

Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade

Biogeochemistry of a small catchment after the clearcutting of a 7-year old *Eucalyptus* plantation

Ana Rosa Tundis Vital
Walter de Paula Lima
Fabio Poggiani
Fausto Rodrigues Alves de Camargo

RESUMO: Neste trabalho estudaram-se os efeitos da microbacia sobre a ciclagem de nutrientes e as quantidades de nutrientes minerais exportados com a biomassa lenhosa, após o corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* Smith aos 7 anos de idade. O experimento foi desenvolvido no Vale do Paraíba, Fazenda Bela Vista III de propriedade da Votorantim Celulose e Papel S/A., Município de Santa Branca, Estado de São Paulo, entre as coordenadas 25° 25' de latitude sul e 45° 54' de longitude a oeste de Greenwich, com altitude média de 695m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como temperado de inverno seco, onde a precipitação média anual é de 1.562 mm. O solo da região é predominantemente podzólico Vermelho amarelo álico Tb A moderado e textura média argilosa. A microbacia experimental possui uma área de 7,0 ha, sendo 3,3% da área de mata ciliar, com uma declividade média de 19,6%. O período experimental total foi de oito anos, tendo a comparação sido feita entre os dados dos sete primeiros anos antes do corte raso da plantação de eucalipto, aos sete anos de idade, com os obtidos durante o primeiro ano após o corte. Amostras de água da chuva e do deflúvio foram coletadas semanalmente durante o período experimental, e foram analisados NO₃, K, Ca, e Mg, com o propósito de quantificar a ciclagem geoquímica da microbacia. A quantidade de nutrientes exportados com a colheita da biomassa lenhosa foi obtida através da estimativa da biomassa arbórea e o conteúdo de nutrientes (fitomassa e mineralomassa, respectivamente). O total de biomassa aérea produzida pela plantação de *E. saligna* para os sete anos totalizou 178.1 t.ha, assim distribuídos: 145.2t para lenho, 14.7t para casca, 13.6t para os ramos e 4.6t para as folhas. Os nutrientes contidos na biomassa total foram: N = 200.8Kg, P = 52.8Kg, K = 308.3Kg, Ca = 796.1Kg, Mg = 133.33kg, and S = 3.06Kg. A concentração de nutrientes para as diferentes partes da árvore, respectivamente, lenho, casca, ramos e folhas, foram as seguintes: N 0.07, 0.21, 0.19, 0.92 (%); P 0.02, 0.09, 0.04, 0.11 (%); K 0.11, 0.38, 0.34, 1.01 (%); Ca 0.10, 3.34, 0.90, 0.84 (%), Mg 0.03, 0.39, 0.15, 0.26 (%); S 0.01, 0.05, 0.02, and 0.13 (%). Para o período de oito anos, o total de entradas via precipitação, em Kg .ha⁻¹, foram as seguintes: N=77.6, K=32.2, Ca=46.7 e Mg=11.9. Para o mesmo período, o total de entradas pelo deflúvio foram: N=7.1, K=24.1, Ca=31.7 and Mg=7.4. Os resultados são discutidos em termos de manutenção da produtividade de sítio, considerando as quantidades trocáveis existentes no solo da microbacia, bem como o método de colheita: árvore total versus somente lenho.

PALAVRAS-CHAVE: Microbacia, Balanço de nutrientes, Nutrientes exportados, Manejo sustentável

ABSTRACT: This work studied the effect on nutrient cycling and quantities of mineral nutrients exported with the woody biomass after the clearcutting of a 7-year old plantation of *Eucalyptus saligna* Smith. The experiment was carried out on lands of Votorantim Celulose e Papel S/A, Fazenda Bela Vista III, located in the municipality of Santa Branca, State of São Paulo, with coordinates 25° 25' South and 45° 54' West from Greenwich, and 695m average altitude. The climate is classified as Cwa type, according to Köppen, and is characterized by dry winter temperatures, and by an annual average precipitation of 1,562mm. The soils in the region are predominantly of the Hapludult type. The experimental catchment has an area of 7.0 ha, 3.3% of which is covered with riparian vegetation, with average slope of 19.6%. The total experimental period comprised eight years, with comparison of the results being made between data from the 7 years before the clearcutting and data obtained during the first year after the clearcutting. Rain water and streamflow samples were obtained weekly during the experimental period, and were analyzed for N, K⁺, Ca⁺⁺, and Mg⁺⁺, with the purpose of quantifying the catchment geochemical cycling. The amount of nutrients exported with the harvesting of the woody biomass was obtained from the estimates of the arboreous biomass and the nutrients content (phytomass and mineralmass, respectively). The total, above soil biomass production of the *E. saligna* plantation for the seven years amounted to 178.1 t.ha, distributed as follows: 145.2t as wood, 14.7t as bark, 13.62t as branches and 4.6t as leaves. The nutrients contents in the total biomass were: N 200.8Kg, P 52.8Kg, K 308.3Kg, Ca 796.1Kg, Mg 133.33kg, and S 3.06Kg. The nutrient concentrations for the different parts of the tree, respectively, wood, bark, branches, and leaves, were as follows: N 0.07, 0.21, 0.19, 0.92 (%); P 0.02, 0.09, 0.04, 0.11 (%); K 0.11, 0.38, 0.34, 1.01 (%); Ca 0.10, 3.34, 0.90, 0.84 (%); Mg 0.03, 0.39, 0.15, 0.26 (%); S 0.01, 0.05, 0.02, and 0.13 (%). For the entire eight-year period, total inputs in precipitation, in Kg.ha⁻¹, were as follows: N=77.6, K=32.2, Ca=46.7 and Mg=11.9. For the same period, total outputs in streamflow were: N=7.1, K=24.1, Ca=31.7 and Mg=7.4. Results are discussed in terms of maintenance of site productivity considering the exchangeable amount contained in the soil catchment, as well as the harvesting method, that is whole-tree x wood only harvesting.

KEYWORDS: Catchments, Nutrient balance, Exported nutrients, Sustainable management

INTRODUÇÃO

A evolução do uso do solo ao longo do Vale do Paraíba, semelhantemente ao que ocorreu em algumas outras regiões do País, envolveu a transformação da cobertura florestal original através da ocupação cíclica da cana-de-açúcar, seguida da cultura cafeeira e, presentemente, da pecuária leiteira. Todavia, em função da topografia acidentada da região, esta transformação da paisagem original conduziu a uma diminuição da capacidade natural de suporte do solo, resultante da erosão, da exaustão da fertilidade e da degradação de microbacias.

Presentemente, o reflorestamento com eucalipto é uma atividade crescente no Vale do Paraíba, principalmente para atender à demanda industrial de madeira para a produção de celulose e papel.

Do ponto de vista ambiental, o reflorestamento de eucalipto, em geral, é uma atividade polêmica, em função de uma opinião pública generalizada que lhe atribui efeitos ecológicos adversos (Lima, 1993).

Para assegurar a sustentabilidade do manejo florestal de plantações de eucalipto, o pla-

nejamento do uso do solo deve envolver, além de várias outras medidas, a adoção das chamadas práticas de manejo de bacias hidrográficas (Brooks et al., 1991; Whitehead e Robinson, 1993; Montgomery et al., 1995). Esta estratégia ecossistêmica de uso dos recursos naturais possibilita a manutenção da saúde da microbacia, a qual envolve, entre outros aspectos, a preocupação para com a manutenção de sua capacidade natural de suporte, ou seja, do potencial produtivo ao longo das sucessivas rotações.

Em face da complexidade que envolve os processos que ocorrem na microbacia, inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos para entender a dinâmica do ciclo geoquímico de nutrientes, assim como as inter-relações e implicações ecológicas do manejo florestal.

Os trabalhos pioneiros ao longo desta linha foram, sem dúvida, os realizados nas microbacias experimentais de “Hubbard Brook”, nos Estados Unidos (Bormann e Likens, 1967; Likens et al., 1977).

A entrada de nutrientes por processos naturais (precipitação) apresenta alta variabilidade espacial e temporal, estando relacionada com distância da costa marítima, proximidade de fontes de poluição, queimadas, e regime pluviométrico (Bruijnzeel, 1991; Coutinho, 1979; Ross e Lindberg, 1994).

Semelhantemente, a saída de nutrientes em solução na água do deflúvio da microbacia tem sido verificada como sendo bastante variável em função da localização da bacia, bem como, para uma dada microbacia, em função da estação do ano e do uso do solo. Os resultados, também, têm sido divergentes quanto à ordem de saída dos nutrientes, pelo deflúvio e quanto ao balanço entre entradas e saídas (Guthrie et al., 1978; Flinn et al., 1979; Arcova et al., 1985; Semkin et al., 1994; Lima et al., 1996). Todavia, há muita concordância nos trabalhos publicados no que diz respeito à relação direta entre as práticas de manejo florestal e as alterações

nas concentrações de nutrientes na água do deflúvio, principalmente em termos de aumento nas saídas de nutrientes da microbacia (Dahlgren e Driscoll, 1994; Feller e Kimmins, 1984; Hopmans et al., 1987; Hornbeck e Kropelin, 1982; Hornbeck et al., 1975; Malmer e Grip, 1994; Rowe e Fahey, 1991; Stevens et al., 1995; Waterloo, 1994).

Sem dúvida, estas alterações podem, a médio e longo prazos, comprometer a capacidade natural de suporte do solo, e conseqüentemente, a sustentabilidade do manejo florestal (Bargali e Singh, 1991; Cuevas e Medina, 1996; Dahlgren e Driscoll, 1994; Feller e Kimmins, 1984; Hansen e Baker, 1979; Hornbeck et al., 1975; Jorgensen e Wells, 1986; Poggiani, 1987; Tamm, 1995).

Desta forma, a busca do manejo florestal sustentável deve levar em conta a necessidade do contínuo monitoramento deste importante suporte, que é a manutenção do potencial produtivo do solo. Neste sentido, a microbacia experimental, a partir do conhecimento detalhado de seu funcionamento hidrológico adquirido em centenas de trabalhos já realizados, é hoje considerada como metodologia bastante adequada para esse monitoramento, uma vez que ela permite quantificar os processos, os armazenamentos e os fluxos dos nutrientes ao nível ecossistêmico, ou seja a biogeoquímica da microbacia (Whitehead e Robinson, 1993; Moldan e Cerny, 1994).

O monitoramento da biogeoquímica da microbacia, além de envolver a medição das entradas e saídas naturais de nutrientes, deve ter em conta também, a quantificação do armazenamento, além das entradas estratégicas e dos nutrientes exportados com a colheita da biomassa.

A quantidade de nutrientes em um ecossistema florestal é representada pela somatória dos nutrientes contidos nos diferentes compartimentos das árvores. Todavia, diferentes espécies acumulam diferentes quantida-

des de nutrientes, e normalmente o acúmulo de nutrientes acompanha o crescimento da biomassa arbórea (Pritchett e Fisher, 1987; Jorgensen e Wells, 1986; White, 1987).

No caso de plantações de eucalipto, vários trabalhos já realizados permitem inferir tanto sobre a expectativa de produção de biomassa, quanto o acúmulo de nutrientes e a exportação destes por ocasião da colheita florestal (Poggiani, 1987; Herbert e Robertson, 1991; Bargali e Singh, 1991; Schumacher e Poggiani, 1993).

O presente estudo foi conduzido em uma microbacia experimental no Vale do Paraíba. Após a conclusão da sua instalação, que incluiu

a construção de um vertedor triangular ao qual foi acoplado um linógrafo, e a instalação de vários pluviômetros e dispositivos para a coleta de amostras de água da chuva e do deflúvio, a microbacia, antes coberta com pastagem degradada, foi reflorestada com *Eucalyptus saligna*. À idade de 7 anos, a plantação de eucalipto sofreu corte raso, após o que as medições continuaram por mais um ano. Os resultados comparativos do balanço hídrico e de qualidade da água para os períodos antes e depois do corte raso foram relatados em Vital (1996). No presente trabalho procurou-se analisar a biogeoquímica da microbacia para todo o período experimental de 8 anos.

MATERIAIS

A área experimental localiza-se no município de Santa Branca, Estado de São Paulo. Trata-se de uma microbacia hidrográfica de 7,0 ha, a qual faz parte das cabeceiras da bacia do Paraíba do Sul, localizada na Fazenda Bela Vista III, pertencente à VCP/Jacareí. Sua coordenada geográfica é de 23°25' de latitude Sul, e 45°54' de longitude a Oeste de Greenwich. Possui altitude que varia de 665m a 725m, e declividade média de 19.6%.

A região apresenta precipitação média anual de 1.562mm (DAEE, 1993). A temperatura máxima média é de 23 °C e a temperatura mínima média é de 17 °C, resultando em uma temperatura média compensada em 22°C (Nascimento e Pereira, 1988). Segundo a classificação de Köppen, a área compreende o tipo climático Cwa, que corresponde ao clima temperado de inverno seco.

A geologia é arqueana, pertencente ao complexo Paraíba do Sul, que abrange um agrupamento compostos por gnaisses bandados, migmatitos, lentes de quartzitos, anfíbolitos, mármores e gnaisses granitóides (Brasil, 1983).

Os solos da área experimental pertencem à classe do podzólico Vermelho-Amarelo álico Tb A moderado textura média/argilosa (Vital, 1996). A microbacia apresenta como material de origem a cobertura colúvio/aluvionar Pleistocênico sobre a sericita-xisto.

A vegetação original de região era do tipo floresta ombrófila densa (Brasil, 1983). Atualmente a influência antrópica, que resultou na substituição da vegetação original por pastagens e reflorestamentos de eucaliptos, alterou completamente a fisionomia vegetal (Ventura et al., 1965/1966).

A fazenda florestal onde se encontra localizada a microbacia foi reflorestada em abril de 1987. A espécie utilizada foi o *Eucalyptus saligna* Smith., plantado em espaçamento de 3m x 2m, com adubação de base (200 gramas/cova) de super fosfato simples.

O preparo do solo consistiu em roçada, queimada e aração a 20cm de profundidade com arado de disco. A microbacia teve a mata ciliar preservada, a qual ocupa cerca de 3% de sua área.

MÉTODOS

O período de observação foi de junho de 1987 a maio de 1995.

Em março de 1987, foi instalada uma estação fluviométrica dotada de um vertedouro triangular de 90° e um linígrafo modelo Hidrologia para a medição contínua da vazão.

A tabulação dos dados de precipitação diária para a microbacia foi feita a partir dos dados obtidos por um pluviógrafo tipo Helmann, de rotação semanal, e três pluviômetros tipo Ville de Paris, que constituíram a rede para a determinação, pela média aritmética, da precipitação semanal.

O procedimento para a determinação da vazão, a tabulação do diagrama do pluviógrafo e linígrafo, e a amostragem da água da chuva, são descritos por (Vital, 1996).

Todas as análises químicas foram feitas no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba/SP.

A determinação dos elementos N, K, Ca, e Mg foi realizada através da espectrofotometria de absorção atômica, utilizando equipamento marca PERKIN ELMER modelo 272 (Girolito, 1968). O NO_3 foi analisado por colorimetria, pelo método da brucina.

Através da medição da precipitação pluviométrica e do deflúvio foi determinada a densidade de fluxo de nutrientes, pela determinação da concentração iônica dos nutrientes N, K, Ca e Mg na água da chuva e do deflúvio, como descrito por Vital (1996).

Em junho de 1994, a microbacia foi submetida ao corte raso da plantação de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade. Previamente ao corte, também foram obtidos os dados amostrais de biomassa lenhosa, bem como o estoque de nutrientes na biomassa aérea.

O processo de colheita florestal envolveu a prática convencional, com 1 operador e 1 aju-

dante (o operador derruba, desgalha e traça no comprimento 2,40m). O descascamento foi realizado na fábrica.

Estimativa da fitomassa e mineralomassa da parte aérea das árvores

Primeiramente foi feito um inventário da área experimental, com o objetivo de caracterizar o povoamento de eucalipto no que diz respeito à variação existente entre os parâmetros diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total e comercial.

Para tal finalidade foram escolhidas, ao acaso, 4 parcelas de 20 x 20m (400m²), totalizando uma área de 1600m². Todas as árvores vivas tiveram seus diâmetros e suas alturas devidamente mensurados. As alturas foram estimadas a partir da relação hipsométrica ajustada para a área experimental. Para o cálculo do volume, foi utilizada equação volumétrica, também ajustada para o local.

As árvores foram divididas em 5 classes, de diâmetro: 3 a 8,0; de 8,1 a 13,0; de 13,1 a 18,0; de 18,1 a 23,0; de 23,1 a 28,0cm).

Para amostragem, foram escolhidas 5 árvores por parcela inventariada e 4 árvores por classe de diâmetro, perfazendo assim, um total de 20 árvores (sem doença e sem defeito), com a finalidade de determinar através de pesagem no campo, a massa de cada um dos seus componentes (lenho, casca, ramos e folhas).

Após o corte, foram medidos o diâmetro (DAP), altura total e altura comercial das árvores, que em seguida, foram submetidas a uma cubagem rigorosa (m³/árvore), onde foram determinados: volume total com casca, volume total sem casca, volume comercial com casca e volume comercial sem casca, segundo os métodos desenvolvidos pela empresa, semelhante ao utilizado por Couto e Bastos (1987). Na parte intermediária da copa, levando-se em

conta os quatro pontos cardeais, foram coletadas amostras de folhas e galhos para análise nutricional. Todos os compartimentos tiveram seu peso total determinado. Em função da altura comercial da árvore, o tronco foi dividido em 5 partes proporcionais (0, 25, 50, 75 e 100%), das quais foi retirado 1 disco por fração.

Todas as amostras de folhas e ramos utilizadas para a determinação do teor de umidade foram pesadas ainda no campo, com auxílio de uma balança de precisão. Após a pesagem, devidamente identificadas, foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente levadas para o laboratório.

A estimativa da densidade básica da madeira do tronco, como um todo, foi determinada a partir da densidade básica encontrada para cada disco (lenho+casca), utilizando-se o método da balança hidrostática, segundo a Norma TAPPI (T 258om – 89), conforme descrito em Vital (1996).

De cada um dos discos foram retiradas duas amostras (cunhas em sentidos opostos), as quais foram saturadas em tanque com água e pesadas, separando-se a casca do lenho. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa à temperatura de 100°C, até peso constante.

Para a determinação do peso da matéria seca do lenho e da casca de cada tronco, utilizou-se a média dos teores de umidade encontrados para as cunhas de madeira e dos semi-anéis de cascas retiradas a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco.

Para a determinação do peso da matéria seca das folhas e dos ramos foi utilizado o valor dos teores de umidade encontrados nas amostras e o peso úmido das mesmas retiradas em quatro pontos ortogonais da parte intermediária da copa das árvores.

As mesmas amostras que já haviam sido usadas anteriormente para a umidade das fo-

lhas e dos ramos foram utilizadas para determinar a concentração de nutrientes nestes compartimentos. O tronco foi amostrado utilizando-se duas cunhas de madeira (em sentidos opostos), de igual tamanho, de cada um dos discos retirados das árvores nas diferentes alturas do tronco. Estes discos foram separados em lenho e casca. Cada uma das cunhas e cada um dos semi-anéis da casca foram fragmentadas separadamente. Todo o material também foi moído separadamente em moinho tipo Wiley e pesado numa peneira de malha 20 e seco em estufa. Amostras do pó assim obtidas foram levadas ao laboratório para extração com uma mistura de ácidos sulfúrico, nítrico e perclórico; os elementos contidos nos extratos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Para a determinação dos elementos químicos de cada componente da árvore usou-se a metodologia de Sarruge e Haag (1974).

Objetivando determinar a biomassa dos componentes lenho, casca, ramos e folhas das árvores, por hectare, nas parcelas de *E. saligna*, foram testadas várias equações matemáticas correlacionando o peso de cada um desses componentes com as variáveis dendrométricas DAP e altura total, mensuradas nas 20 árvores (cinco árvores por parcela). Após a escolha do melhor modelo de equação matemática para cada componente, foi possível estimar o peso de biomassa de cada árvore amostrada.

Finalmente, aplicando-se as equações, obtidas a partir das 20 árvores amostrais, para os valores de H e DAP para as demais árvores nas parcelas, foi possível estimar a fitomassa arbórea total ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para cada componente das árvores (lenho, casca, ramos e folhas) e biomassa total.

Após a obtenção do peso de cada componente da biomassa arbórea e seu respectivo conteúdo médio de nutrientes, através da determinação da concentração de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores, foi pos-

sível estimar a quantidade dos nutrientes N, P, Ca, Mg e S existentes na fitomassa arbórea de cada uma das parcelas em estudo.

A quantidade de cada um dos elementos estudados foi calculada multiplicando-se a biomassa de cada compartimento pela sua concentração elementar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos em função do inventário florestal das parcelas amostrais da microbacia.

A Tabela 2 apresenta a fitomassa seca (Kg.ha⁻¹) e (%) do total na plantação de *E. saligna* aos 7 anos. Observa-se que o tronco (lenho+casca) representa 89,7% do total produzido, enquanto que a copa (ramos+folhas) representa apenas 10% da fitomassa total. Estes valores são similares às médias encontradas por Schumacher e Poggiani (1993) para três espécies de *Eucalyptus camaldulensis*, *grandis* e *torelliana*, com 9, 9, e 12 anos, respectivamente. Porém, com respeito à produção total de fitomassa (peso seco), estes valores mostram-se superiores aos encontrados por aqueles autores.

Em termos do conteúdo de nutrientes, verifica-se na tabela 3 que as folhas possuem a maior concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), e enxofre (S); na casca, por outro lado, foram encontradas as maiores concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Fato

semelhante foi observado por Schumacher e Poggiani (1993), no Brasil, em plantações florestais de *E. camaldulensis*, *E. grandis*, e *E. torelliana*. Poggiani (1985), também trabalhando com *E. saligna*, plantado sobre solo de baixa fertilidade, e coletando o material no final do período seco, observou que as maiores concentrações de Ca e Mg estavam na casca. Estes resultados indicam que o *E. saligna* é espécie bastante exigente com relação ao cálcio.

Observou-se que o lenho do tronco (Tabela 2), apesar de representar 81,5% da fitomassa, apresenta uma proporção relativamente baixa de elementos minerais quando comparado com a casca, ramos e folhas (Tabela 3). Porém, na Tabela 4, verifica-se que o lenho+casca juntos representam uma alta proporção de elementos minerais, principalmente Ca e Mg, do total de nutrientes da árvore como um todo. No caso de exploração florestal, principalmente o Ca demonstra ser um elemento crítico na ciclagem geoquímica dos nutrientes, já na primeira rotação.

Tabela 1. Valores dendrométricos do reflorestamento com *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade por ocasião da estimativa da biomassa.

(Dendrometric values observed to *Eucalyptus saligna* forestation aged 7 years.)

Altura Média (m)	DAP Médio (cm)	Área Basal (m ² /ha)	Árvores/ Parcela	Árvores /ha	Volume (st/ha)
21,06	14,11	28,18	62	1.536	411,15

Tabela 2. Fitomassa seca (Kg.ha⁻¹) e (%) do total em plantação de *E. saligna* aos 7 anos.

(Dry phytomass (Kg.ha⁻¹) and (%) of the total in the *Eucalyptus saligna* forestation to the 7-years age.)

N. de Árvore/ha	Lenho (%)	Casca (%)	Ramos (%)	Folhas (%)	Fitomassa Total
1.536	145180,48 (81,5)	14657,40 (8,2)	13615,25 (7,6)	4616,18 (2,6)	178069,31 (100)

Tabela 3. Concentração de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus saligna* Smith. aos 7 anos de idade.

(Nutrient concentrations in the different components of *Eucalyptus saligna* Smith. trees with aged 7-years.)

Componente	Nutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
LENHO	0,07	0,02	0,11	0,10	0,03	0,01
CASCA	0,21	0,09	0,38	3,34	0,39	0,05
RAMOS	0,19	0,04	0,34	0,90	0,15	0,02
FOLHAS	0,92	0,11	1,01	0,84	0,26	0,13

De posse dos dados das concentrações de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus saligna* (Tabela 3), a equação ajustada para a biomassa do lenho foi a que apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,993$), seguido da biomassa da casca ($R^2 = 0,951$) e ramos ($R^2 = 0,89$), já a equação de biomassa de folhas obteve um menor valor ($R^2 = 0,79$). No primeiro caso, isto revela um melhor ajuste dos dados de DAP e altura total, relativamente ao modelo testado, o que indica uma melhor precisão das estimativas deste componente. Este resultado é bastante compreensivo do ponto de vista biológico,

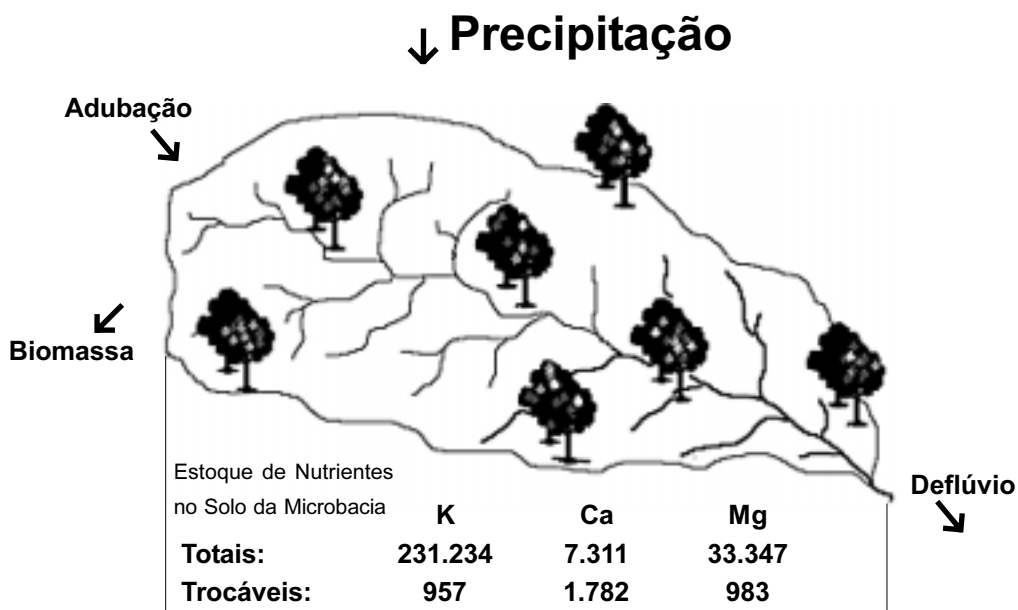
devido aos vários fatores, tanto genético como do ambiente, que podem interferir na formação e no crescimento dos ramos e folhas. Herbert e Robertson (1991) e Waterloo (1994), testando regressões lineares correlacionando DAP x altura para 10 espécies de *Eucalyptus* com a idade de 7 anos, observaram correlações significativas para todos os componentes da biomassa, porém com valor menor para o componente folhas.

As saídas de nutrientes através da exploração comercial (lenho+casca) representam 66,2% N, 81,1% P, 69,9% K, 79,7% Ca e 75,6% de Mg. Estes valores significam que as saídas

Tabela 4. Fitomassa arbórea e nutrientes estocados ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) nos diferentes componentes de *Eucalyptus saligna* Smith e suas respectivas porcentagens do peso total.

(Arboreal phytomass and nutrient storages ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) in the different *Eucalyptus saligna* Smith. tree parts and its respective total weight percentages.)

Comp.	Biomassa $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (%)	Elementos – $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (%)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		LENHO	145180,48 (81,5)	102 (50,63)	29 (55,04)	160 (51,8)	145 (18,24)
CASCA	14657,40 (8,2)	31 (15,33)	13 (25,00)	56 (18,07)	490 (61,5)	57 (42,94)	7 (23,98)
RAMOS	13615,25 (7,6)	26 (12,89)	6 (10,33)	46 (15,01)	123 (15,39)	20 (15,34)	3 (8,9)
FOLHAS	4616,18 (2,6)	43 (21,16)	5 (9,63)	47 (15,12)	39 (4,87)	12 (9,01)	6 (19,63)
TOTAL (100%)	178069,31	200,75	52,76	308,31	796,06	133,13	30,57



	N	K	Ca	Mg
ENTRADAS:				
Precipitação	67.9	27.3	37.1	9.1
Adubação	30.0	12.0	61.0	-
TOTAL	97.9	39.3	98.1	9.1
	N	K	Ca	Mg
SAÍDAS:				
Deflúvio	5.6	20.3	26.6	6.3
Lenho	101.6	159.7	145.2	43.6
Casca	30.8	55.7	489.6	57.2
TOTAL	138.0	235.7	661.4	107.1

	N	K	Ca	Mg
BALANÇO:				
Lenho + Casca	- 40.1	- 196.4	- 563.3	- 98.0
Lenho	- 9.3	- 140.7	- 73.7	- 40.8

Figura 1. Valores totais, em kg/ha, do estoque de nutrientes existentes no solo da microbacia, assim como do balanço anual, ao nível da microbacia, em termos totais, para o período de junho de 1987 a maio de 1995.

(Total nutrients in the catchment soil, expressed in kg/ha, and its respective annual balance, for the period from June 87 to May 95.)

foram duas vezes maiores para N e K, três para Mg e quatro para P e Ca do que a quantidade destes elementos deixados no campo (folhas+ramos), os quais representam: 34,2% N, 19,9% P, 30,1% K, 20,3% Ca e 24,3% de Mg.

De acordo com Hornbeck et al. (1975), Whitehead e Robinson (1993), Dahlgren e Driscoll (1994) e Bruenig (1996), o corte raso é uma operação silvicultural drástica, que pode

ocasionar diminuição do capital de nutrientes do solo, e, por conseguinte, uma diminuição da produtividade florestal nas rotações sucessivas. Esta possibilidade é melhor ilustrada em termos do balanço geoquímico da microbacia, conforme mostrado na Figura 1, para todo o período experimental, a qual mostra a quantificação ecossistêmica das entradas e saídas de nutrientes.

Levando-se em conta o estoque de nutrientes trocáveis existentes no perfil de 200cm de profundidade do solo da microbacia, e desconsiderando outros fatores de adição e de perdas de nutrientes, observa-se que este estoque do solo seria esgotado a partir de 3,2 rotações para o caso do K, de 1,8 rotações para Ca, e 8,3 rotações para Mg, no caso da colheita presentemente adotada (lenho+casca).

No presente estudo, mais crítico é a situação do Ca, que se encontra estocado em elevada porcentagem na biomassa das árvores, principalmente na casca, a qual representa 61,5% do estoque de nutrientes estocados na biomassa das árvores acima do solo. Levando-se em conta a situação do lenho+casca reti-

rados do sítio, esta representa uma perda de 79,74% do total disponível.

Estes resultados mostram que o monitoramento da biogeoquímica a nível da microbacia possibilita uma visão integrada e sistêmica do balanço de nutrientes ao longo das sucessivas rotações florestais. Esta informação, sem dúvida, é relevante do ponto de vista da sustentabilidade, uma vez que diz respeito à manutenção de um de seus aspectos mais importantes, que é a produtividade do sítio. Como mostra a Figura 1, a retirada apenas do lenho na colheita florestal é uma prática mais compatível com a sustentabilidade, comparativamente à retirada do lenho e da casca, ou, neste sentido, da árvore toda, que aumenta ainda mais o balanço negativo.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

ANA ROSA TUNDIS VITAL é pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA / Coordenadoria de Pesquisa em Geociências - Av. André Araújo, 2936. Petrópolis - Manaus, AM - 69083 - 000 - Fone: (092) 643-3164; 643-3169 - Fax: (092) 643-3171 - E-mail: artvital@inpa.gov.br

WALTER PAULA LIMA é professor titular da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP / Departamento de Ciências Florestais - Av. Pádua Dias, 11. Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400 - 970 - Fone: (019) 430-8645 - Fax: (019) 430-8666 - E-mail: wplima@carpa.ciagri.usp.br

FÁBIO POGGIANI é professor titular da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP / Departamento de Ciências Florestais - Av. Pádua Dias, 11. Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400 - 970 - Fone: (019) 430-8636 - Fax: (019) 430-8666 - E-mail: fpoggian@carpa.ciagri.usp.br

FAUSTO RODRIGUES ALVES DE CAMARGO é engenheiro florestal da Votorantim Celulose e Papel S/A - Caixa Postal 94 - Setor Florestal - Jacareí - SP - 12300-000 - Fone: (012) 354-1303 - Fax: (012) 354-1721 - E-mail: faustorac@vcp.com.br

Os autores agradecem à Votorantim Celulose e Papel S/A, pelo apoio material e de recursos humanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; LIMA, W.P. Balanço dos nutrientes de Ca+2, Mg+2, Na+1, K+1 e NO₃-1 em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, SP. **IPEF**, n.31, p.61-67, 1985.
- BARGALI, S.S.; SINGH, S.P. Aspects of productivity and nutrient cycling in an 8-year-old *Eucalyptus* plantation in a moist plain area adjacent to Central Himalaya, India. **Canadian journal of forestry research**, v.21, n.21, p.1365-1372, 1991.
- BORMANN, F.H.; LIKENS, G.E. Nutrient cycling. **Science**, v.155, p.424-429, 1967.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil: folha SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória**. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- BROOKS, K.N.; FFOLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M. et al. **Hydrology and management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 391 p.
- BRUENIG, E.F. **Conservation and management of tropical rainforests: na integrated approach to sustainability**. Cambridge: University Cambridge; CAB internacional, 1996. 339p.
- BRUIJNZEEL, L.A. Nutrient input-output budgets of tropical forest ecosystems: a review. **Journal of tropical ecology**, v.7, n.1, p.1-24, 1991.
- COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: 3- a precipitação atmosférica de nutrientes minerais. **Revista brasileira de botânica**, v.2, n.2, p.97-101, 1979.
- COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. Modelos de equações da volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, v.47, p.33-44, 1987.
- CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient cycling in the conservation of soil fertility in the tropics. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, Águas de Lindóia, 1996. **Anais**. São Paulo: SONOPRESS, 1996. (CD-Rom)
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Totais mensais de chuva do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1993. 15p.
- DAHLGREN, R.A.; DRISCOLL, C.T. The effects of whole-tree clear-cutting on soil processes at the Hubbard Brook Experimental Forest. **Plant and soil**, v.158, p.239-262, 1994.
- FELLER, M.C.; KIMMINS, J.P. Effects of clearcutting and slash burning on streamwater chemistry and watershed nutrient budgets in southwestern British Columbia. **Water resources research**, v.20, n.1, p.29-40, 1984.
- FLINN, D.W.; BREN, L.J.; HOPMANS, P. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forested catchment. **Australian forestry**, v.42, n.1, p.39-49, 1979.
- GIOLITO, I. **Métodos espectrofotométricos de análise química**. São Paulo: Grupo de Coordenação Para o Aperfeiçoamento Técnico, 1968. 151p.
- GUTHRIE, H.B.; ATTIWILL, P.M.; LEUNING, R. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L' Herit.) forest [In Victoria]: 2- a study in small catchment. **Australian journal of botany**, v.26, n.2, p.189-201, 1978.
- HANSEN, E.A.; BAKER, J.B. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured plantations. In: IMPACT HARVESTING ON FOREST NUTRIENT CYCLING, 1979. **Proceedings**. p.130-151. /Resumo em TREECD on CD-ROM, 1939-1996
- HERBERT, M.A.; ROBERTSON, M.A. Above-ground biomass composition and nutrient content for eucalypts species in the southeastern Transvaal. In: IUFRO SYMPOSIUM INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF EUCALYPTUS, Durban, 1991. **Proceedings**. Durban: IUFRO, 1991. v.2, p.662-674.
- HOPMANS, P.; FLINN, D.W.; FARRELL, P.W. Nutrient dynamics of forested catchments in southeastern Australia and changes in water quality and nutrient exports following clearing. **Forest ecology and management**, v.20, n.34, p.209-231, 1987.
- HORNBECK, J.W.; KROPELIN, W. Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods. **Journal of environmental quality**, v.11, n.2, p.309-316, 1982.
- HORNBECK, J.W.; PIERCE, R.S.; LIKENS, G.E. et al. Moderating the impact of contemporary forest cutting on hydrological and nutrient cycles. **New Hampshire IAHS-publication**, v.117, p.423-429, 1975.
- JORGENSEN, J.R.; WELLS, C.G. Tree nutrition and fast-growing plantation in developing countries. **International tree-crops journal**, v.3, n.4, p.225-244, 1986.

- LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; PIERCE, R.S. et al. **Biogeochemistry of a forested ecosystem**. New York: Springer-Verlag, 1977. 146 p.
- LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 1993. 301p.
- LIMA, W.P.; POGGIANI, F.; VITAL, A.R. Impactos ambientais de plantações florestais sobre regime hídrico e de nutrientes em bacias hidrográficas. IN: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, Águas de Lindóia, 1996. **Anais**. São Paulo: SONOPRESS, 1996. (CD-Rom)
- MALMER, A.; GRIP, H. Converting tropical rainforest to forest plantation in Sabah, Malaysia: part 2- effects on nutrient dynamics and net losses in streamwater. **Hydrological processes**, v.8 n.3, p.195-209, 1994.
- MOLDAN, B.; CERNY, J., ed. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. New York: John Wiley, 1994. 419p.
- MONTGOMERY, D.R.; GRANT, G.E.; SULIVAN, K. Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. **Water resources bulletin**, v.31, n.3, p.369-386, 1995.
- NASCIMENTO, C.M.; PEREIRA, M.A.M.G. **Atlas climatológico do Estado de São Paulo (1977-1978)**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 93p.
- POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*: implicações silviculturais**. Piracicaba, 1985. 210p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ; Universidade de São Paulo.
- POGGIANI, F. Nutrient cycling *Eucalyptus* and *Pinus* plantation ecosystems: silvicultural implications. IN: WORKSHOP ON BIOCHEMISTRY OF RAIN FORESTS: PROBLEMS FOR RESEARCH, Piracicaba, 1987. **Proceedings**. Piracicaba: CENA, 1987. p.39-46.
- PRITCHETT, W.L.; FISHER, R.F. **Properties and management of forest soil**. New York: John Willey, 1987. 500p.
- ROSS, H.B.; LINDBERG, S.E. Atmospheric chemical inputs to small catchments. In: Moldan, B.; Cerny, J. ed. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. New York: John Wiley, 1994. p.55–84.
- ROWE, L.K.; FAHEY, B.D. Hydrology and water chemistry changes after harvesting small, indigenous forest catchments, Westland, New Zealand. **International Association of Hydrological Sciences proceedings**, n.203, p.259-266, 1991.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi - SP. **Ciência florestal**, v. 3, n.1, p.21-34, 1993.
- SEMKIN, R.G.; JEFFRIES, D.S.; CLAIR, T.A. Hydrochemical methods and relationships for study of stream output from small catchments. In: Moldan, B.; Cerny, J. ed. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. New York: John Wiley, 1994. p.163–188.
- STEVENS, P.A. NORRIS, AD.; WILLIAMS, T.G. Nutrient losses after clearfelling in Bedgelert Forest: a comparison of the effects of conventional and whole-tree harvest on soil water chemistry. **Forestry**, v.68, n.2, p.115-131, 1995.
- TAMM, C.O. Towards and understanding of the relations between tree nutrition, nutrient cycling and environmental. **Plant and soil**, v.168/169, p.21-27, 1995.
- VENTURA, A.; BERENGUT, G.; VICTOR, M.A.M. Características edafo-climáticas das dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v.4/5, n.4, p.57-140, 1965/1966.
- VITAL, A.R.T. **Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. Piracicaba, 1996. 106p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- WATERLOO, M.J. **Water and nutrient dynamics of *Pinus caribaea* plantation forest on former grasland soil in Southwest Viti Levy, Fiji**. Amsterdam, 1994. 478p. (Thesis - Vrije Universiteit Amsterdam)
- WHITE, R.E. **Introducion to the principles and practice of soil science**. 2. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1987. 243p.
- WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impacts. **Amsterdam Journal of hydrology**, v.145, p. 217-230, 1993.