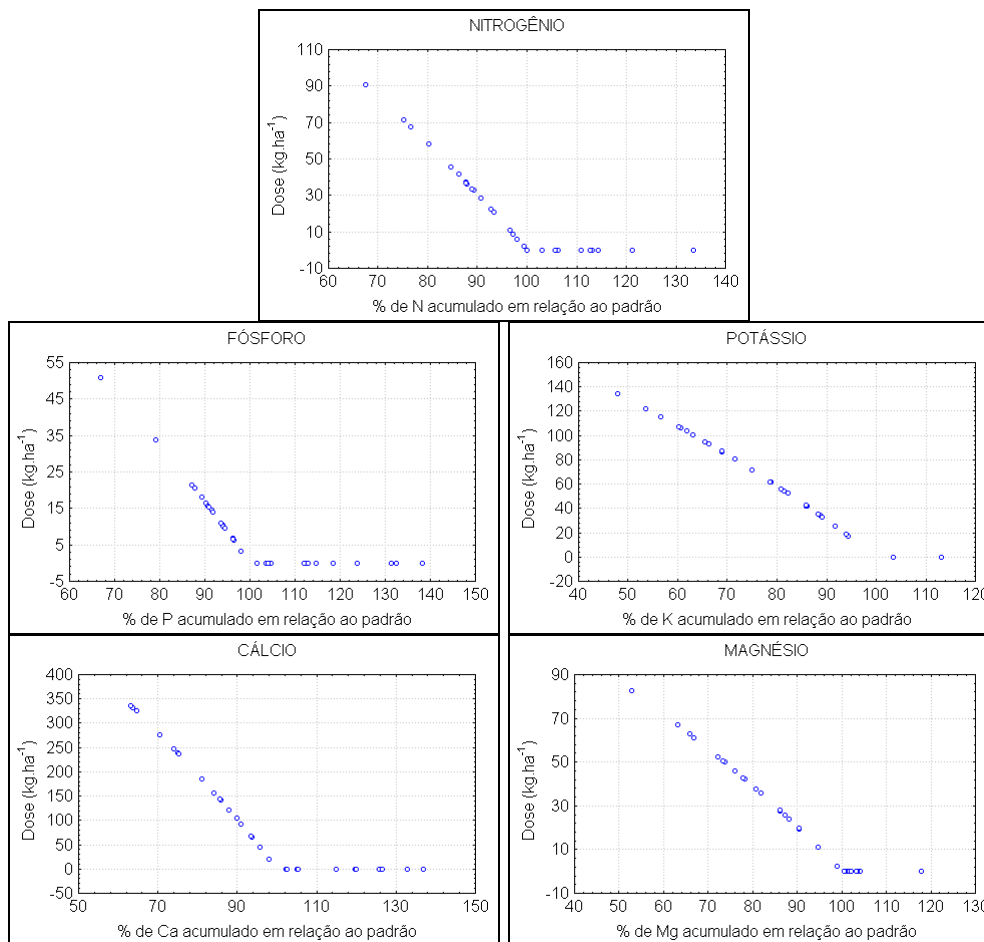


FIGURA 9 – Doses necessárias de N, P, K, Ca e de Mg, em função dos acúmulos relativos (% dos nutrientes acumulados na parte aérea em relação aos respectivos padrões), para suprir as demandas dos povoados monitorados.

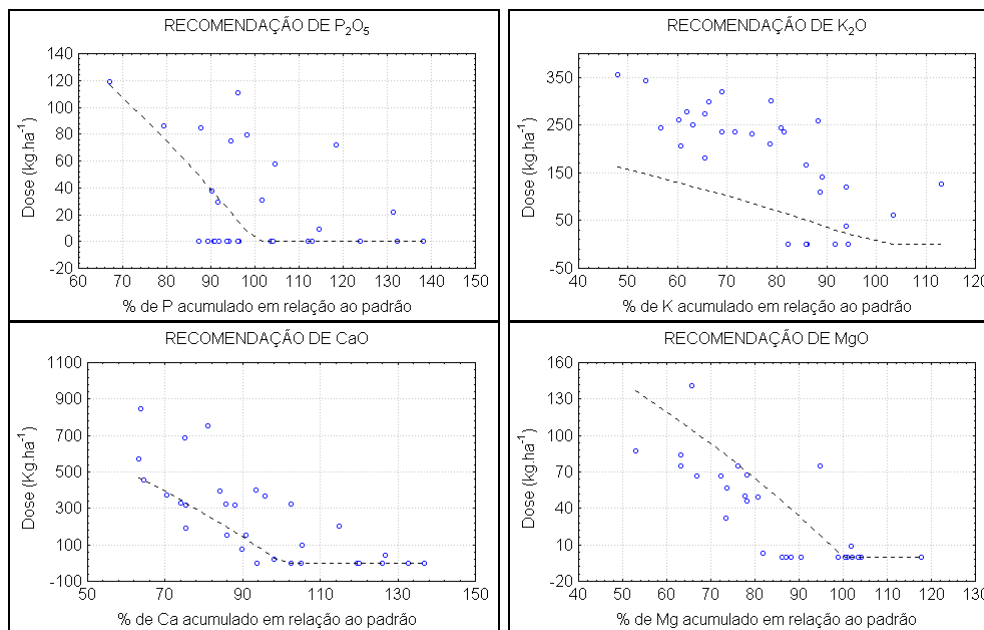


FIGURA 10 – Recomendação de P₂O₅, K₂O, CaO e de MgO em função dos acúmulos relativos (porcentagem de acúmulos nas florestas monitoradas em relação aos acúmulos padrões) respectivamente de P, K, Ca e de Mg, considerando a capacidade de suprimento do solo, para os povoamentos monitorados. A linha pontilhada descreve as mesmas recomendações desconsiderando-se a capacidade de suprimento do solo.

Observa-se, a partir desses resultados (Figura 10), que há povoamentos para os quais as doses recomendadas foram nulas, mesmo tendo sido os acúmulos relativos inferiores a 100%, ou foram menores que as que teriam sido recomendadas desconsiderando-se a capacidade de suprimento do solo. Para esses povoamentos, as reservas do solo foram consideradas suficientes para suprir parcial ou totalmente a demanda das plantas. O fato de algumas florestas terem acumulado menos que o padrão, mesmo tendo disponibilidade considerada suficiente do nutriente no solo, pode ser explicado pela provável existência de fatores não nutricionais afetando a absorção desses nutrientes.

Há também povoamentos para os quais as doses recomendadas foram maiores que zero, mesmo tendo sido os acúmulos relativos superiores a 100%, ou maiores que as que teriam sido recomendadas desconsiderando-se a capacidade de suprimento do solo. Nestes casos, as reservas do solo foram consideradas insuficientes para manter as taxas de acúmulos até o final do ciclo, apesar desses acúmulos atuais (na data do monitoramento) estarem acima do padrão, ou ficaram inferiores aos respectivos teores estabelecidos para serem preservados. É importante lembrar que as amostras de solo, das quais os resultados utilizados para estimar a capacidade de suprimento do solo foram provenientes, foram coletadas em pontos aleatórios nas entrelinhas de plantio e, portanto, de maneira inadequada para representar o P aplicado de forma localizada na linha de plantio e em covas, durante a fase de implantação. Por esse motivo, a capacidade de suprimento do solo para P deve estar subestimada.

Diante das diversas situações que podem ocorrer, e que fogem ao controle dessa técnica de monitoramento, recomenda-se que, antes de aplicar as recomendações geradas por este modelo, sejam consideradas as fertilizações efetuadas antes do monitoramento, o método de aplicação das mesmas, o método de amostragem de solo e a existência de fatores não nutricionais que possam estar limitando a absorção dos nutrientes. Caso as fertilizações anteriores ao monitoramento tenham sido aplicadas de forma localizada, como por exemplo a fertilização fosfatada aplicada por ocasião do plantio, é importante que as

amostragens de solo sejam efetuadas de maneira que os efeitos dessas fertilizações sejam refletidos nos resultados das análises de solo. Sugere-se, neste caso, uma amostragem sistemática e que represente as linhas onde o fertilizante foi aplicado. Quanto aos fatores não nutricionais, o mais importante é a falta de umidade necessária ao transporte dos nutrientes no solo. Minimiza-se esse problema concentrando-se as amostragens para o monitoramento em épocas do ano em que não haja déficit hídrico.

4.4 Experiências de aplicação do modelo de monitoramento

Uma técnica de monitoramento semelhante à proposta neste trabalho foi adotada em áreas da Votorantim Celulose e Papel, no interior do Estado de São Paulo (SCATOLINI et al., 1996). Para 16 povoamentos de clones diversos de urograndis, amostragens de campo foram feitas quando esses povoamentos tinham entre 1,5 e 1,9 anos de idade. Para o nitrogênio, fósforo e para o magnésio, os acúmulos observados foram, na grande maioria dos casos, acima dos respectivos padrões (estabelecidos para essas regiões). O potássio foi o único nutriente cujos acúmulos na parte aérea foram todos inferiores ao padrão, ficando em média 54% abaixo e variando entre 38 a 88% em relação ao padrão. As doses recomendadas foram aplicadas aos dois anos de idade e, novamente, entre 2,5 e 4 anos de idade, novas avaliações foram feitas para quantificar os acúmulos após a adubação corretiva. Nessa segunda avaliação, 30% dos povoamentos já haviam ultrapassado o padrão. A partir da projeção da nova tendência dos acúmulos (após a adubação) para idades posteriores, estimou-se que, em média, aos 4,3 anos de idade os acúmulos de K já teriam atingido o padrão. Com relação aos acúmulos de matéria seca, a projeção da nova tendência indicou que, em média, as florestas monitoradas atingiriam os padrões à idade de quatro anos.

Esses resultados levam a concluir que, pelo menos em relação ao potássio, mesmo sendo tardia a adubação corretiva dos desequilíbrios nutricionais (aplicada

em média aos dois anos de idade), há um restabelecimento das taxas de acúmulo do nutriente carente e uma conseqüente resposta da floresta restabelecendo sua taxa de crescimento aos níveis considerados normais.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se com este trabalho desenvolver uma metodologia, com base no monitoramento nutricional, para diagnosticar deficiências minerais e recomendar doses de fertilizantes para a fase de manutenção de plantações de eucalipto, e aplicar o modelo em uma situação real como estudo de caso.

A demanda nutricional da parte aérea foi estabelecida de forma específica para povoamentos de híbridos urograndis na região do vale do Rio Jari - PA. Para isso, florestas consideradas de ótimo crescimento em diferentes idades e em diferentes condições de solo foram amostradas e os acúmulos de nutrientes e de matéria seca da parte aérea foram quantificados. A demanda do sistema radicular foi estimada utilizando-se equações ajustadas a partir de dados obtidos em diversas regiões do Brasil. Estimou-se a capacidade de suprimento do solo transformando-se os resultados de análises químicas em doses equivalentes de nutrientes aplicados via fertilizantes. A capacidade da planta em absorver os nutrientes foi estimada com base nas taxas de acúmulos dos nutrientes observadas nas florestas avaliadas e nos teores disponíveis dos nutrientes no solo.

O modelo proposto foi aplicado em plantios comerciais da empresa JARI-CELULOSE S.A. e, para os quais, foram gerados diagnósticos nutricionais e recomendações de fertilizantes.

A carência nutricional de potássio foi a mais freqüente e a de fósforo foi a menos freqüente nos povoamentos monitorados. Uma análise de correlação também

acusou que o acúmulo de K na parte aérea foi o que mais se correlacionou com os de matéria seca; e o de P o que menos correlacionou, sugerindo uma relação de dependência mais estreita entre a produtividade e o acúmulo do nutriente que foi considerado mais carente, e uma relação de pouca dependência entre a produtividade e o acúmulo do nutriente considerado menos carente.

A variabilidade das doses de fertilizantes recomendadas foi muito grande entre os povoamentos, sugerindo que aplicações de doses únicas em diferentes florestas sem um critério de avaliação nutricional podem ser excessivas em alguns casos e insuficientes em outros, o que não elimina os desequilíbrios nutricionais existentes e reduz a eficácia dessas adubações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H. **Avaliação da fertilidade do solo**; superfície de resposta-modelos aproximativa para expressar a relação fator-resposta. Viçosa: UFV, 1985. 75 p.

ALVAREZ V., V. H.; LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SBCS, 1992. p.186-188.

ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis standardized scores combines DRIS and sufficient range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Washington, v.88, p. 448-456, 1996.

BAR-AKIVA, A.; LAVON, R. Carbonic anhydrase activity as na indicator of zinc deficiency in citrus leaves. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 44, p. 359-362, 1969.

BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**; a mechanistic approach. New York, John Wiley & Sons, 1984. 398 p.

BARNARD, H. What does cause age-related decline in forest productivity? Notes from discussion at ESA Meeting in Snowbird, Utah.

Disponível em:

<<http://www.fsl.orst.edu/nbond/age%20Decline%20Notes.html>>. Acesso em: 8 set. 2000.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; FERNANDES FILHO, E. I. **NUTRICALC 2.0** - Sistema de cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, Valdivia, Chile, v. 16, n.1, p. 129-131, 1995.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BATES, T. E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science**, New Brunswick, v. 112, n.2, p. 116-130, 1971.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. Pietermaritzburg : University of Natal; Department of Soil Science and Agro-Meteorology, 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, 1).

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VARVEL, G. E.; WALTER-SHEA, E. A. Nitrogen deficiency detection using reflector shortwave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, Washington, v. 88, n.1, p. 1-5, 1996.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.21, p. 73-85, 1974.

BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D. S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 Chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, N. Y., v.21, n.4, p. 741-755, 1998.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas, Fundação Cargil, 1983. 44 p.

CORRÊA, J. J.; JOCOMINE, R. D. dos Santos. **Solos do Jarí**: levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos sobre floresta cultivada na área da Companhia Florestal Monte Dourado no Jarí. Rio de Janeiro, Intellect Informática, 1989.

DELL, diagnosis of nutrient deficiencies in eucalypts. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (eds.). **Nutrition of eucalypts**. Austrália, CSIRO Publishing, 1996. p. 417-440.

FABRES, A. S. **Disponibilidade de fósforo em solos e concentração críticas de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em amostras diferentes de solo.** Viçosa, MG:UFV, 1986. 39 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1986.

FERREIRA, M. G. M. **Na analysis of the productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the “cerrado” region in Brazil: a nutrient ajeling approach.** Vancouver, UBC, 1984. 230 p. Thesis (Ph. D.) - University of British Columbia, 1984.

FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BORGES, A. C. Nível crítico de enxofre em latossolos e recuperação do sulfato adicionado por diferentes extratores químicos, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 6, p. 226-230, 1982.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas.** Viçosa, MG: UFV, 2001. 122 p.

FREIRE, F. J. **Desenvolvimento de um modelo para cálculo do balanço nutricional e recomendação de fertilizantes - FERTICALC - para cana-de-açúcar no Brasil.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 201 p . Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

GOWER, S. T.; Mc MURTRIE, R. E.; MURTY, D. Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes. **Tree**, London, v. 11, p. 38-382, 1996.

HALLMARK, W. B.; WALWORTH, J. L.; SUMMER, M. E.; deMOOY, C. J.; PESEK, J.; SHAO, K. P. Separating limiting from non-limiting nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, New York, N. Y., v.10, n. 9-16, p. 1381-1390, 1987.

JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated Sistem (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticelle, N. Y., v. 12, p. 785-794, 1981.

KALBASI, M.; RACZ, G. J.; LOEWEN-RUDGERS, L. A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminum oxidos. **Soil Science**, New Brunswick, N. J., v.125, p. 146-150, 1978.

KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of friut trees. In: REUTHER, W. **Plant analysis and fertilizers**

problems. Washington, American Institute of Biological Science, 1961. p. 28-43.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de Eucalyptus spp., sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 132 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

LAVON, R.; GOLDSCHMIDT, E. E. Enzymatic methods for detection of mineral element deficiencies in citrus leaves: a mini-review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, N. Y., v. 22, n.1, p. 139-150, 1999.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the identity between of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticello, N. Y., v. 33, n. 7-8, p. 1105-1118, 2002.

LELES, P. C. S. **Crescimentos, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2 ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed. San Diego, Academic Press, 1997. 889 p.

MELLO, M. S. **Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de colagem e fertilizantes para a cultura do tomate.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 107 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

MILLER, H. G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (eds.). **Nutrition of Plantation Forests.** London: Academic Press, 1984. p. 53-78.

MILLER, H. G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 168-169, p. 225-232, 1995.

MONTAÑÉS, L.; HERAS, L.; ABADÍA, J.; SANS, M. Plant analysis interpretation based on a new index : Deviation from optimum Percentage (DOP). **Journal of Plant Nutrition**, New York, N. Y., v.16, n.7, p. 1289-1308, 1993.

MONTAÑÉS, L.; HERAS, L.; SANS, M. Desviación del óptimo porcentual (DOP) : nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. **Anales de la Estación Experimental de Aula Dei**, Zaragoza, v.20, n. 3-4, p. 93-10, 1991.

MORAIS, E. R. C. **Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais e sua disponibilidade para plantas de milho**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

MUNIZ, A. S.; NOVAIS, R. F.; FREIRE, F. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliadas por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.34, p. 125-151, 1987.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Campos dos Goytacases, RJ: UENF, 2000. 192 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG : UFV; DPS, 1999. 399 p.

PERATA, P.; ALPI, A. Plant responses to anaerobiosis. **Plant Science**, Washington, v.93, p. 1-17, 1993.

PESSOTTI, J. E. S. **Levantamento semidetalhado dos solos da JARI CELULOSE S. A.** 1997. (Não publicado)

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Washington, v.84, p. 59-65, 1992.

POSSAMAI, J. M. **Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do algodoeiro**, Viçosa, MG : UFV, 2003. 80 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

PREZOTTI, L. C. **Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do café arábica**. Viçosa, MG : UFV, 2001. 93 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus Grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantando no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, p. 1-15, 1987.

RYAN, M. G. What does cause age-related decline in forest productivity? Notes from discussion at ESA Meeting in Snowbird, Utah.
Disponível em:
<<http://www.fsl.orst.edu/nbond/age%20Decline%20Notes.html>>. Acesso em: 8 set. 2000.

RYAN, M. G.; BINKLEY, D.; FOWNES, J. H. Age-related decline in forest productivity : pattern and process. **Advances in Ecological Research**, San Diego, Ca., v. 27, p. 213-262, 1997.

SANDS, R.; MULLIGAN, D. R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, New York, N. Y., v.30, p. 91-111, 1990.

SANTOS, M. L. **Crescimento e alocação de biomassa e de nutrientes em eucalipto, decorrentes da aplicação de nitrogênio e potássio**. Viçosa, MG : UFV, 2002. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SARANGA, Y.; LANDA, A.; SHEKEL, Y.; BOSAK, A.; KAFKAFI, U. Near-infrared analysis of cotton leaves as a guide for nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Washington, v.90, p. 16-21, 1998.

SCATOLINI, F. M.; CORRADINI, L.; BARROS, N. F.; VALLE, C. F. Monitoramento nutricional como estratégia para recomendação de adubação para manutenção da produtividade em povoamentos de eucalipto da Votorantin Celulose e Papel S. A. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Águas de Lindóia, SP, 1996.

SILVA, G. G. C. da. **Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND**. Viçosa, MG : UFV, 2001. 132 p. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

SMITH, F. M.; LONG, J. N. Age-related decline in forest growth: an emergent property. **Forest Ecology and Management**, New York, N. Y., v. 144, p. 175-181, 2001.

SMITH, F. W.; RESH, S. C. Age-related changes in production and below ground carbon allocation in *Pinus contorta* forests. **Forest Science**, Washington, v.45, p. 333-341, 1999.

TAYLOR, S. L.; RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V.; STONE, M. L.; WHITNEY, R. W. Use of spectral radiance for correcting nitrogen deficiencies and estimating soil test variability in an established bermudagrass pasture. **Journal of Plant Nutrition**, New York, N. Y., v.21, n.11, p. 2287-2302, 1998.

THOMAS, J. R.; OERTHER, G. F. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. **Agronomy Journal**, Washington, v.64, p. 11-13, 1972.

WADT, P. G. S. **Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto**. Viçosa, MG : UFV, 1996. 99 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

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**, Viçosa, MG, v.22, p. 685-692, 1998.

APÊNDICE

QUADRO A1 – Quadro de análise de variância para o teste de identidade de modelos para as curvas de acúmulo de matéria seca entre as unidades de manejo Areia, Argila e LU.

FV	GL	SQ	QM	F
PAR(c)	9	1247911,773	138656,864	
Par(W)	3	1244170,928	414723,643	
R(Ho)	6	3740,844	623,474	0,770 ^{ns}
Res	144	116588,356	809,641	
Total	153	1364500,129		

QUADRO A2 – Quadro de análise de variância para o teste de identidade de modelos para as curvas de acúmulo de nitrogênio entre as unidades de manejo Areia, Argila e LU.

FV	GL	SQ	QM	F
PAR(c)	9	7097410,514	788601,168	
Par(W)	3	7082990,224	2360996,741	
R(Ho)	6	14420,290	2403,382	0,435 ^{ns}
Res	144	795071,400	5521,329	
Total	153	7892481,914		

QUADRO A3 – Quadro de análise de variância para o teste de identidade de modelos para as curvas de acúmulo de fósforo entre as unidades de manejo Areia, Argila e LU.

FV	GL	SQ	QM	F
PAR(c)	9	64549,298	7172,144	
Par(W)	3	64415,613	21471,871	
R(Ho)	6	133,685	22,281	0,545 ^{ns}
Res	144	5889,321	40,898	
Total	153	70438,618		

QUADRO A4 – Quadro de análise de variância para o teste de identidade de modelos para as curvas de acúmulo de potássio entre as unidades de manejo Areia, Argila e LU.

FV	GL	SQ	QM	F
PAR(c)	9	3521215,382	391246,154	
Par(W)	3	3510530,563	1170176,854	
R(Ho)	6	10684,819	1780,803	0,430 ^{ns}
Res	144	596935,577	4145,386	
Total	153	4118150,959		

QUADRO A5 – Quadro de análise de variância para o teste de identidade de modelos para as curvas de acúmulo de cálcio entre as unidades de manejo Areia, Argila e LU.

FV	GL	SQ	QM	F
PAR(c)	9	6838763,389	759862,599	
Par(W)	3	6766004,050	2255334,683	
R(Ho)	6	72759,339	12126,557	2,635*
Res	144	662807,487	4602,830	
Total	153	7501570,877		

QUADRO A6 – Quadro de análise de variância para o teste de identidade de modelos para as curvas de acúmulo de magnésio entre as unidades de manejo Areia, Argila e LU.

FV	GL	SQ	QM	F
PAR(c)	9	400182,870	44464,763	
Par(W)	3	398718,291	132906,097	
R(Ho)	6	1464,578	244,096	0,671 ^{ns}
Res	144	52406,512	363,934	
Total	153	452589,381		

1. EXEMPLO NUMÉRICO DE CÁLCULOS EFETUADOS PELO PROGRAMA *MN-Eucalyptus*

Para a coleta dos dados de campo, utiliza-se um formulário (Figura A1) para as anotações. O formulário permite anotações referentes a três árvores amostras que são abatidas para quantificação de biomassa e de nutrientes.

Amostragem de Árvores para Monitoramento Nutricional							
Formulário para Coleta de Dados para o Sistema de Monitoramento Nutricional de Eucalipto							
Lote	Talhão	Subtalh.	Espécie/Clone	Solo	Data plantio	Espacam.	Data amostrag.
					/ /		/ /
Dados das Árvores							
Amostra		Árvore nº:	Árvore nº:	Árvore nº:			
CAP		cm	cm	cm			
Altura Total		m	m	m			
Altura da copa		m	m	m			
Diâmetro da copa (parte basal)		m	m	m			
Pesagem dos Componentes							
Componente		Pesos totais					
Tronco com casca		kg	kg	kg			
Tronco sem Casca (lenho)		kg	kg	kg			
Folhas		kg	kg	kg			
Galhos verdes		kg	kg	kg			
Galhos secos		kg	kg	kg			
Amostras para Determinação de Umidade							
Amostra + embalagem		Umido	Seco	Umido	Seco	Umido	Seco
Folhas		g	g	g	g	g	g
Galhos		g	g	g	g	g	g
Casca		g	g	g	g	g	g
Lenho (discos base + meio + topo)		g	g	g	g	g	g
Observações:							
Peso da embalagem: _____							

_____ Responsável							

FIGURA A1 - Formulário utilizado para anotações de campo durante os trabalhos de amostragem para o monitoramento nutricional.

Para este exemplo numérico, dados reais foram extraídos do banco de dados utilizado na Tese e encontram-se a seguir:

DADOS DO LOCAL:

Lote: 042;

Talhão: 005;

Espécie/clone: Eucalyptus urograndis;

Espaçamento: 3 x 3 m;

Data de plantio: 01/01/1998;

Data do monitoramento: 06/07/1999 (1,51 anos de idade);

Unidade de manejo: UM3;

Padrão utilizado: modelo único (Quadro A7);

Sobrevivência considerada: 100%;

Capacidade produtiva do local: 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos 7 anos.

DADOS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS:

QUADRO A7 – Medições e pesagens das três árvores abatidas para quantificação de biomassa e de nutrientes

Medições e pesagens	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3
DAP (cm)	7,80	9,23	8,28
Altura total (m)	11,00	11,60	12,10
Peso úmido de folhas (kg)	5,50	6,75	3,85
Peso úmido do tronco c/ casca (kg)	29,40	39,60	33,40
Peso úmido do lenho (kg)	25,15	33,30	27,90
Peso úmido de galhos (kg)	10,50	14,00	7,75
Peso úmido de casca (kg)*	4,25	6,30	5,50

* obtido por diferença entre peso úmido de tronco com casca e peso úmido do lenho

QUADRO A8 – Pesos úmido e seco de amostras de tecidos das árvores avaliadas

Amostras	Árvore 1		Árvore 2		Árvore 3	
	peso úmido	peso seco	peso úmido	peso seco	peso úmido	peso seco
Folhas	209,00	75,40	179,00	72,16	200,00	81,98
Galhos	407,00	170,52	505,00	216,30	317,50	136,31
Casca	407,00	131,58	538,00	158,02	443,00	144,58
Lenho	246,50	103,46	318,00	136,40	239,00	102,94

RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE TECIDOS:

QUADRO A9 – Resultados de análises químicas de amostras de tecidos das árvores avaliadas

Árvore	Componente	N	P	K	Ca	Mg
		----- dag kg ⁻¹ -----				
1	Folhas	2,800	0,202	1,154	0,995	0,302
1	Casca	0,455	0,070	0,672	2,461	0,279
1	Galhos	0,333	0,084	0,494	0,476	0,052
1	Lenho	0,088	0,018	0,200	0,073	0,037
2	Folhas	2,223	0,175	1,260	0,610	0,275
2	Casca	0,490	0,077	0,657	2,673	0,331
2	Galhos	0,403	0,120	0,622	0,465	0,056
2	Lenho	0,105	0,018	0,210	0,078	0,042
3	Folhas	2,240	0,164	1,260	0,642	0,304
3	Casca	0,315	0,059	0,778	2,301	0,264
3	Galhos	0,350	0,070	0,539	0,544	0,042
3	Lenho	0,088	0,016	0,177	0,069	0,026

RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLO:

QUADRO A10 – Resultados de análises químicas de amostras de solo coletadas no talhão monitorado

Amostra	Profundidade	Argila (%)	P	K	Ca	Mg	C. Org.
			----- mg dm ³ -----	----- mmol _c dm ³ -----	----- dag kg ⁻¹		
1	0-10 cm	35	8,333	20,000	12,222	3,000	1,16
1	10-20 cm	35	2,696	17,000	8,889	2,000	0,87
1	20-40 cm	36	1,225	17,000	6,667	2,000	0,87
2	0-10 cm	33	5,882	23,000	11,111	4,000	1,45
2	10-20 cm	34	4,166	16,000	8,889	3,000	1,16
2	20-40 cm	34	1,716	15,000	6,667	2,000	0,87
3	0-10 cm	35	4,411	20,000	16,667	5,000	1,16
3	10-20 cm	38	12,499	15,000	13,333	2,000	0,58
3	20-40 cm	35	5,637	15,000	11,111	3,000	0,58

CURVAS PADRÕES:

O modelo único (ajustado para as três unidades de manejo em conjunto) foi utilizado como padrão de referência para a diagnose nutricional e para recomendação dos fertilizantes (Quadro A11).

QUADRO A11 – Parâmetros do modelo de Chapman-Richards ($\hat{Y} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 X)]^{\beta_2}$), que descreve os padrões de acúmulo de matéria seca e de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea de florestas de híbridos urograndis, em função da idade, considerando um modelo único (ajustado para todas as unidades de manejo) na região do vale do rio Jari – PA

Variável dependente	β_0	β_1	β_2
MS (t ha ⁻¹)	178,2732	0,7690	4,8169
N (kg ha ⁻¹)	259,6575	1,5488	4,5482
P (kg ha ⁻¹)	26,4780	1,1573	3,3633
K (kg ha ⁻¹)	186,5457	1,7830	7,0204
Ca (kg ha ⁻¹)	330,6964	0,7521	2,5102
Mg (kg ha ⁻¹)	69,5717	1,1433	4,5630

CÁLCULO DOS PADRÕES PARA A IDADE DA FLORESTA:

Substituindo-se os coeficientes do quadro A11 no modelo de Chapman-Richards ($\hat{Y} = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 X)]^{\beta_2}$) e considerando a idade da floresta (1,51 anos) como variável independente, obtêm-se as estimativas dos padrões (Quadro A12).

QUADRO A12 – Padrões de acúmulo de matéria seca e de nutrientes calculados para as idades de 1,51 anos (idade do monitoramento) e de 7 anos

Variável dependente	Padrão estimado		Unidade
	à idade do monitoramento	à idade de 7 anos	
Matéria seca	29,18	174,36	t ha ⁻¹
Nitrogênio	163,65	259,63	kg ha ⁻¹
Fósforo	13,90	26,45	kg ha ⁻¹
Potássio	113,98	186,54	kg ha ⁻¹
Cálcio	125,00	326,42	kg ha ⁻¹
Magnésio	28,44	69,47	kg ha ⁻¹

Os padrões estimados (Quadro A12) correspondem a uma produtividade volumétrica de aproximadamente 47 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos 7 anos de idade. O sistema *MN-Eucalyptus* considera essa produtividade como uma referência para fins de ponderação de acordo com as capacidades produtivas de cada ambiente ou de cada material genético. Assim, como a produtividade da floresta que está sendo monitorada é estimada em 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, o sistema recalculou os padrões ajustando-os para a capacidade produtiva potencial da floresta monitorada (Quadro 13). Esse ajuste é feito conforme a equação a seguir:

$$PAD_{COR} = PAD_{REF} \times \frac{PR_{FM}}{PR_{REF}}$$

em que

PAD_{COR} = padrão corrigido (matéria seca - t ha⁻¹, nutrientes - kg ha⁻¹);
 PAD_{REF} = padrão de referência (matéria seca - t ha⁻¹, nutrientes - kg ha⁻¹);
 PR_{FM} = capacidade produtiva da floresta monitorada (m³ ha⁻¹ ano⁻¹);
 PR_{REF} = capacidade produtiva de referência (m³ ha⁻¹ ano⁻¹).

QUADRO A13 – Padrões de acúmulo de matéria seca e de nutrientes ajustados para a capacidade produtiva da floresta monitorada, para as idades de 1,51 anos (idade do monitoramento) e 7 anos

Variável dependente	Padrão estimado		Unidade
	à idade do monitoramento	à idade de 7 anos	
Matéria seca	24,83	148,39	t ha ⁻¹
Nitrogênio	139,28	220,96	kg ha ⁻¹
Fósforo	11,83	22,51	kg ha ⁻¹
Potássio	97,00	158,76	kg ha ⁻¹
Cálcio	106,38	277,8	kg ha ⁻¹
Magnésio	24,20	59,12	kg ha ⁻¹

CÁLCULO DOS ACÚMULOS NA FLORESTA MONITORADA:

Matéria seca

Os pesos úmidos dos componentes (Quadro A7) são transformados em pesos secos (Quadro A14) utilizando-se os valores das pesagens das respectivas amostras, sendo isso feito por meio da seguinte equação:

$$PS_C = PU_C \times \frac{PS_{AMC}}{PU_{AMC}}$$

em que

PS_C = peso seco do componente (kg);

PU_C = peso úmido do componente (kg);

PS_{AMC} = peso seco da amostra do componente (g);

PU_{AMC} = peso úmido da amostra do componente (g).

QUADRO A14 – Pesos secos dos componentes das árvores amostradas

Componentes	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3
	kg árvore ⁻¹		
Folhas	1,98	2,72	1,58
Casca	1,37	1,85	1,79
Galhos	4,40	6,00	3,33
Lenho	10,56	14,28	12,02
TOTAL	18,31	24,85	18,72

Os pesos secos por árvore (Quadro A14) são convertidos em pesos secos por hectare (Quadro A15) utilizando-se a equação:

$$PS_{HA} = PS_A \times \frac{SOB\%}{ESP_{EL} \times ESP_{EP} \times 10}$$

em que

PS_{HA} = peso seco por hectare (t ha⁻¹);

PS_A = peso seco por árvore (kg árvore⁻¹);

ESP_{EL} = espaçamento entre linhas (m);

ESP_{EP} = espaçamento entre plantas (m);

$SOB\%$ = porcentagem de sobrevivência (%).

QUADRO A15 – Pesos secos dos componentes das árvores amostradas convertidos em t ha⁻¹

Componentes	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média
	t ha ⁻¹			
Folhas	2,20	3,02	1,75	2,32
Casca	1,53	2,06	1,99	1,86
Galhos	4,89	6,66	3,70	5,08
Lenho	11,73	15,87	13,35	13,65
TOTAL	20,35	27,61	20,80	22,92

Nutrientes

Obtêm-se os conteúdos totais dos nutrientes em cada componente das árvores, por unidade de área (Quadro A16), utilizando-se os dados de matéria seca (Quadro A15) e os respectivos teores dos nutrientes (Quadro A9). A seguinte equação é utilizada para este cálculo:

$$AC_X = AC_{MS} \times X\% \times 10$$

em que

AC_X = acúmulo total do nutriente X na matéria seca de cada componente (kg ha⁻¹);

AC_{MS} = acúmulo total de matéria seca do componente (t ha⁻¹);

$X\%$ = teor do nutriente X na matéria seca do componente (%).

QUADRO A16 – Conteúdos totais por hectare de cada nutriente nos componentes da parte aérea e nas 3 árvores avaliadas

Árvore	Componente	N	P	K	Ca	Mg
		kg ha ⁻¹				
1	Folhas	61,73	4,45	25,44	21,94	6,66
1	Casca	7,14	1,10	10,54	38,61	4,38
1	Galhos	16,28	4,11	24,15	23,27	2,54
1	Lenho	10,60	2,17	24,10	8,80	4,46
2	Folhas	67,21	5,29	38,10	18,44	8,31
2	Casca	10,37	1,63	13,90	56,56	7,00
2	Galhos	26,85	8,00	41,44	30,98	3,73
2	Lenho	17,14	2,94	34,28	12,73	6,86
3	Folhas	39,28	2,88	22,09	11,26	5,33
3	Casca	6,46	1,21	15,95	47,17	5,41
3	Galhos	12,94	2,59	19,93	20,11	1,55
3	Lenho	12,08	2,20	24,29	9,47	3,57
Total árvore 1		95,28	11,72	83,31	91,34	17,80
Total árvore 2		120,80	17,81	126,37	116,76	25,52
Total árvore 3		70,25	8,80	81,17	86,47	15,62
MÉDIA (A1, A2, A3)		95,44	12,78	96,95	98,19	19,65

DIAGNOSE NUTRICIONAL

A diagnose nutricional é feita comparando-se as estimativas dos acúmulos na floresta monitorada (Quadro A16) com os respectivos padrões ajustados (Quadro A13). O resultado (Quadro A17) é apresentado de forma percentual em relação ao padrão.

QUADRO A17 – Resultado da diagnose nutricional (porcentagem de acúmulo de matéria seca e de nutrientes em relação ao padrão - acúmulos relativos)

Nutriente/MS	Acúmulos relativos (%)
MS	92,31
N	68,52
P	108,03
K	99,95
Ca	92,30
Mg	81,20

ESTIMATIVA DA DEMANDA DO SISTEMA RADICULAR

A demanda nutricional do sistema radicular foi estimada tanto para o padrão quanto para a floresta monitorada (Quadro A18). Essas estimativas foram feitas utilizando-se equações cujo ajustamento foi realizado utilizando-se de dados de publicações diversas. As equações foram as seguintes:

$$N_R = -26,3266 + 1,74398AU + 27,49225ID - 2,60056ID^2 + 0,13603N_{PA}$$

$$P_R = -0,67596 + 0,18088AU + 0,21711P_{PA}$$

$$K_R = -18,61183 + 0,949279AU + 9,60592ID - 1,04507ID^2 + 0,19293K_{PA}$$

$$Ca_R = -51,15613 + 1,11737AU + 27,60101ID - 3,38574ID^2 + 0,34761Ca_{PA} - 0,000189Ca_{PA}^2$$

$$Mg_R = -9,24139 + 0,12138AU + 5,88911ID - 0,60788ID^2 + 0,14819Mg_{PA}$$

em que

N_R, P_R, K_R, Ca_R e Mg_R = acúmulos estimados de N, P, K, Ca e Mg nas raízes ($t\ ha^{-1}$);

AU = área útil ocupada por árvore (m^2);

ID = idade do povoamento (anos);

$N_{PA}, P_{PA}, K_{PA}, Ca_{PA}$ e Mg_{PA} = acúmulos totais de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea ($t\ ha^{-1}$).

QUADRO A18 – Quantidades estimadas de nutrientes acumulados nas raízes da floresta padrão e da floresta monitorada

Nutriente	Padrão	F. monitorada
	----- t ha ⁻¹ -----	
N	43,90	37,94
P	3,52	3,73
K	20,77	20,76
Ca	27,70	25,17
Mg	2,94	2,27

ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE SUPRIMENTO DO SOLO

Foram calculadas as doses equivalentes (dose aplicada via fertilizante que equivale ao teor do nutriente indicado no resultado da análise química) (Quadro A19) utilizando-se equações que estimam a taxa de recuperação (Nutriente recuperado/Nutriente aplicado) dos extratores. Para o N, a capacidade de suprimento do solo foi estimada a partir do teor de carbono orgânico. A equação utilizada para o cálculo da dose equivalente foi:

$$DE = \frac{RA}{TR_{EXT}} \times 100$$

em que

DE = Dose equivalente ($kg\ ha^{-1}$);

RA= Resultado da análise química do solo com unidade convertida a $kg\ ha^{-1}$;

TR_{EXT} = Taxa de recuperação do extrator (%).

O teor de N no solo foi estimado a partir do teor de carbono orgânico, considerando-se uma relação C/N igual a 20. Quanto ao cálculo da dose equivalente para N, considerou-se a taxa de recuperação do extrator igual a 100. As taxas de recuperação de cada extrator foram calculadas pelas equações:

$$\begin{aligned} TR_P &= 100 \times 0,419 P_{REM}^{0,1281} && \text{Fonte: SANTOS (2002)} \\ TR_K &= 100 \times (0,65 + 0,0063 P_{REM}) && \text{Fonte: POSSAMAI (2003)} \\ TR_{Ca} &= 77,8 && \text{Fonte: FREIRE (2001)} \\ TR_{Mg} &= 80,9 && \text{Fonte: FREIRE (2001)} \end{aligned}$$

em que

TR_P , TR_K , TR_{Ca} e TR_{Mg} = taxa de recuperação dos extratores utilizados nas análises de solo para P, K, Ca e de Mg, respectivamente (%);
 P_{REM} = fósforo remanescente ($mg L^{-1}$).

O cálculo da taxa de recuperação do extrator (TR) para fósforo e para potássio depende do fósforo remanescente (P_{REM}). Essa determinação não foi realizada para as amostras de solo deste exemplo. Neste caso fez-se uma estimativa do P_{REM} a partir dos teores de argila. Para isso, foi utilizada a seguinte equação:

$$P_{REM} = 53,819 - 1,1145 \text{ Arg} + 0,0066 \text{ Arg}^2 \quad \text{Fonte: PREZOTTI (2001).}$$

QUADRO A19 – Doses equivalentes de N, P, K, Ca e de Mg estimada para o solo da floresta monitorada

Amostra	Profundidade	N	P	K	Ca	Mg
				kg ha		
1	0-10 cm	580,00	13,32	25,18	314,19	45,06
1	10-20 cm	435,00	4,31	21,40	228,51	30,04
1	20-40 cm	870,00	3,93	43,03	342,78	60,07
Total am 1		1885,00	21,55	89,61	885,48	135,17
2	0-10 cm	725,00	9,33	28,66	285,63	60,07
2	10-20 cm	580,00	6,63	20,04	228,51	45,06
2	20-40 cm	870,00	5,46	37,58	342,78	60,07
Total am 2		2175,00	21,43	86,27	856,92	165,20
3	0-10 cm	580,00	7,05	25,18	428,46	75,09
3	10-20 cm	290,00	20,20	19,17	342,75	30,04
3	20-40 cm	580,00	18,02	37,77	571,26	90,11
Total am. 3		1450,00	45,26	82,13	1342,47	195,24
Média am. 1, 2, 3		1836,67	29,42	86,00	1028,29	165,20

TAXA DE RECUPERAÇÃO DOS NUTRIENTES PELA FLORESTA

Para o cálculo da estimativa da taxa de recuperação dos nutrientes pela floresta (Quadro A20), utilizou-se a seguinte equação:

$$TR = \frac{AC}{D} \times R \times 100$$

em que

TR = estimativa da taxa de recuperação dos nutrientes pela floresta (kg recuperado/kg aplicado);

AC = taxa média de acúmulo (quantidade acumulada por ano), para cada nutriente, observada em todas as florestas monitoradas ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

D = dose equivalente média observada em todas as florestas monitoradas (kg ha^{-1});

R = relação sensível ao grau de carência nutricional¹.

QUADRO A20 – Valores estimados de taxas de recuperação dos nutrientes pela floresta (quantidade recuperada por ano/quantidade aplicada via fertilizantes)

Nutriente	Taxa média de recuperação
	(kg rec./kg aplic.)
N	44,96
P	6,58
K	34,00
Ca	11,45
Mg	17,11

CÁLCULO DAS DOSES RECOMENDADAS

Há duas alternativas para o cálculo da dose recomendada, conforme o sistema **MN-Eucalyptus**: pela primeira, determina-se a dose necessária apenas para corrigir as carências nutricionais das plantas (Quadro A21); pela segunda, consideram-se também os níveis dos nutrientes no solo a serem preservados,

¹ Ver detalhes no corpo da Tese.

independentemente da condição nutricional das plantas. A equação utilizada para o cálculo conforme a primeira alternativa é a seguinte:

$$\text{Dose recomendada} = \frac{(\text{TAC}_1 - \text{TAC}_0) \times D_0}{\text{TAC}_0 \times R}$$

em que

TAC_0 = Taxa de acúmulo observado na floresta monitorada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

TAC_1 = Taxa de acúmulo na floresta padrão ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

D_0 = Resultado da análise química de amostras de solo, coletadas por ocasião do monitoramento, transformadas em doses equivalentes (kg ha^{-1});

D_1 = Dose que proporciona taxas de acúmulo iguais ao padrão (kg ha^{-1});

R = relação sensível ao grau de carência nutricional.

Essa equação pode ser escrita também da seguinte maneira:

$$\text{Dose recomendada} = \frac{(\text{TAC}_1 - \text{TAC}_0)}{\text{TR}} \times 100$$

em que

TAC_0 = Taxa de acúmulo observado na floresta monitorada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

TAC_1 = Taxa de acúmulo na floresta padrão ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

TR = estimativa da taxa de recuperação dos nutrientes pela floresta ($\text{kg recuperado/kg aplicado}$).

QUADRO A21 – Doses de nutrientes necessárias para corrigir as carências nutricionais

Nutriente	Dose
	(kg ha^{-1})
N	111,86
P	13,92
K	44,62
Ca	208,23
Mg	57,75