

# Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira

Aretusa Daniela Resende MENDES<sup>1</sup>, Luiz Edson Mota de OLIVEIRA<sup>2</sup>, Marilza Neves do NASCIMENTO<sup>3</sup>, Karina Lima REIS<sup>4</sup>, Lisandro Tomas da Silva BONOME<sup>5</sup>

## RESUMO

A seringueira na fase adulta possui um crescimento intermitente com o processo de troca de folhas, que é caracterizado pela senescência. Esse é um mecanismo que as árvores utilizam para reciclarem os nutrientes, por meio dos ciclos bioquímico e biogeoquímico. Estudos sobre o ciclo bioquímico são necessários para verificar o comportamento dos nutrientes minerais, nos diferentes estádios foliares, pois a conservação desses é importante, visto que os seringais são implantados em solos de baixa fertilidade. Desse modo, este trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica dos nutrientes minerais, durante os diferentes estádios foliares da seringueira. As folhas utilizadas foram provenientes de plantas do clone RRIM-600, de um seringal localizado em Nepomuceno, MG. Foram selecionadas oito árvores adultas que possuíam folhas nos diferentes estádios (B1, B2, C e D) e as senescentes (Sen.). As folhas nos estádios B1, B2, C e D foram coletadas nos quatro pontos ortogonais e as senescentes foram coletadas no solo após a agitação mecânica dos galhos. Observou-se que os nutrientes N, P, K, S, Cu e Zn diminuíram os seus teores nos diferentes estádios foliares da seringueira. No entanto, para Ca, Mg, B, Fe e Mn, verificou-se um comportamento inverso. A redistribuição dos nutrientes foi maior para N, P, K e Cu. A ordem relativa dos teores de macronutrientes encontrados nas folhas foi: N>K>Ca>Mg>S>P e, para os micronutrientes, a ordem foi: Mn>Fe>Zn>B>Cu.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Hevea brasiliensis*. Ciclagem de nutrientes. Redistribuição de nutriente. Desenvolvimento foliar. Nutrição de plantas.

## Concentration and redistribution of mineral nutrients at different stages in the development of the Rubber tree leaf.

### ABSTRACT

The Rubber tree during its adult phase presents intermittent growth within the leaf exchange process characterized by senescence, which is a nutrient-recycling mechanism used by trees through biochemical and biogeochemical cycles. Studies including biochemical cycles are necessary in order to verify the mineral nutrients' dynamics at different leaf stages. The conservation of such nutrients is very important to optimize the growing conditions for rubber plantations which are located in soils with low fertility. This study aims to evaluate the mineral nutrients' dynamics during different leaf stages of the rubber tree, leaves were collected from the clones of RRIM-600 taken from a rubber tree plantation in Nepomuceno County, State of Minas Gerais, Brazil. Eight adult examples with leaves in different stages: B1, B2, C and D, plus senescent leaves (Sen) were selected for the study. Samples from leaves in stages B1, B2, C and D were taken from the trees at the four orthogonal points; the senescent leaves were collected from the ground after mechanically shaking the branches. The study revealed a decrease in the level of N, P, K, S, Cu and Zn during the development of the rubber tree's leaf. In contrast, during the same period the levels of Ca, Mg, B, Fe and Mn increased. The redistribution for N, P, K and Cu was higher and the relative order of macronutrient and micronutrient levels in the leaves were respectively: N>K>Ca>Mg>S>P and Mn>Fe>Zn>B>Cu

**KEYWORDS:** *Hevea brasiliensis*. Nutrient cycling. Nutrient redistribution. Leaf development. Plant nutrition.

<sup>(1)</sup> Universidade Federal de Minas Gerais/Instituto de Ciências Agrárias - Avenida Universitária, 1.000 - Bairro Universitário - Montes Claros-MG - CEP: 39.404-006 - are.dani@hotmail.com;

<sup>(2)</sup> Universidade Federal de Lavras/Departamento de Biologia - Campus Universitário, Caixa Postal 3037 - Lavras-MG - CEP: 37200-000, ledson@dbi.ufla.br;

<sup>(3)</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana - Avenida Transnordestina, S/N - Bairro Novo Horizonte - Feira de Santana-BA - CEP: 44.036-900, marilzaagro@hotmail.com;

<sup>(4)</sup> Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Programa de pós-graduação em Fisiologia e Bioquímicas de Plantas - Avenida Pádua Dias, 11 - Bairro Vila Independência - Piracicaba-SP - CEP: 13418-900, kakalmed@hotmail.com;

<sup>(5)</sup> Universidade Federal da Fronteira do Sul - Avenida Oscar da Silva Guedes, 01 - Bairro Vila Alberti - Laranjeiras do Sul-PR - CEP: 85303-820, lisandrobonome@gmail.com.

## INTRODUÇÃO

Há muito, a heveicultura desperta interesse, devido ao seu potencial de utilização, que proporciona benefícios econômicos, sociais e ambientais. No Brasil, o cultivo de seringueira vem expandindo-se e ocupando diversas regiões, principalmente as com solo de baixa fertilidade. Com isso, exige-se o desenvolvimento de tecnologias mais apropriadas para o seu cultivo. Dentro dessas áreas de expansão do Brasil, as regiões Sudeste e Centro-Oeste destacam-se por apresentarem áreas aptas à heveicultura. Segundo Pilau *et al.* (2007), a região Sudeste possui a maior parte do território, 738.696 km<sup>2</sup>, atendendo, plenamente, às exigências térmicas e hídricas da cultura. Nessas áreas, a ocorrência da temperatura mínima entre 15 °C e 21 °C impede a esporulação do fungo causador do “mal-das-folhas”, evitando que haja infecção da brotação de primavera pelo baixo potencial de inóculo.

Na região Sudeste, São Paulo destaca-se como o maior produtor de borracha natural e com um número significativo de usinas de beneficiamento de borracha do país. Outro estado que vem se destacando para a expansão da heveicultura é Minas Gerais, devido à sua proximidade com São Paulo e também por apresentar condições térmicas e hídricas satisfatórias ao desenvolvimento da cultura (Gonçalves *et al.* 2001; Pilau *et al.* 2007). No entanto, a heveicultura ainda é incipiente em Minas Gerais, principalmente na região sul e, para que a expansão e o fortalecimento da heveicultura sejam bem sucedidos, é necessário, entre outras iniciativas, o aprofundamento de estudos associados a fatores que influenciam a produção de látex.

O conhecimento do estado nutricional é um requisito básico para a recomendação adequada de fertilizantes, com vistas a suprir a exigência da cultura e, conseqüentemente, a obter-se produtividade elevada de látex (Murbach *et al.* 2003). As raízes da seringueira exploram os nutrientes do solo, utilizando-os na formação de fitomassa e grande parte retorna à planta, durante o processo de senescência e ao solo com a queda das folhas e ramos, formando uma densa camada de serrapilheira que, posteriormente, se decompõe (Virgens Filho *et al.* 2003). A avaliação tanto de solos como de folhas tem servido de base para a discriminação de adubação e a diagnose foliar vem sendo bastante útil a esse manejo, uma vez que as folhas refletem melhor o estado nutricional (Malavolta *et al.* 1997).

A variação dos teores de nutrientes minerais nas folhas depende de fatores bióticos e abióticos; entre eles, pragas e doenças, idade das árvores e das folhas, posição na copa, estação do ano, disponibilidade do nutriente no solo e características nutricionais de cada espécie (Caldeira *et al.* 1999). A idade da folha merece destaque, por afetar a distribuição e a redistribuição dos nutrientes, por meio dos ciclos bioquímico (redistribuição interna) e biogeoquímico.

Os ciclos da ontogenia foliar de plantas de seringueira compreendem quatro estádios: A, B, C e D, relacionados ao nível de atividade do meristema apical e às fases de desenvolvimento foliar (Hallé *et al.* 1978). Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, a seringueira apresenta um crescimento intermitente com o processo de troca de folhas, que é caracterizado pela senescência (Murbach *et al.* 2003). Esse comportamento decíduo depende da constituição genética, da intensidade, da duração do déficit hídrico na estação seca e, também, das condições de nutrição mineral (Bataglia *et al.* 1999).

Os fluxos de nutrientes internamente são controlados por mecanismos de conservação de nutrientes. Esses são mais acentuados em plantas implantadas em solos de baixa fertilidade (Caldeira *et al.* 1999; Silva *et al.* 1998). A redistribuição interna de nutrientes nos tecidos é um aspecto importante da economia de nutrientes em plantas perenes, com grande influência sobre o ecossistema (Lusk *et al.* 2003). Provavelmente, a redistribuição dos nutrientes em folhas de seringueira nas regiões de expansão da heveicultura é intensa, pois essas apresentam solos de fertilidade marginais.

Silva *et al.* (1998), avaliando a redistribuição de nutrientes minerais em três estádios foliares de seringueira, verificaram que os teores foliares de N, de P, de K e de Mg diminuíram, com o aumento da idade da folha. Por outro lado, os teores de Ca aumentaram com a idade da folha, apresentando teores significativamente inferiores nas folhas jovens, por ser imóvel na planta. Os teores de S não apresentaram um padrão de variação definido. Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues *et al.* (2000), que concluíram que a redistribuição de N, de P e de K desempenha um papel importante na nutrição da seringueira. Esses trabalhos não estudaram o comportamento dos nutrientes em todos os estádios foliares, implicando, assim, na necessidade de mais investigações para o conhecimento da nutrição mineral das folhas da seringueira.

A presente pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar a concentração dos nutrientes durante os estádios foliares da *Hevea brasiliensis*, bem como de verificar a redistribuição desses nutrientes das folhas senescentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O povoamento estudado de *Hevea brasiliensis* localiza-se no município de Nepomuceno, no sul de Minas Gerais. As coordenadas geográficas de referência são 21°17'33" S de latitude, 45°10'41" W de longitude e 904 m de altitude. O clima do município é do tipo CWB, segundo a classificação de Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A vegetação anterior à implantação dos seringueais era de mata nativa.

O seringal foi implantado em 2005. O clone utilizado foi o RRM-600, com espaçamento de 3 m x 7 m. No momento da coleta das folhas, o seringal encontrava-se com cinco anos de idade, sem sangria, com altura de 4,0 a 6,5 m e o perímetro médio de 0,4 m à altura de 1,50 m do solo (DAP). O solo é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura argilosa, apresentando as seguintes características químicas na profundidade de 0,0-0,2 m (Tabela 1). As características químicas do solo foram determinadas de acordo com a metodologia preconizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1999).

Dentro do seringal, foram selecionadas oito árvores adultas que apresentavam 5,0 m de altura, o perímetro de 0,4 m à altura de 1,50 m do solo (DAP) e que possuíam folhas nos diferentes estádios (B1, B2, C e D) e senescentes (Sen.). As identificações desses estádios fenológicos foram feitas, baseando-se na caracterização e descrição de Hallé *et al.* (1978).

As folhas nos estádios B1, B2, C e D foram coletadas com o auxílio de um podão nos quatro pontos ortogonais, sendo cinco folhas em cada ponto, na parte mediana da copa da

árvore. As folhas senescentes foram coletadas no chão. Para garantir que as folhas pertenciam às árvores selecionadas, a área da projeção da copa de cada árvore foi limpa, retirando-se galhos e folhas existentes. Posteriormente, os galhos da árvore foram agitados mecanicamente até a queda das folhas senescentes, as quais foram imediatamente coletadas. O horário de coleta das folhas foi de 08:00 às 10:00 horas.

Após a coleta, as folhas de cada estágio de desenvolvimento foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C ± 5 °C até atingir peso constante. As folhas secas de cada estágio foliar foram moídas em moinho tipo Willey com malha de 20 mesh.

Após a moagem, os teores dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S e micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados quimicamente de acordo com Malavolta *et al.* (1997).

As faixas dos teores considerados adequados às folhas maduras (estádio D) de seringueiras adultas para os macronutrientes e micronutrientes foram determinadas por diversos autores (Tabela 2).

**Tabela 1** - Caracterização química de amostras de solo coletadas na camada de 0-20 cm

| pH <sup>1</sup>               | P <sup>2</sup>                                | K <sup>2</sup>  | Ca <sup>2+</sup>                              | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al             |
|-------------------------------|---|-----------------|---|------------------|------------------|------------------|
|                               | -----mg/dm <sup>3</sup> -----                 |                 | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |                  |
| 4,41 ± 0,05                   | 2,38 ± 0,26                                   | 62,25 ± 8,42    | 1,16 ± 0,13                                   | 0,45 ± 0,05      | 0,73 ± 0,09      | 5,25 ± 0,2       |
| Ac. Muito elevada             | MBx.  | Méd.            | Méd.  | Méd.             | Méd.             | Alto             |
| SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | B <sup>3</sup>                                | Cu <sup>2</sup> | Fe <sup>2</sup>                               | Mn <sup>2</sup>  | Zn <sup>2</sup>  | M.O <sup>4</sup> |
| -----mg/dm <sup>3</sup> ----- |   |                 |   |                  |                  | dag/kg           |
| 7,03 ± 0,30                   | 0,15 ± 0,02                                   | 2,00 ± 0,07     | 63,44 ± 6,25                                  | 20,51 ± 0,71     | 1,88 ± 0,79      | 1,9 ± 0,08       |
| Méd.                          | Bx.   | Alto            | Alto  | Alto             | Bom              | Bx.              |
| P-rem.                        | t <sup>5</sup>                                | T <sup>6</sup>  | SB <sup>7</sup>                               | V <sup>8</sup>   | m <sup>9</sup>   |                  |
| mg/L                          | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                 |   | -----%-----      |                  |                  |
| 21,19 ± 0,8                   | 2,50 ± 0,14                                   | 7,03 ± 0,30     | 1,78 ± 0,19                                   | 25,03 ± 1,97     | 30,03 ± 4,28     |                  |
|                               | Méd.  | Méd.            | Méd.  | Bx.              | Méd.             |                  |

<sup>1</sup>pH em CaCl<sub>2</sub>; <sup>2</sup>Extrator Mehlich 1; <sup>3</sup>Extrator água quente; <sup>4</sup>Matéria orgânica; <sup>5</sup>Capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>6</sup>Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; <sup>7</sup>Soma de bases trocáveis; <sup>8</sup>Índice de saturação de bases; <sup>9</sup>Índice de saturação de alumínio

**Tabela 2** - Valores de referência dos teores dos nutrientes para interpretação dos resultados de análises de tecidos foliares em seringueira adulta

| Nutrientes minerais              | Autores                         |                             |                                |                           |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
|                                  | Cantarutti <i>et al.</i> (2007) | Garcia <i>et al.</i> (1999) | Malavolta <i>et al.</i> (1997) | Raij <i>et al.</i> (1997) |
| Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> ) | 26-35                           | 30-35                       | 26-35                          | 29-35                     |
| Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )    | 1,6-2,3                         | 2,0-2,5                     | 1,6-2,3                        | 1,6-2,5                   |
| Potássio (g kg <sup>-1</sup> )   | 10-14                           | 12-15                       | 10-14                          | 10-17                     |
| Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )     | 10-14                           | 12-15                       | 7,6-8,2                        | 10-17                     |
| Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )   | 1,7-2,5                         | 2,4-4,0                     | 1,7-2,4                        | 1,7-2,5                   |
| Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )    | 1,8-2,6                         | 1,4-2,6                     | 1,8-2,6                        | 1,8-2,6                   |
| Boro (mg kg <sup>-1</sup> )      | 20-70                           | 20-70                       | 20-70                          | 20-70                     |
| Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )     | 10-15                           | 10-30                       | 10-15                          | 10-15                     |
| Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )     | 70-90                           | 66-200                      | 70-90                          | 50-120                    |
| Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )  | 15-40                           | 40-200                      | 15-40                          | 40-150                    |
| Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )     | 20-30                           | 25-50                       | 20-30                          | 20-40                     |

A redistribuição dos nutrientes minerais foi calculada comparando-se os teores dos nutrientes na folha senescente com os teores nas folhas maduras (estádio D), de acordo com Attiwill *et al.* (1978):

$$\text{Redistribuição (\%)} = \frac{\text{Teor da folha senescente} - \text{Teor da folha madura}}{\text{Teor da folha madura}} \times 100$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições em que a pesquisa foi realizada, observou-se que a concentração média dos nutrientes em folhas maduras (estádio D) foi de 32,0 g kg<sup>-1</sup> de N, 1,6 g kg<sup>-1</sup> de P, 7,7 g kg<sup>-1</sup> de K, 16,0 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 4,0 g kg<sup>-1</sup> de Mg e 3,6 g kg<sup>-1</sup> de S; 45,8 mg kg<sup>-1</sup> de B, 8,0 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 94,0 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 343,0 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, 24,0 mg kg<sup>-1</sup> de Zn.

Os teores de N, de P, de B, de Fe e de Zn encontrados nesta pesquisa se enquadram dentro da faixa considerada adequada por Cantarutti *et al.* (2007), Garcia *et al.* (1999), Malavolta *et al.* (1997) e Raij *et al.* (1997). O Ca, o S e o Mn tiveram teores acima dos considerados adequados. O Mg apresentou o seu teor adequado, segundo Garcia *et al.* (1999). No entanto, para os autores Raij *et al.* (1997), Malavolta *et al.* (1997) e Cantarutti *et al.* (2007), o teor encontrado de Mg está acima do adequado. O K e Cu foram os nutrientes que apresentaram teores inferiores.

O baixo teor de K encontrado nas folhas maduras do seringal em estudo pode estar relacionado às características químicas do solo em que o seringal está implantado, com a acidez elevada e com a capacidade de troca catiônica efetiva média, o que favorece a lixiviação do K, ocasionando a redução da disponibilidade do mesmo na solução do solo próximo à zona radicular (Santos *et al.* 2002). Além disso, o K<sup>+</sup> compete com vários cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática, principalmente com Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Malavolta *et al.* 1997). Assim, a menor absorção de potássio pelas plantas em estudo, possivelmente, se deve à baixa concentração desse íon na solução do solo e à maior absorção dos cátions que competem pelo mesmo sítio de absorção. Bataglia *et al.* (1999), em seringais no período de imaturidade, verificaram que a interação entre os nutrientes N, P e K dos fertilizantes aplicados correlacionou-se, negativamente, com os teores de K, e positivamente, com os de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> das folhas.

Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> encontravam-se altos nas folhas maduras do seringal em estudo, mesmo sob as condições de acidez do solo apresentando, assim, uma alta capacidade de absorção desses nutrientes. Esses resultados estão de acordo com Bataglia *et al.* (1988), os quais observaram que a disponibilidade de Ca e Mg às plantas não foi afetada pela acidez do solo.

A maior absorção de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, provavelmente, se deve à maior exigência da cultura a esses nutrientes. O cálcio é um dos nutrientes mais exigidos pela seringueira, sobretudo na

fase adulta, sendo esse nutriente associado à produtividade de borracha seca. Roque *et al.* (2004) verificaram que a aplicação de calcário superficialmente levou o teor de Ca<sup>2+</sup> na folha de seringueira e esse esteve associado à elevada produtividade de borracha seca. Esse elemento possui importância especial no desenvolvimento da raiz, sendo um dos componentes da parede celular, além disso, é indispensável à mitose no processo de divisão celular (Reis e Chepote 2008). Já o magnésio é de extrema importância para a produtividade da cultura, uma vez que, é um elemento constituinte da molécula de clorofila e desempenha um papel indispensável no processo da fotossíntese, funcionando como ativador de várias enzimas relacionadas ao metabolismo dos carboidratos e outras envolvidas na síntese dos ácidos nucleicos (Reis e Chepote 2008).

O alto teor de Mn encontrado nas folhas, possivelmente, se deve à alta disponibilidade desse no solo, 20,5 mg dm<sup>-3</sup>. Segundo Malavolta *et al.* (1997), sob condições de solo ácido, a disponibilidade de Mn é aumentada, devido à maior solubilidade dos compostos que o contém, favorecendo, assim, a sua absorção.

O teor de Cu no solo do seringal encontra-se alto, no entanto o teor foliar apresentou abaixo do mínimo requerido por Cantarutti *et al.* (2007), Garcia *et al.* (1999), Malavolta *et al.* (1997) e Raij *et al.* (1997). Amarante *et al.* (2010), analisando a composição química folhas de aninga, admitem que os baixos teores de cobre obtidos podem estar relacionados ao excesso de manganês, devido a uma relação inversa entre o Cu e o Mn. Esse baixo teor de cobre na folha de seringueira também pode estar relacionado ao acúmulo deste nas raízes (Malavolta *et al.* 1997), parte não analisada no presente estudo.

As concentrações dos macronutrientes nos diferentes estádios de desenvolvimento foliar da seringueira variaram em razão do estágio de desenvolvimento foliar (Figura 1).

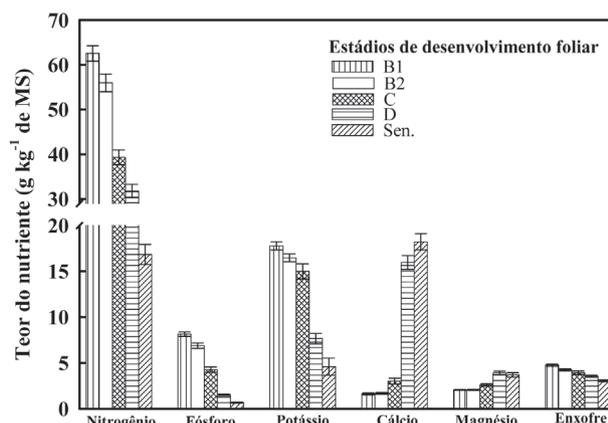


Figura 1 - Teores dos nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em diferentes estádios de desenvolvimento foliar de seringueira (clone RRIIM-600). As barras indicam o erro padrão da média de oito repetições

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio foi o elemento mais abundante nos diferentes estádios de desenvolvimento da folha de seringueira, exceto para o estágio senescente, em que o teor de cálcio superou o de nitrogênio.

Os teores de nitrogênio, de fósforo e de potássio reduziram significativamente com o avanço do desenvolvimento foliar (Figura 1). A redução nos teores de N, de P e de K sugere uma redistribuição desses nutrientes das folhas fontes, do estágio D e das folhas senescentes, para regiões de crescimento da planta, evidenciando, dessa maneira a alta capacidade destes macronutrientes serem redistribuídos na seringueira. Essa redistribuição dos nutrientes no interior da planta durante a senescência foliar é um processo fisiológico fundamental para a retenção dos nutrientes no vegetal (Silva *et al.* 1998). De acordo com Piatek e Allen (2000), as fontes primárias de nutrientes nos tecidos foliares são oriundas da oferta do solo e da retranslocação de tecidos senescentes.

O teor do Mg aumentou a partir do estágio C, não apresentando diferença significativa entre o estágio D e a folha senescente. Os íons de Mg têm papel fundamental no metabolismo da planta, pois, além de participar da constituição da molécula de clorofila, é o nutriente que mais atua na ativação enzimática, sendo co-fator de quase todas as enzimas fosforilativas, as quais são essenciais aos processos de respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA (Malavolta *et al.* 1997). O aumento no teor de Mg pode ter ocorrido, devido ao fato de que, no estágio C, as folhas se encontram pendentes, flácidas e com coloração verde clara, diferentemente das folhas no estágio D, que se encontram totalmente expandidas e amadurecidas. Possivelmente, o aparato fotossintético das folhas no estágio C não se encontrava completamente desenvolvido, exigindo, portanto, menores teores de Mg do que as folhas no estágio D. Miguel *et al.* (2007), estudando o comportamento fotossintético durante a ontogenia foliar de clones de seringueira, verificaram que, a partir do 37º dia de desenvolvimento foliar, início do estágio C, os teores de clorofila a, b e total aumentaram, atingindo valores até três vezes maiores no 57º dia (estádio D). Esses autores relataram ainda que no estágio D de desenvolvimento foliar, ocorre a maior atividade fotossintética líquida, eficiência fotoquímica do fotossistema II, eficiência de carboxilação, condutância estomática e transpiração. Embora o Mg seja um elemento móvel na planta, a sua concentração aumenta com o envelhecimento das folhas, provavelmente, por ter várias funções na planta, atuando em todos os estádios de crescimento da folha.

À semelhança dos nutrientes N, P e K, o enxofre teve o seu teor reduzido com o desenvolvimento foliar, apresentando maior teor no estágio B1 e o menor, na folha senescente (Figura 1), porém essa redução foi em menores proporções que a observada para o N, o P e o K. O enxofre, além de

ser um dos constituintes de aminoácidos, proteínas e de substâncias reguladoras de crescimento, como a biotina e a tiamina, desempenha um papel importante na estruturação de proteínas, por meio das ligações de dissulfeto (Reis e Chepote 2008). Silva *et al.* (1998), investigando a translocação de nutrientes em folhas de *Hevea brasiliensis* e em acículas de *Pinus oocarpa*, não encontraram um padrão definido de variação para o enxofre.

O nutriente cálcio apresentou um aumento significativo com o desenvolvimento foliar. Esse é um elemento estrutural, associado à lignificação das paredes celulares e, portanto, menos redistribuído na planta. Assim, a elevação nos teores de cálcio com o avanço da idade das folhas pode ser justificada pelo aumento na produção de constituintes estruturais da folha e pela baixa mobilidade desse elemento na planta (Caldeira *et al.* 2000; Vieira e Schumacher 2009).

Os teores dos micronutrientes (Figura 2) variaram em função dos estádios de desenvolvimento foliar, assim como os teores dos macronutrientes. O cobre e o zinco apresentaram uma redução significativa até o estágio D e esse estágio não diferiu da folha senescente. Resultado similar foi encontrado por Vieira e Schumacher (2009), em *Pinus taeda*.

Entre os micronutrientes, o Cu foi o que apresentou menor teor no desenvolvimento foliar da seringueira (Figura 2). Shorrocks (1965) constatou que o cobre é o micronutriente menos absorvido pela seringueira. Esta pesquisa corroborou o estudo de Shorrocks (1965), quanto ao teor de Cu.

O ferro e manganês aumentaram seus teores com o desenvolvimento foliar apresentando maiores teores na folha senescente. Em conformidade com Shorrocks (1965), o ferro é o micronutriente mais absorvido, seguido do manganês. No entanto, nas condições da presente pesquisa, o manganês apresentou o maior teor, possivelmente devido à sua maior disponibilidade no solo e à inibição da absorção do ferro. O

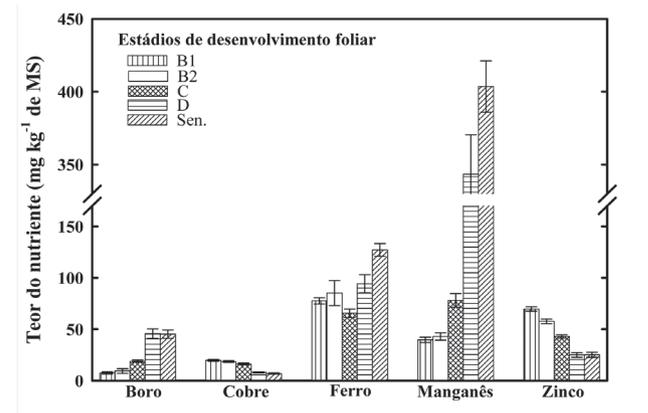


Figura 2 - Teores dos nutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), e zinco (Zn), em diferentes estádios de desenvolvimento foliar em seringueira (clone RRIM-600). As barras indicam o erro padrão da média de oito repetições

Fe tem um importante papel na ativação de enzimas, atuando como grupo prostético. Participa em reações de oxidorredução em hemoproteínas e proteínas não-hêmicas com ligação Fe-S e em ferredoxina, enzimas redutase, nitrogenase e sulfato redutase. Além disso, catalisa a biossíntese da clorofila, uma vez que faz parte de enzimas responsáveis pela sua formação (Malavolta *et al.* 1997). O Mn é essencial à síntese de clorofila e atua na ativação de enzimas, tendo papel crucial no fotossistema II, sendo responsável pela fotólise da água (Malavolta *et al.* 1997). Magalhães e Blum (1999), avaliando a concentração e a distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais, na Amazônia ocidental, constataram que, em todas as espécies estudadas, os teores de Fe e de Mn foram maiores em folhas maduras do que em folhas novas e senescentes, com exceção da espécie *Gmelina arborea*, em que o teor de Mn foi maior em folhas jovens. Resultado semelhante foi observado por Vieira e Schumacher (2009), em *Pinus taeda*.

O boro apresentou um comportamento semelhante ao ferro e ao manganês, ou seja, um aumento com o desenvolvimento foliar. No entanto o teor de B no estágio D e nas folhas senescentes não diferiu. O boro é um nutriente imóvel na planta, assim como o cálcio, portanto, o seu incremento com o desenvolvimento foliar pode ser justificado pela sua imobilidade.

A redistribuição dos nutrientes é apresentada na Tabela 3. Todos os macronutrientes foram redistribuídos das folhas senescentes para os órgãos em crescimento, exceção feita para o Ca, o qual acumulou com o desenvolvimento foliar. O teor do Ca aumentou em 14,2% em relação ao observado no estágio inicial de formação da folha, evidenciando, assim, a sua imobilidade na planta. Os macronutrientes mais redistribuídos nas folhas de seringueira foram: N, P e K. Esta pesquisa encontrou percentuais de redistribuição em seringueiras semelhantes aos encontrados por Rodrigues *et al.* (2000), os quais avaliaram as concentrações e a redistribuição de nutrientes em folhas em *H. brasiliensis* e *P. oocarpa*.

A redistribuição dos micronutrientes não apresentou um padrão bem definido em função do estágio de desenvolvimento foliar, exceto para o Cu, que apresentou uma redistribuição de 12,7% e para o Fe e Mn, que acumularam 17,5% e 35,0%, respectivamente, com o desenvolvimento foliar.

**Tabela 3** - Redistribuição dos nutrientes (%) nas folhas de seringueira (clone do RRM-600)

| Redistribuição (%) |       |       |       |      |       |      |       |       |       |      |
|--------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| N                  | P     | K     | Ca    | Mg   | S     | B    | Cu    | Fe    | Mn    | Zn   |
| -47,1              | -55,0 | -40,0 | +14,2 | -5,2 | -13,9 | -1,2 | -12,7 | +35,0 | +17,5 | +0,9 |

A ordem relativa do teor de macronutrientes nas folhas maduras (estádio D) de seringueira encontrada na presente pesquisa foi: N>K>Ca>Mg>S>P. Esse resultado diverge dos encontrados por Shorrocks (1979), que apresentou a seguinte ordem: N>K>Ca>Mg>P>S e por Rodrigues *et al.* (2000) e Silva *et al.* (1998), que apresentaram a ordem K>N>Ca>P>S>Mg. A ordem relativa do teor de micronutrientes nas folhas maduras (estádio D) de seringueira encontrada na presente pesquisa foi: Mn>Fe>Zn>B>Cu. Essa ordem dos teores dos nutrientes pode variar em função do clone, da fase fenológica que a planta se encontra, das condições edafoclimáticas e das práticas de manejo adotadas no seringal (Malavolta *et al.* 1997).

## CONCLUSÕES

Os teores dos nutrientes N, P, K, S, Cu e Zn reduziram com o desenvolvimento foliar da seringueira. Por outro lado, os teores de Ca, Mg, B, Fe e Mn aumentaram, sendo significativamente inferiores nas folhas jovens.

A redistribuição de nutrientes em folhas de seringueira é maior para os elementos N, P, K, S e Cu.

A ordem relativa do teor de macronutrientes nas folhas da seringueira encontrada foi: N>K>Ca>Mg>S>P e, para micronutrientes, a ordem relativa observada foi: Mn>Fe>Zn>B>Cu.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) as bolsas de doutorado e de iniciação científica e o auxílio financeiro.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Amarante, C.B.; Muller, R.C.S.; Dantas, K.G.F.; Alves, C.N.; Muller, A.H.; Palheta, D.C. 2010. Composição química e valor nutricional para grandes herbívoros das folhas e frutos de aninga (*Montrichardia linifera*, Araceae). *Acta Amazonica*, 40: 729-736.
- Attwill, P.M.; Guthrie, H.B.; Leuning, R. 1978. Nutrient cycling in a *Eucalyptus oblique* (L'Hérit) forest. I. Litter production and nutrient return. *Australian Journal of Botany*, 26: 79-91.
- Bataglia, O.C.; Cardoso, M.; Carretero, M.V. 1988. Situação nutricional de seringais produtivos no Estado de São Paulo. *Bragantia*, 47: 109-123.
- Bataglia, O.C.; Santos, W.R.; Gonçalves, P.S.; Segnini Junior, I.; Cardoso, M. 1999. Efeito da adubação NPK sobre o período de imaturidade da seringueira. *Bragantia*, 58: 363-374.
- Caldeira, M. V. W.; Schumacher, M. V.; Pereira, J. C.; Della-Flora, J. B.; Santos, E. M. 1999. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acácia mearnsii* de Wild no Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 9: 19-24.

- Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V.; Tedesco, N.; Santos, E. M. 2000. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild. V. quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* de Wild. procedência australiana. *Revista Ciência Rural*, 30: 977-982.
- Cantarutti, R.B.; Barros, N.F.; Martinez, H.E. P.; Novais, R.F. 2007. XIII - Avaliação da fertilização do solo e recomendação de fertilizantes, p. 769-850. In: Novais, R.F.; Alvarez V.; V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, Brasília, Distrito Federal. 212 pp.
- Garcia, N.C.P.; Pereira, A.V.; Lima, P.C.; Salgado, L.T.; Carvalho, J.G.; Brito, S.A.; Carmo, C.A.F.S. 1999. Seringueira, p. 317-322. In: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, Minas Gerais.
- Gonçalves, P.S., Bataglia, O.C.; Ortolani, A.A.; Fonseca, F.S. 2001. *Manual de Heveicultura para o estado de São Paulo*. Instituto Agrônomo de Campinas/Fundação Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, São Paulo. 78pp. (Boletim Técnico, 189).
- Hallé, F.; Oldeman, R.A.; Tomlinson, P.B. 1978. *Tropical trees and forest*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 441 pp.
- Lusk, C.H.; Matus, F.; Moreno-Chacón, M.; Saldaña, A.; Jiménez-Castillo, M. 2003. Seasonal variation in leaf litter nutrient concentrations of valdivian rainforest trees. *Gayana Botánica*, 60: 35-39.
- Magalhães, L.M.S.; Blum, W.E.H. 1999. Concentration and distribution of nutrients in leaves of forest species, in eastern Amazonia. *Floresta e Ambiente*, 6: 127-137.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Potafos, Piracicaba, São Paulo. 319 pp.
- Miguel, A.A.; Oliveira, L.E.M.; Cairo, P.A.R.; Oliveira, D. M. 2007. Photosynthetic behaviour during the leaf ontogeny of rubber tree clones [Hevea brasiliensis (Wild. ex. ADR. de Juss.) Muell. Arg.], in Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31: 91-97.
- Murbach, M.R.; Boaretto, A.E.; Muraoka, T.; Souza, E.C.A. 2003. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. *Scientia Agricola*, 60: 353-357.
- Piatek, K.B.; Allen, H.L. 2000. Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation, and transfer to litter in 15-year-old *Pinus taeda*. *Forestry Ecology Management*, 129: 143-152.
- Pilau, F.G.; Marin, F.R.; Camargo, M.B.P.; Assad, E.D.; Pinto, H.S.; Barbarisi, B.F. 2007. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15: 161-168.
- Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2 ed. Instituto Agrônomo de Campinas/Fundação Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, São Paulo. 285 pp. (Boletim Técnico, 100).
- Reis, E.L.; Chepote, R.E.S. 2008. Solos e nutrição da seringueira. p. 251-310. In: Alvarenga, A. de P.; Carmo, C.A.F.S. *Seringueira*. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Viçosa, Minas Gerais.
- Rodrigues, M.R.L.; Neves, C.S.V.L.; Silva, A.C.; Santos, A.R.; Paiva, A.V.; Mello, S.L.M. 2000. Concentração e redistribuição de nutrientes em folhas de Hevea brasiliensis e Pinus oocarpa. *Semina: Ciências Agrárias*, 21: 61-66.
- Roque, C. G.; Prado, R. M.; Natale, W.; Beutler, A.N.; Centurion, J. F. 2004. Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 485-490.
- Santos, A.B.; Fageria, N.K.; Zimmermann, F.J.P. 2002. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6: 12-16.
- Silva, A.C.; Santos, A.R.; Paiva, A.V. 1998. Translocação de nutrientes em folhas de Hevea brasiliensis (clone) e em acículas de Pinus oocarpa. *Revista da Universidade de Alfenas*, 4: 11-18.
- Shorrocks, V.M. 1965. Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of Hevea brasiliensis: I. growth and nutrient content. *Journal of the Rubber Research Institute of Malasia*, 19: 1-8.
- Shorrocks, V.M. 1979. *Deficiências minerais em Hevea e plantas de cobertura associadas*. Superintendência da Borracha, Brasília, Distrito Federal. 76 pp.
- Vieira, M.; Schumacher, M.V. 2009. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de Pinus taeda L. *Ciência Florestal*, 19: 375-382.
- Virgens Filho, A.C.; Moreira, A.; Castro, P.R.C. 2003. Características físicas e químicas do látex e crescimento da seringueira em função da calagem e da adubação NPK em dois sistemas de exploração. *Ciência e Agrotecnologia*, 27: 1237-1245.

Recebido em: 15/09/2011

Aceito em: 30/11/2011

