

# Acúmulo de Nutrientes na Biomassa e na Serapilheira de *Eucalyptus grandis* em Função da Aplicação de Lixo Urbano e de Nutrientes Minerais

---

*Guilherme de Castro Andrade*<sup>1</sup>  
*Antônio Francisco Jurado Bellote*<sup>2</sup>  
*Helton Damim da Silva*<sup>3</sup>  
*Nivaldo Eduardo Rizzi*<sup>4</sup>  
*José Luiz Gava*<sup>5</sup>

## RESUMO

Quantidades significativas de resíduos orgânicos são produzidas a cada ano pela população, tornando-se indispensável obter práticas econômicas e seguras para a disposição e utilização destes. A aplicação de resíduos orgânicos em plantios florestais é uma alternativa a ser considerada. Este trabalho avaliou os efeitos da aplicação de lixo urbano e da adubação mineral em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden sobre o acúmulo de nutrientes na serapilheira e na biomassa aérea das árvores aos 86 meses de idade, em Itatinga, SP, em Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Verificou-se, nas parcelas experimentais com lixo urbano, maiores valores para biomassa arbórea (36,9 % de ganho com relação à testemunha) e maiores conteúdos de **N**, **P**, **K** e **Ca** no sítio antes do corte das árvores. Após a retirada de madeira (alburno e cerne), observou-se também que com a manutenção das outras partes da árvore nessas parcelas, houve uma maior disponibilização desses nutrientes no sítio, cujos valores foram entre 18 % e 49 % a mais dos conteúdos encontrados para a testemunha, que poderão contribuir para a manutenção da produtividade. Os resultados evidenciaram a importância de se manter a casca das

<sup>1</sup> Engenheiro Florestal, Doutor, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: andrade@cnpf.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: bellote@cnpf.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Doutor, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: helton@cnpf.embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal, Doutor, Professor da Universidade Federal do Paraná. email: niva@ufpr.br

<sup>5</sup> Engenheiro Florestal, Mestre, engenheiro da Suzano Ltda. email: jgava@suzano.com.br

árvores no sítio, pois o descascamento feito no local propiciou, em média, um retorno de 32 % do total de nutrientes acumulados na biomassa aérea. Também, na colheita da madeira, galhos, folhas, ponteiros e serapilheira, devem ser mantidos no campo como um meio de se aumentar o estoque de nutrientes das próximas rotações.

Palavras-chave: Plantios florestais, resíduos orgânicos, adubação, nutrição mineral.

## **Nutrient Accumulation in *Eucalyptus grandis* Biomass and Litter Using Urban Waste and Mineral Fertilizer**

### **ABSTRACT**

Large quantities of organic wastes are produced mainly in big cities, annually. There is urgent demand for safe and possible economic practices for its use on forest plantations. This study evaluated the effects of the application of urban waste and mineral fertilizers on *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantation growing on Neossolo Quartzarênico, analyzing nutrient contents in the litter and in the above ground biomass of trees at 86 months old. The results showed that those plots that received organic wastes presented biomass increments of 36.9 % and largest contents of **N**, **P**, **K** and **Ca**, 86 months after the establishment. After harvesting, largest nutrient pools remained on those same plots (18 % to 49 %), contributing significantly to maintain forest productivity. This study emphasized also the importance of keeping tree bark on site. Debarking tree on field accounted to an average of about 32 % of total nutrients present in the above ground biomass of the trees. Large quantity of nutrients in the canopy tree and litter highlights the importance to conserve this organic matter to contribute to the sustainability of the forest productivity.

Keywords: Reforestation, organic wastes, mineral nutrition.

# 1. INTRODUÇÃO

Quantidades significativas de resíduos orgânicos são produzidas a cada ano, tais como: lodo de esgoto doméstico e urbano, lixo urbano, resíduos da criação de animais, rejeitos das fábricas de papel e celulose, resíduos da indústria de produção de alimentos, tornando-se indispensável à obtenção de práticas econômicas e seguras para a disposição e utilização destes resíduos. Com o aumento dos custos de energia e de fertilizantes, alguns resíduos orgânicos têm sido novamente considerados como fontes potenciais de nutrientes para o crescimento de plantas e para a melhoria das propriedades do solo (ELLIOTT & STEVENSON, 1977).

A aplicação de resíduos orgânicos em plantios florestais é uma alternativa que influencia positivamente as condições físicas, químicas e biológicas do solo, com o aumento do suprimento dos nutrientes que são demandados pelas árvores (GUERRINI et al., 1994; ZEN et al., 1994; BELLOTE et al., 1995; FERREIRA et al., 1995; DIONISIO, 1996; SOUZA et al., 1996; FERRO NETO, 1997; GONÇALVES et al., 2000a; NOLASCO et al., 2000; ANDRADE et al., 2003).

Junto com os nutrientes, deve-se mencionar a importância da adição de matéria orgânica nos solos, que não pode ser considerada apenas como uma fonte de nutrientes minerais. Talvez sua maior importância, quando em estágios avançados de decomposição, seja sua notável propriedade de natureza coloidal, que contribui para a melhoria das propriedades físicas do solo (principalmente na capacidade de retenção de água), e para o aumento da capacidade de troca de cátions.

Contudo, trabalhos sobre a utilização de resíduos orgânicos em plantações florestais relatam problemas de redução no crescimento e até de mortalidade de árvores, devido ao aumento de ervas daninhas e, conseqüentemente, da competição por luz, água e nutrientes, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento das árvores no sítio (SMITH & EVANS, 1977).

Por outro lado, McDonald et al. (1994), utilizando vários resíduos orgânicos, em plantações florestais com nove anos de idade, observaram que as árvores antes estagnadas responderam, dois anos após a aplicação dos resíduos, em crescimento do diâmetro do tronco e em altura das árvores, e que houve aumentos nas concentrações dos macronutrientes foliares para a maioria dos resíduos

testados.

Além da avaliação dos ganhos de produtividade, é necessário o monitoramento da distribuição de nutrientes em componentes do sistema, como na árvore e na serapilheira. Este monitoramento possibilita uma avaliação mais abrangente das implicações das exportações de nutrientes na exploração florestal e da manutenção do potencial produtivo do solo nas sucessivas rotações.

Dentro deste contexto, este trabalho procurou avaliar os efeitos da aplicação do lixo urbano orgânico compostado e de fertilizantes minerais, sobre o acúmulo de nutrientes na parte aérea de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e na serapilheira 86 meses após o plantio. Foram quantificadas as perdas de nutrientes pela retirada de madeira nessa idade e o estoque remanescente pela manutenção da casca, galhos e folhas das árvores e da serapilheira no solo, após o corte e retirada da madeira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área da Companhia Suzano de Papel e Celulose, que realizou o plantio de *E. grandis* em dezembro de 1991, na Fazenda Ariona, Município de Itatinga, Estado de São Paulo, Brasil.

A região está localizada a 23° 15' S de latitude, 48° 28' de longitude oeste com uma altitude de 640 m s.n.m. O clima, com base na classificação de Köppen, é o Cfa, mesotérmico úmido, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1.200 à 1.300 mm, concentrada no período de outubro a março e sem deficiência hídrica, apresentando uma temperatura média variando de 22° C a 23° C no mês mais quente do ano (janeiro) e de 15° C a 16° C no mês mais frio (julho).

O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, A moderado, fase cerrado (SISTEMA..., 1999). Este solo é profundo, bem drenado, com textura areia ou areia franca ao longo de, pelo menos, uma profundidade de dois metros da superfície. O relevo é plano a suavemente ondulado, com pendentes de 2 % a 4 % de declive e comprimento de rampa de mais de 200 m. Uma descrição mais detalhada da região pode ser observada no trabalho de Andrade (2002).

Na Tabela 1, são apresentadas algumas características químicas deste solo antes da instalação do experimento.

**Tabela 1.** Análise química do solo da área do experimento.

| Profundidade | pH                | MO   | P                   | K    | Ca   | Mg                                 | Al  | H + Al | V |
|--------------|-------------------|------|---------------------|------|------|------------------------------------|-----|--------|---|
| cm           | CaCl <sub>2</sub> | g/kg | mg dm <sup>-3</sup> |      |      | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |     |        | % |
| 0–10         | 3,3               | 22   | 6                   | 0,02 | 0,10 | 0,10                               | 2,0 | 6,4    | 3 |
| 10–20        | 3,5               | 15   | 6                   | 0,02 | 0,10 | 0,10                               | 2,5 | 4,2    | 5 |
| 20–30        | 3,5               | 14   | 3                   | 0,02 | 0,10 | 0,10                               | 1,2 | 3,8    | 5 |

As avaliações dos nutrientes foram feitas nas parcelas do experimento de aplicação de composto de lixo e de fertilizantes minerais em *Eucalyptus grandis*. As parcelas foram retangulares (8 x 7 plantas), totalizando 56 plantas por parcela, com bordadura dupla de plantas (12 mensuráveis) e espaçamento entre árvores de 3,0 m x 2,0 m. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com sete repetições ou blocos e quatro tratamentos envolvendo as aplicações, no plantio, de lixo urbano, calcário e de adubos minerais, nas seguintes formulações:

Adubação química 1. - **Aq1** = 130 kg/ha de Fosfato Parcialmente Solubilizado (FAPS) e 148 kg/ha NPK(10-20-10) e 146 kg/ha NPK(10-20-10) em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente.

Adubação química 2. - **Aq2** = 400 kg/ha Termofosfato + 300 kg/ha NPK(10-10-10) + 200 kg/ha NPK(20-00-15) em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente.

Calcário à lanço = 1500 kg/ha

Lixo urbano à lanço = 15 t ha<sup>-1</sup>

Estas formulações geraram os seguintes tratamentos:

**Tratamento 1.** Aq1.

**Tratamento 2.** Calcário + Aq2.

**Tratamento 3.** Lixo + Aq2.

**Tratamento 4.** Aq 2 = testemunha.

O composto orgânico utilizado foi proveniente da Usina de Compostagem de Lixo Urbano da cidade de São Paulo. Pela análise química desse composto (ANDRADE, 2002), a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> na parcela experimental adicionou ao solo 270 kg/ha de N, 36 kg/ha de P, 133 kg/ha de K, 315 kg/ha de Ca e 43 kg/ha de **Mg**.

Em 11 de março de 1994, foi realizada uma adubação de manutenção para corrigir os teores foliares de **K** e **Mg**. Esta adubação de manutenção não foi realizada nas parcelas do tratamento 1 (Aq1). Desta forma, as parcelas dos tratamentos 2, 3 e 4 receberam as seguintes dosagens de fertilizantes: 120 kg/ha de NPK 20-00-20 + 40 kg/ha de KCl + 150 kg/ha de MgSO<sub>4</sub>.

Deste modo, os solos dos tratamentos receberam por hectare, segundo a composição química dos fertilizantes e do resíduo utilizados, as seguintes quantidades totais de nutrientes:

T1– 29,4 kg de N, 39,2 kg de P, 24,4 kg de K;

T2– 94 kg de N, 46,3 kg de P, 69,7 kg de K, 343 kg de Ca e 163 kg de Mg.

T3– 340 kg de N, 82,3 kg de P, 182,8 kg de K, 315 kg de Ca e 43 kg de Mg;

T4– 94 kg de N, 46,3 kg de P, 69,7 kg de K.

Para a avaliação do estoque de biomassa e de nutrientes da serapilheira, uma coleta final foi realizada nas parcelas dos tratamentos em 29 de março de 1999, em três repetições ou blocos do experimento, quando o povoamento encontrava-se com 86 meses de idade. Nesta coleta, foram retiradas duas amostras de serapilheira por parcela, através de arremessos sobre o solo, com direções aleatórias, de uma armação com área de um metro quadrado, seguindo-se da coleta separada de folhas, galhos e casca.

Em cada parcela, foram feitas seis amostragens (duas para cada componente avaliado) para se calcular a biomassa e o teor de nutrientes presentes na

serapilheira antes do corte total das árvores, no final da primeira rotação. Para a análise quantitativa, estes materiais das duas amostras foram secos até um peso constante, utilizando-se um peso médio por parcela, para estimar a deposição, em kg/ha, após a determinação da biomassa seca de cada material por m<sup>2</sup>. Para a avaliação qualitativa, foram misturadas as duas amostras iniciais da parcela separando uma nova amostra de folhas, de casca e de galhos por parcela, para cada um dos três blocos avaliados.

No laboratório de análise de solo e de tecido vegetal da *Embrapa Florestas*, as amostras de serapilheiras foram secas, pesadas, moídas e analisadas quimicamente para: **N, P, K, Ca e Mg**. Para a determinação dos teores de P, K, Ca e Mg, as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica. O P foi determinado pelo método molibdato-vadano de amônio, o K por fotometria de chama, e Ca e Mg por absorção atômica. Para o N, foi realizada a digestão sulfúrica, seguida de determinação pelo método Micro Kjeldahl. Estes procedimentos estão de acordo com a metodologia proposta por Sarruge e Haag (1974).

Os dados de biomassa e de conteúdos de nutrientes da serapilheira foram submetidos às análises de variância, realizando-se o teste F de contraste para a comparação de tratamentos. Foram estabelecidos três contrastes: contraste n<sup>o</sup>. 1 - tratamentos 2, 3 e 4 (todos que receberam adubação química 2 – Aq2) contra o tratamento 1 (adubação química 1 – Aq1), contraste n<sup>o</sup> 2 – tratamento 2 (calcário + Aq2) e o tratamento 3 (lixo compostado + Aq2) contra o tratamento 4 (Aq2) e contraste n<sup>o</sup> 3 – tratamento 2 contra o tratamento 3.

A avaliação dendrométrica e a coleta de amostras de madeira para a determinação da densidade e dos teores de nutrientes foi realizada ao final do experimento, com 86 meses de idade. Foram feitas medições de diâmetro a 1,30 m da base (DAP) e altura total das árvores mensuráveis das parcelas nos sete blocos do ensaio, para os cálculos de volume cilíndrico arbóreo (volume cilíndrico =  $p/4 \times (DAP)^2 \times$  altura total). As análises dos nutrientes foram feitas em três blocos do ensaio, sendo idênticas àquelas realizadas para a serapilheira.

Para a estimativa da quantidade de biomassa exportada (alburno e cerne) e da mantida no campo (casca, galhos e folhas), assim como os conteúdos de nutrientes nestes compartimentos, utilizou-se a metodologia proposta por Silva (1996), desenvolvida para *E. grandis*, em sítio semelhante ao desse ensaio, descrita na íntegra por Andrade (2002).

Para os dados de biomassa e para os conteúdos de nutrientes nos compartimentos da árvore, efetuaram-se análises de variância e testes F de contrastes ortogonais para a comparação de médias entre os tratamentos, utilizando os mesmos contrastes adotados para análise da serapilheira.

Foram realizadas análises de correlação simples (PEARSON) do teor e do conteúdo total de nutrientes na árvore com a biomassa aérea.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Estimativa do acúmulo de nutrientes na árvore, aos 86 meses de idade

##### Estimativa de biomassa da parte aérea da árvore nos diferentes compartimentos:

Com os dados de DAP, altura das árvores e amostras de madeira, aos 86 meses de idade, por tratamento e utilizando as equações propostas por Silva (1996), foram obtidas as estimativas de biomassa aérea da árvore, com base na biomassa seca dos diferentes compartimentos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Biomassa aérea por compartimento arbóreo ( $t\ ha^{-1}$ ) por tratamento, na idade do corte (86 meses), média de sete repetições.

| Tratamento*  | Casca        | Alburno      | Cerne        | Galhos      | Folhas      | Total         |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------------|
|              | t $ha^{-1}$  |              |              |             |             |               |
| 1            | 8,27         | 51,64        | 36,97        | 6,19        | 7,63        | 110,70        |
| 2            | 10,40        | 64,94        | 46,49        | 7,79        | 9,60        | 139,21        |
| 3            | 13,43        | 83,88        | 60,05        | 10,07       | 12,40       | 179,84        |
| 4            | 9,81         | 61,26        | 43,85        | 7,35        | 9,05        | 131,32        |
| <b>média</b> | <b>10,48</b> | <b>65,43</b> | <b>46,84</b> | <b>7,85</b> | <b>9,67</b> | <b>140,27</b> |

\*trat. 1 = Aq1; trat. 2 = Calcário + Aq2; trat. 3 = Lixo urbano + Aq2; trat. 4 = Aq2.

Comparando os valores médios apresentados na Tabela 2 com os citados por Gonçalves et al. (2000b), também para *E. grandis* aos 84 meses de idade, observou-se que os resultados foram semelhantes, principalmente para o total de biomassa aérea. Verificou-se, ainda, que os compartimentos que são retirados do sítio na colheita da madeira (alburno e cerne) correspondem, em média, a 80 % da biomassa aérea total, restando 20 % dos outros compartimentos que podem ser mantidos na área, após a exploração.



Realizou-se a análise de variância dos dados de biomassa aérea total e o teste F para a comparação de médias entre tratamentos, por meio de contraste, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Análise de variância para os dados de biomassa aérea total em t ha<sup>-1</sup> e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                 | G.L. | S.Q.      | Q.M.     | Valor F | PROB. > F |
|------------------------------------|------|-----------|----------|---------|-----------|
| Bloco                              | 6    | 4.852,00  | 808,70   | 3,0906  | 0,02904   |
| Tratamento                         | 3    | 17.649,00 | 5.883,00 | 22,4840 | 0,00002   |
| Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4 | 1    | 81.59,35  | 8.159,35 | 31,1839 | 0,00010   |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4   | 1    | 3.712,25  | 3.712,25 | 14,1877 | 0,00171   |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2       | 1    | 5.777,38  | 5.777,38 | 22,0804 | 0,00035   |
| Resíduo                            | 18   | 4.709,74  | 261,65   |         |           |
| Total                              | 27   | 27.210,73 |          |         |           |

Médias por tratamento em t ha<sup>-1</sup>: trat. 1 = 110,70; trat. 2 = 139,21; trat. 3 = 179,84; trat. 4 = 131,32.

Média geral = 140,3 t ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 11,5%.

Verificou-se que as diferenças entre tratamentos, para biomassa aérea da árvore, considerando os contrastes testados, foram significativas, com uma superioridade em biomassa de 29 % a 62 % para o tratamento que recebeu lixo urbano e adubação mineral em relação aos demais que somente receberam nutrientes minerais. Considerando, na Tabela 2, apenas a biomassa de madeira (cerne + alborno) o tratamento 3 (lixo compostado + Aq2) produziu 143,93 t ha<sup>-1</sup> e o tratamento 4 (testemunha) produziu 105,11 t ha<sup>-1</sup>, significando um ganho de 36,9 % de madeira, aos 86 meses de idade, com a adição de 15 t ha<sup>-1</sup> de lixo urbano orgânico compostado.

### 3.2. Teores de nutrientes no tronco de *E. grandis*, aos 86 meses de idade:

Após a determinação dos teores de nutrientes para casca, alborno e cerne, obtidos nos discos de madeira das árvores dominada, codominante e dominante nas parcelas experimentais, foi feita uma análise de correlação com os respectivos volumes individuais de madeira das árvores, independente dos tratamentos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação simples (r) entre volume arbóreo (m<sup>3</sup>) por classe de DAP e teor de nutrientes (g/kg) nos compartimentos da árvore de *E. grandis*, na idade do corte (86 meses).

| Compartimento | Classe de DAP | Número de observações | Correlação entre volume arbóreo e teor de nutrientes |          |          |          |          |
|---------------|---------------|-----------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|               |               |                       | N  | P        | K        | Ca       | Mg       |
| r             |               |                       |  |          |          |          |          |
| casca         | 1             | 48                    | -0,045   | -0,106   | 0,018    | 0,332*   | 0,213    |
| casca         | 2             | 48                    | 0,224  | 0,223    | 0,135    | 0,419**  | 0,025    |
| casca         | 3             | 48                    | 0,364*   | 0,006    | 0,310*   | 0,184    | 0,335*   |
| casca         | total         | 144                   | 0,040  | -0,145   | 0,021    | 0,221**  | 0,082    |
| alburno       | 1             | 48                    | -0,212   | 0,107    | 0,031    | 0,340*   | 0,093    |
| alburno       | 2             | 48                    | -0,160   | -0,183   | 0,636**  | -0,115   | -0,103   |
| alburno       | 3             | 48                    | -0,109   | -0,356*  | 0,507**  | -0,332*  | -0,321*  |
| alburno       | total         | 144                   | -0,113   | -0,285** | 0,206*   | -0,247** | -0,226** |
| cerne         | 1             | 48                    | -0,488**   | 0,080    | -0,401** | 0,233    | 0,428**  |
| cerne         | 2             | 48                    | 0,130  | -0,127   | -0,489** | -0,130   | -0,202   |
| cerne         | 3             | 48                    | 0,084  | 0,108    | -0,308*  | -0,023   | 0,014    |
| cerne         | total         | 144                   | -0,075   | -0,048   | -0,326** | -0,052   | -0,171   |

1 = arv. dominada; 2 = codominante; 3 = dominante; total = as três classes reunidas; \* p < 0,05; \*\* p < 0,01.

Folhas e galhos não fizeram parte da amostragem e, portanto, não entraram nesta análise, uma vez que, na metodologia de Silva (1996), os conteúdos de nutrientes nestas partes da árvore, são estimados a partir de teores de nutrientes obtidos na casca e alburno, respectivamente.

Observou-se nesta análise de correlação que, para o N e o P, não houve significância na maioria dos compartimentos, demonstrando uma baixa relação entre os teores desses nutrientes, nos diferentes compartimentos da madeira com o volume da árvore. No entanto, para o Mg, Ca e principalmente para o K, as correlações significativas foram mais frequentes. No caso do K, houve correlação do volume das árvores com os teores no cerne e no alburno, onde no cerne, as árvores de maiores volumes apresentaram menores teores de K (coeficiente negativo) e no alburno ocorreu o inverso. Este fato sugere que o K foi deslocado para o alburno quando da formação do cerne. Para o Ca e o Mg, observou-se uma correlação positiva dos teores na casca com o volume da árvore e uma correlação negativa para os teores no alburno, indicando que as árvores de maior volume possuem teores mais altos de Ca e Mg na casca e teores mais baixos no alburno.

Essa situação pode acarretar um maior acúmulo de Ca e Mg na casca, com o desenvolvimento da árvore.

As diferenças entre os teores de nutrientes nas diversas partes da planta podem ser atribuídas à translocação desses dos tecidos velhos para os mais novos (SWITZER & NELSON, 1972), assim como ao acúmulo de nutrientes, de acordo com as atividades fisiológicas próprias de cada compartimento e tecido da planta ao longo de seu desenvolvimento.

Silva (1996) observou que o conteúdo de K no cerne, aos 84 meses de idade, foi menor do que no quinto ano, apesar do aumento de biomassa verificado no período. Esse autor também verificou uma diminuição no conteúdo de magnésio no tronco, à medida que as árvores cresceram, o que sugere a translocação interna destes nutrientes na árvore.

Uma outra possibilidade explicando os valores negativos de coeficiente de correlação poderia ser o efeito de diluição do nutriente provocado pelo maior volume de madeira, com destaque para mais resultados negativos no cerne e no alburno.

A princípio, a análise de correlação apresentada na Tabela 4 indicou que os teores de nutrientes na madeira de *E. grandis*, em alguns casos, podem ter sido influenciados pelo volume da árvore, sem analisar isoladamente o efeito dos tratamentos. Contudo, a adubação mineral e a aplicação de lixo urbano orgânico compostado também influenciaram o volume de madeira das árvores e o tratamento que recebeu o lixo urbano compostado foi o que apresentou os maiores volumes individuais.

### **3.3. Conteúdos de nutrientes na biomassa aérea de *E. grandis*, aos 86 meses de idade:**

As biomassas e os conteúdos de nutrientes para a casca, folhas, galhos, alburno e cerne das árvores, obtidos pelas equações de Silva (1996), por tratamento, são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Biomassa ( $t\ ha^{-1}$ ) e conteúdo de nutrientes ( $kg\ ha^{-1}$ ) nos compartimentos da árvore por tratamento na idade do corte (86 meses). Média de três repetições.

| Tratamento | Compartimento | Biomassa $t\ ha^{-1}$ | N     | P    | kg $ha^{-1}$ |       |      |
|------------|---------------|-----------------------|-------|------|--------------|-------|------|
|            |               |                       |       |      | K            | Ca    | Mg   |
| 1          | casca         | 8,12                  | 53,5  | 10,1 | 23,6         | 68,0  | 31,9 |
| 2          | casca         | 9,78                  | 74,4  | 14,2 | 33,1         | 114,0 | 59,5 |
| 3          | casca         | 12,72                 | 76,0  | 14,3 | 33,4         | 129,3 | 49,0 |
| 4          | casca         | 8,82                  | 55,2  | 10,6 | 24,7         | 56,1  | 42,1 |
| 1          | folhas        | 7,49                  | 168,6 | 13,3 | 47,3         | 41,3  | 7,2  |
| 2          | folhas        | 9,02                  | 234,8 | 18,6 | 65,9         | 57,4  | 10,0 |
| 3          | folhas        | 11,75                 | 239,9 | 19,0 | 67,3         | 58,7  | 10,2 |
| 4          | folhas        | 8,14                  | 174,1 | 13,8 | 48,9         | 42,6  | 7,4  |
| 1          | galhos        | 6,09                  | 15,1  | 3,1  | 11,7         | 16,9  | 4,3  |
| 2          | galhos        | 7,33                  | 24,4  | 5,0  | 18,9         | 27,2  | 7,0  |
| 3          | galhos        | 9,54                  | 32,9  | 6,8  | 25,7         | 36,5  | 9,3  |
| 4          | galhos        | 6,61                  | 22,2  | 4,6  | 17,3         | 24,8  | 6,3  |
| 1          | alburno       | 50,73                 | 47,8  | 8,0  | 11,7         | 16,2  | 10,6 |
| 2          | alburno       | 61,08                 | 46,8  | 7,3  | 18,7         | 23,3  | 13,7 |
| 3          | alburno       | 79,45                 | 45,2  | 12,7 | 31,7         | 24,5  | 12,3 |
| 4          | alburno       | 55,07                 | 48,2  | 12,5 | 18,2         | 20,2  | 10,3 |
| 1          | cerne         | 36,31                 | 51,2  | 1,6  | 3,2          | 39,7  | 6,1  |
| 2          | cerne         | 43,72                 | 60,9  | 2,5  | 5,2          | 61,4  | 8,6  |
| 3          | cerne         | 56,88                 | 94,0  | 5,4  | 3,0          | 65,0  | 10,1 |
| 4          | cerne         | 39,42                 | 59,6  | 2,6  | 3,3          | 27,9  | 5,6  |

Para casca, nas análises de variância por nutriente, verificou-se um único nutriente com contraste significativo, que foi a superioridade dos conteúdos de Ca na casca das árvores dos tratamentos 3 (lixo) e 2 (calcário), em comparação com a testemunha (tratamento 4) de 130 % e 103 %, respectivamente (Tabelas 5 e 6). Também com relação ao tratamento 1 (adubação química 1), esta superioridade foi constatada. Observou-se ainda na Tabela 5, comparando estas diferenças entre conteúdos de Ca nestes tratamentos com as diferenças entre as suas biomassas de casca, que estas últimas foram menores, sendo a diferença do tratamento 3 com relação ao 1 e 4 de 44 % e 54 %, respectivamente, e do tratamento 2 com relação aos tratamentos 1 e 4 de 11 % e 20 %, respectivamente, comprovando a correlação positiva entre os teores de Ca na casca e o volume da árvore.

**Tabela 6.** Análise de variância para conteúdo de Ca na casca de *E. Grandis* aos 86 meses e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                 | G.L.      | S.Q.                | Q.M.        | Valor F | PROB.> F |
|------------------------------------|-----------|---------------------|-------------|---------|----------|
| Bloco                              | 2         | 4.518,70820         | 2.259,35410 | 1,9438  | 0,22316  |
| Tratamento                         | 3         | 11.223,86000        | 3.741,28680 | 3,2188  | 0,10393  |
| Contraste trat.1 vs trat. 2, 3 e 4 | 1         | 2.279,26690         | 2.279,26690 | 1,9609  | 0,20973  |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4   | 1         | 8.596,66410         | 8.596,66410 | 7,3960  | 0,03388  |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2       | 1         | 347,92950           | 347,92950   | 0,2993  | 0,60779  |
| Resíduo                            | 6         | 6.974,02290         | 1.162,33710 |         |          |
| <b>Total</b>                       | <b>11</b> | <b>22.716,59200</b> |             |         |          |

Médias por trat. em kg ha<sup>-1</sup> : trat.1 = 67,96; trat.2 = 114,03; trat.3 = 129,26; trat.4 = 56,08.

Média geral = 91,83 kg ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 37,1 %.

De acordo com Silva (1983), as espécies de eucalipto são acumuladoras de Ca na casca, justificando assim os maiores conteúdos de Ca na casca das árvores nos tratamentos que apresentaram maior crescimento.

Os resultados da análise de variância para os conteúdos de nutrientes nas folhas das árvores não foram significativos a 5 % de probabilidade e para os galhos, todos os nutrientes tiveram um único contraste significativo, que foi o do tratamento 1 em comparação com os demais. Esse tratamento teve uma adubação química diferenciada (Aq1) e só no plantio, produzindo os menores volumes cilíndricos e a menor biomassa arbórea, apresentando, dessa forma, menores conteúdos de nutrientes nos galhos.

Nas análises de variância para os conteúdos de nutrientes no alburno das árvores, verificaram-se contrastes significativos à 5 % de probabilidade para P e Ca. O conteúdo de P no alburno das árvores que receberam lixo compostado (tratamento 3) foi superior ao das árvores que receberam calcário ao invés do lixo. Porém, os conteúdos para os tratamentos 3 e 4 (testemunha) foram semelhantes, não demonstrando efeito do lixo compostado. Com relação ao Ca, repetiu-se o resultado encontrado para os nutrientes dos galhos, ou seja, o tratamento 1 apresentou um menor conteúdo do que os demais tratamentos.

Observaram-se diferenças significativas para os conteúdos de N, K e Ca no cerne das árvores (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 7. Análise de variância para conteúdo de n no cerne das árvores de *E. grandis* aos 86 meses e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                 | G.L. | S.Q.       | Q.M.       | Valor F | PROB. > F |
|------------------------------------|------|------------|------------|---------|-----------|
| Bloco                              | 2    | 411,0151   | 205,5076   | 1,8885  | 0,23085   |
| Tratamento                         | 3    | 3.209,9337 | 1.069,9779 | 9,8323  | 0,01068   |
| Contraste trat.1 vs trat. 2, 3 e 4 | 1    | 932,7930   | 932,7930   | 8,5717  | 0,02586   |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4   | 1    | 637,3640   | 637,3640   | 5,8569  | 0,05065   |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2       | 1    | 1.639,7760 | 1.639,7760 | 15,0684 | 0,00847   |
| Resíduo                            | 6    | 652,9347   | 108,8224   |         |           |
| Total                              | 11   | 4.273,8835 |            |         |           |

Médias por trat. em kg ha<sup>-1</sup>: trat.1= 51,16; trat.2= 60,94; trat.3= 94,01; trat.4= 59,62  
Média geral = 66,43 kg ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 15,7 %.

Tabela 8. Análise de variância para conteúdo de k no cerne das árvores de *E. grandis* aos 86 meses e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                | G.L. | S.Q.    | Q.M.   | Valor F | PROB. > F |
|-----------------------------------|------|---------|--------|---------|-----------|
| Bloco                             | 2    | 4,4129  | 2,2064 | 4,1415  | 0,07399   |
| Tratamento                        | 3    | 9,7206  | 3,2402 | 6,0818  | 0,03039   |
| Contraste trat.1 vs trat. 2,3 e 4 | 1    | 1,1378  | 1,1378 | 2,1356  | 0,19282   |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4  | 1    | 1,3667  | 1,3667 | 2,5654  | 0,15868   |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2      | 1    | 7,2161  | 7,2161 | 13,5445 | 0,01053   |
| Resíduo                           | 6    | 3,1966  | 0,5328 |         |           |
| Total                             | 11   | 17,3300 |        |         |           |

Médias por trat. em kg ha<sup>-1</sup>: trat.1= 3,15; trat.2= 5,23; trat.3= 3,04; trat.4= 3,31  
Média geral = 3,68 kg ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 19,8 %.

Tabela 9. Análise de variância para conteúdo de Ca no cerne das árvores de *E. grandis* aos 86 meses e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                 | G.L. | S.Q.       | Q.M.       | Valor F | PROB. > F |
|------------------------------------|------|------------|------------|---------|-----------|
| Bloco                              | 2    | 505,3108   | 252,6554   | 1,7654  | 0,24929   |
| Tratamento                         | 3    | 2.822,7413 | 940,9138   | 6,5744  | 0,02575   |
| Contraste trat.1 vs trat. 2, 3 e 4 | 1    | 307,1840   | 307,1840   | 2,1464  | 0,19184   |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4   | 1    | 2.496,6530 | 2.496,6530 | 17,4448 | 0,00626   |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2       | 1    | 18,9040    | 18,9040    | 0,1321  | 0,72689   |
| Resíduo                            | 6    | 858,7046   | 143,1174   |         |           |
| Total                              | 11   | 4.186,7567 |            |         |           |

Médias por trat. em kg ha<sup>-1</sup>: trat.1= 39,73; trat.2= 61,42; trat.3= 64,97; trat.4= 27,86  
Média geral = 48,49 kg ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 24,7 %.

Para os conteúdos de N no cerne (Tabela 7), o tratamento 1 foi inferior aos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ). Quanto ao tratamento 3 (lixo), este foi superior estatisticamente ( $p < 0,01$ ) ao tratamento 2 (calcário) e à testemunha (tratamento 4), indicando uma provável influência da aplicação do lixo urbano orgânico compostado no aumento do conteúdo de N no cerne.

Verificou-se, na Tabela 8, que o conteúdo de K no cerne das árvores do tratamento com calcário (2) diferiu estatisticamente ( $p < 0,05$ ) e foi superior ao conteúdo de K no tratamento com lixo (3). Isto sugere, do mesmo modo que foi discutido para os teores deste elemento (Tabela 4), que o K do cerne pode estar sendo deslocado para o alburno quando da formação do cerne, durante o crescimento das árvores. Pode-se verificar que as árvores do tratamento que receberam lixo orgânico compostado produziram, no mínimo, 30 % a mais de biomassa do cerne (Tabela 5) do que as dos outros tratamentos, sugerindo uma maior translocação interna comparativamente às árvores de menor crescimento.

Por fim, observou-se, na análise do conteúdo de Ca no cerne (Tabela 9), que houve um contraste significativo dos tratamentos com lixo (3) e com calcário (2) em relação à testemunha (4), com maiores conteúdos nos dois primeiros em comparação com este último de 133 % (64,97 e 27,86 t ha<sup>-1</sup>) e 120 % (61,42 e 27,86 t ha<sup>-1</sup>), respectivamente, sugerindo que esses dois tratamentos favoreceram o acúmulo do Ca no cerne das árvores.

Na Tabela 10, verifica-se o conteúdo total de nutrientes das árvores de *E. grandis*, por tratamento, aos 86 meses de idade, acompanhado das análises de correlação de cada nutriente com a biomassa aérea arbórea produzida.

**Tabela 10.** Conteúdo total de nutrientes nas árvores ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e correlação com biomassa total aérea produzida ( $\text{t ha}^{-1}$ ), por tratamento, média de três repetições, aos 86 meses de idade.

| Tratamento                | Biomassa<br>$\text{t ha}^{-1}$ | Nutrientes          |         |         |         |        |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|--------|
|                           |                                | N                   | P       | K       | Ca      | Mg     |
|                           |                                | $\text{kg ha}^{-1}$ |         |         |         |        |
| 1                         | 108,74                         | 336,2               | 36,2    | 97,6    | 182,0   | 60,1   |
| 2                         | 130,93                         | 441,4               | 47,6    | 141,9   | 283,4   | 98,8   |
| 3                         | 170,33                         | 488,0               | 58,1    | 161,2   | 313,9   | 91,0   |
| 4                         | 118,06                         | 359,3               | 44,1    | 112,3   | 171,5   | 71,8   |
| média                     | 132,02                         | 406,2               | 46,5    | 128,2   | 237,7   | 80,4   |
| Correlação de Pearson (r) | -                              | 0,770**             | 0,793** | 0,763** | 0,730** | 0,582* |
| Nº de observações         | 12                             | 12                  | 12      | 12      | 12      | 12     |

\*\* =  $p < 0,01$ ; \* =  $p < 0,05$ .

A partir desses dados, verificou-se que as correlações foram significativas para o Mg ( $p < 0,05$ ) e para os demais nutrientes ( $p < 0,01$ ), indicando que, nas condições em que o experimento foi conduzido, quanto maior a biomassa produzida, maior o conteúdo de nutrientes nas árvores, por hectare, aos 86 meses de idade.

Destaca-se que o tratamento 3, com adubação química e aplicação do lixo urbano, apresentou, nesta análise de correlação, as maiores biomassas em todas as repetições, demonstrando a sua superioridade com relação aos demais tratamentos. Segundo Gonçalves et al. (2000a), povoamentos bem supridos de nutrientes nos seus primeiros anos de crescimento assegurarão maior quantidade presente na biomassa e maior estoque disponível para os processos de ciclagem.

Os valores médios, para o conteúdo de nutrientes obtidos nas parcelas deste ensaio que corresponde a um povoamento com 1.666 árvores por hectare (Tabela 10), foram, de um modo geral, similares aos citados por Bellote & Silva (2000) e Gonçalves et al. (2000b) para *E. grandis* aos 84 meses de idade.

### 3.5. Avaliação da serapilheira em *E. grandis*, aos 86 meses de idade

Biomassa de serapilheira acumulada na superfície do solo florestal: Na Tabela 11, encontram-se os dados de biomassa de serapilheira com base no peso seco, em t



ha<sup>-1</sup>, de casca, folhas e galhos, por tratamento, na idade de corte de *E. grandis*. De acordo com as análises estatísticas realizadas, verificaram-se resultados de Teste F não significativos para os tratamentos. Tal resultado indica que, aos 86 meses de idade, a diferença de produtividade de madeira entre os tratamentos, principalmente do que recebeu o lixo urbano em comparação com os restantes, não resultou numa diferenciação da biomassa remanescente de serapilheira. Embora a deposição de serapilheira possa ter sido maior neste tratamento, devido a sua maior biomassa, a decomposição mais rápida verificada em suas parcelas (ANDRADE, 2002) pode ter reduzido o acúmulo de matéria orgânica, explicando a não diferenciação estatística do tratamento de lixo urbano com relação aos demais.

**Tabela 11.** Biomassa de casca, folhas e galhos da serapilheira e o somatório destes três, em t ha<sup>-1</sup>, remanescente no solo, por tratamento, na idade do corte do *E. grandis* (86 meses).

| Tratamento | Casca              | Folhas | Galhos  | Total   |
|------------|--------------------|--------|---------|---------|
|            | t ha <sup>-1</sup> |        |         |         |
| 1          | 1,87 a             | 9,59 a | 8,08 a  | 19,54 a |
| 2          | 1,91 a             | 9,54 a | 9,59 a  | 21,05 a |
| 3          | 2,77 a             | 9,91 a | 10,99 a | 23,67 a |
| 4          | 2,32 a             | 9,86 a | 8,70 a  | 20,88 a |
| Média      |                    |        |         | 21,3    |

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância.

O total de biomassa de serapilheira de 21,3 t ha<sup>-1</sup> (média entre tratamentos) acumulado nas parcelas de *E. grandis* aos 86 meses de idade (Tabela 11) equivale a 15,2 % do total da biomassa aérea (Tabela 2). Estes valores foram similares aos relatados por Gonçalves et al. (2000b) para *E. grandis*, aos 84 meses de idade (23,7 t ha<sup>-1</sup> de biomassa de serapilheira correspondendo a 16,9 % do total da biomassa aérea).

**Conteúdo de nutrientes na serapilheira:** Na Tabela 12, estão apresentados os conteúdos de nutrientes da serapilheira, obtidos a partir da biomassa e concentração de nutrientes.

**Tabela 12.** Conteúdo de nutrientes na serapilheira em kg ha<sup>-1</sup>, por tratamento, na idade do corte das árvores (86 meses).

| Tratamento | Serapilheira | N                   | P   | K   | Ca    | Mg   |
|------------|--------------|---------------------|-----|-----|-------|------|
|            |              | kg ha <sup>-1</sup> |     |     |       |      |
| 1          | casca        | 6,8                 | 0,5 | 0,5 | 10,8  | 2,1  |
| 2          | casca        | 6,8                 | 0,4 | 0,4 | 10,6  | 2,6  |
| 3          | casca        | 10,9                | 0,7 | 0,8 | 16,2  | 3,3  |
| 4          | casca        | 8,9                 | 0,6 | 0,6 | 12,7  | 2,9  |
| 1          | folhas       | 115,3               | 4,2 | 4,3 | 67,8  | 11,3 |
| 2          | folhas       | 114,5               | 4,5 | 4,5 | 79,5  | 13,3 |
| 3          | folhas       | 121,1               | 4,7 | 4,8 | 71,4  | 11,4 |
| 4          | folhas       | 119,0               | 4,8 | 5,0 | 67,7  | 12,0 |
| 1          | galhos       | 32,0                | 1,1 | 3,0 | 44,3  | 5,7  |
| 2          | galhos       | 25,9                | 1,3 | 2,5 | 50,5  | 6,8  |
| 3          | galhos       | 31,6                | 1,1 | 2,9 | 48,8  | 6,7  |
| 4          | galhos       | 25,3                | 0,9 | 2,5 | 38,0  | 5,0  |
| 1          | Total        | 154,1               | 5,8 | 7,8 | 122,8 | 19,2 |
| 2          | Total        | 147,2               | 6,2 | 7,4 | 140,6 | 22,6 |
| 3          | Total        | 163,6               | 6,5 | 8,5 | 136,4 | 21,3 |
| 4          | Total        | 153,2               | 6,3 | 8,1 | 118,5 | 19,9 |
| Média      | -            | 154,5               | 6,2 | 7,9 | 129,6 | 20,7 |

As análises de variância e testes F para contrastes entre tratamentos mostraram resultados significativos para o conteúdo de K na casca e de Mg nos galhos (Tabelas 13 e 14). Os conteúdos de K na casca da serapilheira do tratamento que recebeu lixo urbano compostado foram maiores ( $p < 0,05$ ) do que os do tratamento com calcário. O Mg, nestes dois tratamentos, apresentou teores nos galhos da serapilheira superiores estatisticamente ( $p < 0,05$ ) à testemunha (tratamento 4).

**Tabela 13.** Análise de variância para conteúdo de K em kg ha<sup>-1</sup> na casca presentes na serapilheira aos 86 meses de idade das árvores e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                  | G.L. | S.Q.    | Q.M.    | Valor F | PROB. > F |
|-------------------------------------|------|---------|---------|---------|-----------|
| Bloco                               | 2    | 0,01970 | 0,00990 | 0,3770  | 0,70405   |
| Tratamento                          | 3    | 0,22190 | 0,07400 | 2,8287  | 0,12891   |
| Contraste trat. 1 vs trat. 2, 3 e 4 | 1    | 0,00902 | 0,00902 | 0,3452  | 0,58252   |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4    | 1    | 0,00005 | 0,00005 | 0,0019  | 0,96559   |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2        | 1    | 0,21282 | 0,21282 | 8,1392  | 0,02846   |
| Resíduo                             | 6    | 0,15690 | 0,02610 |         |           |
| Total                               | 11   | 0,39850 |         |         |           |

Médias por tratamento para potássio em kg ha<sup>-1</sup>: trat.1 = 0,54; trat.2 = 0,42; trat.3 = 0,80; trat.4 = 0,60  
Média geral = 0,59 kg ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 27,4 %.

**Tabela 14.** Análise de variância para o conteúdo de Mg em kg ha<sup>-1</sup> nos galhos presentes na serapilheira aos 86 meses de idade das árvores e teste f para contraste entre tratamentos.

| Causas da variação                  | G.L. | S.Q.    | Q.M.   | Valor F | PROB. > F |
|-------------------------------------|------|---------|--------|---------|-----------|
| Bloco                               | 2    | 2,4050  | 1,2025 | 1,3020  | 0,33972   |
| Tratamento                          | 3    | 6,3758  | 2,1253 | 2,3011  | 0,17698   |
| Contraste trat. 1 vs trat. 2, 3 e 4 | 1    | 0,3403  | 0,3403 | 0,3684  | 0,57049   |
| Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4    | 1    | 6,0089  | 6,0089 | 6,5059  | 0,04243   |
| Contraste trat. 3 vs trat. 2        | 1    | 0,0267  | 0,0267 | 0,0289  | 0,86446   |
| Resíduo                             | 6    | 5,5417  | 0,9236 |         |           |
| Total                               | 11   | 14,3225 |        |         |           |

Médias por tratamento para Mg em kg ha<sup>-1</sup>: trat.1 = 5,73; trat.2 = 6,77; trat.3 = 6,63; trat.4 = 4,97;  
Média geral = 6,02 kg ha<sup>-1</sup>; coeficiente de variação = 15,9 %.

Observou-se que não houve diferença estatística entre tratamentos, para a maioria dos dados de conteúdos de nutrientes na serapilheira, aos 86 meses de idade, apesar da diferença de produtividade entre eles. O total de nutrientes da serapilheira (média entre tratamentos) acumulado na superfície do solo das parcelas de *E. grandis* aos 86 meses de idade (Tabela 12), equivale a 38,0 % de N, 13,3 % de P, 6,2 % de K, 54,5 % de Ca e 25,7 % de Mg, do total de nutrientes da biomassa aérea (Tabela 10). Estes valores foram inferiores aos relatados por Gonçalves et al. (2000b), para *E. grandis*, aos 84 meses idade.

Estas quantidades de nutrientes, presentes na serapilheira de *Eucalyptus grandis*, na idade de 86 meses, mostrou a importância da conservação da matéria orgânica acumulada na superfície do solo, quando do corte e da retirada da madeira das áreas reflorestadas, como um estoque adicional de nutrientes para a próxima rotação.

Diversos autores recomendam manter e conservar a serapilheira como uma reserva de nutrientes para o desenvolvimento inicial de um novo plantio (BOUILLET et al., 2000; GONÇALVES et al., 2000b; LACLAU et al., 2000; SANKARAN et al., 2000).

**Estoque de nutrientes:** Após a quantificação dos nutrientes na árvore e na serapilheira, anterior ao corte das árvores do experimento, foi possível fazer um balanço de nutrientes para cada tratamento, considerando o procedimento de exploração florestal da região, que processa a árvore no próprio local de plantio e exporta do sítio somente o alburno e o cerne (Tabela 15). No balanço, não foram incluídos os dados de raiz, assim como os nutrientes já liberados da serapilheira, além do estoque de nutrientes do solo.

**Tabela 15.** Quantidade total de N, P, K, Ca e Mg no sítio, considerando os nutrientes da biomassa de serapilheira e da biomassa da parte aérea da árvore, e as quantidades exportada pela colheita de madeira e remanescente (estoque) por tratamento aos 86 meses.

| Tratamento | Sítio          | N                   | P         | K          | Ca         | Mg        |
|------------|----------------|---------------------|-----------|------------|------------|-----------|
|            |                | kg ha <sup>-1</sup> |           |            |            |           |
| 1          | total          | 490                 | 42        | 105        | 305        | 79        |
| 1          | exporta        | 99                  | 10        | 15         | 56         | 17        |
| <b>1</b>   | <b>estoque</b> | <b>391</b>          | <b>32</b> | <b>91</b>  | <b>249</b> | <b>63</b> |
| 2          | total          | 589                 | 54        | 149        | 424        | 121       |
| 2          | exporta        | 108                 | 10        | 24         | 85         | 22        |
| <b>2</b>   | <b>estoque</b> | <b>481</b>          | <b>44</b> | <b>125</b> | <b>339</b> | <b>99</b> |
| 3          | total          | 652                 | 65        | 170        | 450        | 112       |
| 3          | exporta        | 139                 | 18        | 35         | 89         | 22        |
| <b>3</b>   | <b>estoque</b> | <b>512</b>          | <b>46</b> | <b>135</b> | <b>361</b> | <b>90</b> |
| 4          | total          | 512                 | 50        | 120        | 290        | 92        |
| 4          | exporta        | 108                 | 15        | 21         | 48         | 16        |
| <b>4</b>   | <b>estoque</b> | <b>405</b>          | <b>35</b> | <b>99</b>  | <b>242</b> | <b>76</b> |

O descascamento da madeira no campo, citado por Gonçalves (1995), pode representar uma economia de até 30 % do estoque de nutrientes contidos na biomassa aérea. Nos dados obtidos neste experimento, a quantidade de nutrientes na casca variou, com relação ao total contido na biomassa aérea, de 15 % para o N até 60 % para o Mg, representando, só esta operação de tirar a casca no campo,

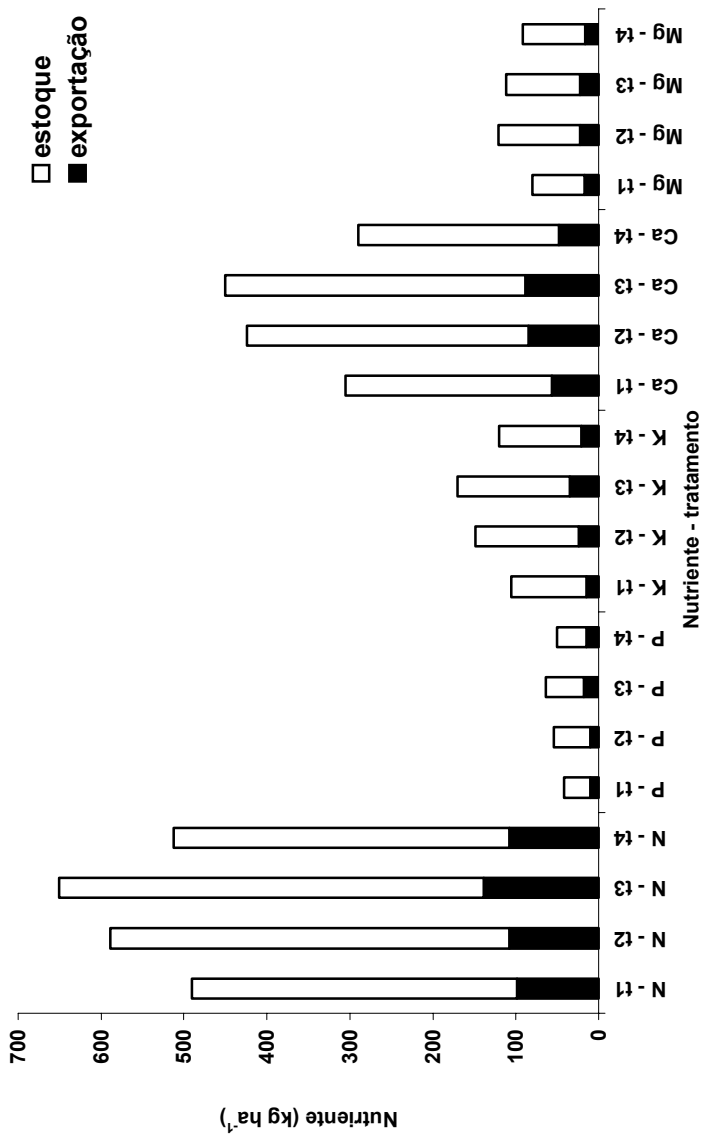
um valor médio de 32 % de retorno de nutrientes ao sítio, da parte aérea da árvore.

Os efeitos do descascamento das árvores no campo também foram constatados por Hopmans et al. (1993), concluindo que a remoção de nutrientes pela colheita da madeira de uma floresta de eucalipto representa geralmente uma pequena porcentagem da reserva disponível no solo. Por sua vez, o conteúdo na casca é alto quando comparado ao da madeira, podendo reduzir ainda mais a exportação de nutrientes do campo.

Na Figura 1, é mostrada a relação entre a quantidade de nutrientes que é exportada (cerne + alburno) em relação aquela permaneceu no sítio (estoque de serapilheira + casca, folhas e galhos das árvores) por tratamento.

Verificou-se, neste balanço de nutrientes, que as parcelas que receberam lixo orgânico compostado (tratamento 3) apresentaram as maiores quantidades de nutrientes no sítio, considerando o total na biomassa aérea arbórea e na

Fig. 1. Quantidade de N, P, K, Ca e mg exportada na colheita da madeira e remanescente no sítio (estoque) para cada tratamento aos 86 meses.



serapilheira, apresentando também os maiores estoques de nutrientes, após a exploração da área, com exceção somente de Mg, que foram maiores na parcela com calcário. Em comparação com a testemunha (tratamento 4), estes estoques representam a mais, aproximadamente 21 % para o N, 31 % para o P, 36 % para o K, 49 % para o Ca e 18 % para o Mg, valores estes que poderão contribuir significativamente para a manutenção da produtividade do sítio nas próximas rotações.

Estes resultados, mesmo não se levando em conta as perdas de nutrientes no solo por erosão, lixiviação e volatilização, reforçam a afirmação de Evans (1999) de que, sob certas condições, a exportação de nutrientes na exploração florestal pode ameaçar a sustentabilidade do sítio, mas, normalmente, os cuidados mais importantes para manter a qualidade do sítio devem concentrar-se nas operações de colheita da madeira, conservação da matéria orgânica e ao manejo da cobertura vegetal remanescente no solo.

## 4. CONCLUSÕES

A aplicação de lixo urbano orgânico compostado associada à adubação mineral em Neossolo Quartzarênico Órtico contribuiu para o aumento da produtividade de *E. grandis*, com um ganho 36,9 % na biomassa do tronco (cerne + alborno), aos 86 meses de idade.

A avaliação de nutrientes nas parcelas do experimento, aos 86 meses de idade, mostrou que as árvores do tratamento com lixo urbano orgânico compostado, mesmo acumulando as maiores quantidades de N, P, K e Ca no tronco, deixaram no campo, após a exploração da área, maiores estoques destes nutrientes nos resíduos vegetais (entre 18 % e 49 %), que poderão contribuir significativamente para a manutenção da produtividade do sítio.

O descascamento da árvore no campo durante a colheita representou, em média, uma economia de 32 % do estoque de nutrientes da biomassa aérea e, associado à manutenção da serapilheira no solo, constituem práticas importantes para aumentar o estoque de nutrientes para as próximas rotações.

## 5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. C. **Efeitos da aplicação de composto orgânico de lixo urbano e de fertilizante mineral em povoamentos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 2002. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 95-100, 1995.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Nutrição de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.

BOUILLET, J. P.; NZILA, J. D.; LACLAU, J. P.; RANGER, J. Effects of site management on *Eucalyptus* plantations in the equatorial zone, on the coastal plains of the Congo. In: SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS: a progress report, 1999, Kerala, India. **Workshop proceedings**. Bogor: CIFOR, 2000. p. 11-20. Editors: E. K. S. Nambiar; A. Tiarks; C. Cossalter; J. Ranger.

DIONISIO, J. A. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** 1996. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ELLIOTT, L. F.; STEVENSON, F. J. (Ed.). **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison: Soil Science Society of America, 1977. 650 p.

EVANS, J. **Sustainability of forest plantations: the evidence: a review concerning the narrow-sense sustainability of planted forests.** London: Department for International Development, 1999. 35 p. Disponível em: <[http://www.riverpath.com/library/pdf/sustainability\\_of\\_plantation\\_forestry.pdf](http://www.riverpath.com/library/pdf/sustainability_of_plantation_forestry.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2006.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE A. F. J.; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza y residuo de celulosa en la descomposicion y liberacion de nutrientes de la horajasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 101-104, 1995.



FERRO NETO, A. Solução regional para o aproveitamento do lixo urbano. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 157-163.

GONÇALVES, J. L. M. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS. 1., 1995, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1995. p. 43-60.

GONÇALVES, J. L. M.; SERRANO, M. I. P.; MENDES, K. C. F. S.; GAVA, J. L. Effects of site management in *Eucalyptus grandis* plantation in the humid tropics: São Paulo, Brazil. In: SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS: a progress report, 1999, Kerala, India. **Workshop proceedings**. Bogor: CIFOR, 2000a. p. 3-10. Editors: E. K. S. Nambiar; A. Tiarks; C. Cossalter; J. Ranger.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In : GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000b. p. 1-57.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; EIRA, A. F.; PENATTI, A.; TOLEDO, C. M.; MATSUMOTO, K.; MACHADO, R. W.; MELLO, S. L. M. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.

HOPMANS, P.; STEWART, H. T. L.; FLINN, D. W. Impacts of harvesting on nutrients in an eucalypt ecosystem in Southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 59, n. 1/2, p. 29-51, 1993.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; NZILA, J. de D.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a short rotation *Eucalyptus* plantation and an adjacent savanna in Congo. In: SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS: a progress report, 1999, Kerala, India. **Workshop proceedings**. Bogor: CIFOR, 2000. p. 95-99. Editors: E. K. S. Nambiar; A. Tiarks; C. Cossalter; J. Ranger.

McDONALD, M. A.; HAWKINS, B. J.; PRESOCOTT, C. E.; KIMMINS, J. P. Growth and foliar nutrition of western red cedar fertilized with sewage sludge, pup sludge, fish silage, and wood ash on northern Vancouver Island. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 24, n. 2, p. 297-301, 1994.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 385-414.

SANKARAN, K. V.; CHACKO, K. C.; PANDALAI, R. C.; KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. K.; SHARMA, J. K.; BALAGOPALAN, M.; BALASUNDARAN, M.; KUMARASWAMY, S.; SANKAL, S.; GILKES, R. J.; GROVE, T. S.; MENDHA, M. D. Effects of site management on *Eucalyptus* plantations in the monsoonal tropics – Kerala, Índia. In: SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS: a progress report, 1999, Kerala, Índia. **Workshop proceedings**. Bogor: CIFOR, 2000. p. 51-60. Editors: E. K. S. Nambiar; A. Tiarks; C. Cossalter; J. Ranger.

SILVA, H. D. da. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, plantados em solo de baixa fertilidade**. 1983. 91 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, H. D. da. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. 1996. 101 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

SMITH, W. H.; EVANS, J. O. Special opportunities and problems in using forest soils for organic waste application. In: ELLIOTT, L. F.; STEVENSON, F. J. (Ed.). **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p. 429-454.

SOUZA, C. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M.; GALVÃO, J. C. C. Uso do lodo primário da indústria de celulose e papel em povoamentos de Eucalipto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Resumos expandidos**. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p. 537-538.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: the first years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.

ZEN, S.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoamentos de eucalipto. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 25-40.

