



EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DE POTÁSSIO NA ALOCAÇÃO DE CARBONO EM PLANTAS DE EUCALIPTO MARCADAS COM $^{13}\text{C-CO}_2$

Gustavo **Furlan**¹; Osvaldo M.R. **Cabral**²; Jean-Paul **Laclau**³, Ana Paula C. **Packer**⁴; Viviane C.B. **Maximiliano**⁴; Marcelo **Moreira**⁵

Nº 14404

RESUMO - Neste trabalho são apresentados os resultados da alocação do carbono (C) recentemente assimilado em árvores de eucalipto submetidas a diferentes tratamentos com relação à disponibilidade hídrica (chuva normal e exclusão de 33%) e fertilização de potássio (0 e 4,5 Kmol ha⁻¹ na forma de KCl), utilizando-se o método da marcação com $^{13}\text{C-CO}_2$ (**^{13}C pulse labelling**). Observou-se que o aumento da velocidade de crescimento das árvores aumenta a partição do C fixado na madeira e a implicação prática desta constatação, considerando-se a produção de uma quantidade fixa de madeira, é que o consumo de recursos será menor maximizando-se a produtividade numa pequena área, ao contrário de plantações pouco produtivas ocupando áreas maiores.

Palavras-chaves: carbono; eucalipto; disponibilidade hídrica; potássio.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Química, PUCC, Campinas-SP; furlan.gustavo@bol.com.br

2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; osvaldo.cabral@embrapa.br

3 Colaborador, CIRAD.

4 Colaborador, Embrapa Meio Ambiente.

5 Colaborador, CENA-USP.



ABSTRACT- *This work presents the results about the carbon allocation (¹³C pulse labelling) in a three years old *Eucalyptus grandis* experimental area, where the trees were subjected to two levels of potassium fertilization (0 and 4.5 Kmol ha⁻¹ applied as KCl) as well as two levels of water availability (normal rainfall and exclusion of 33% of rainfall). The observed increase in the growth velocity of the trees enhanced the C partition in the wood. Therefore the resources consumption for the production of a fixed amount of wood will be lower in a smaller and more productive area than in a less productive larger plantation.*

Key-words: Eucalyptus; Carbon; water availability; potassium.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* representava em 2005 aproximadamente 8% das áreas florestais plantadas no mundo, ocupando 18 milhões de hectares, e as espécies mais utilizadas eram *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna* (FAO, 2007). No Brasil, o *Eucalyptus* é o principal gênero florestal plantado, ocupando 4,5 milhões de hectares (ABRAF, 2010), em áreas de baixa fertilidade, particularmente pobres em potássio (K) e submetidas a períodos de déficit hídrico (Gonçalves et al., 2008; Cabral et al., 2010). Estudos anteriores sugeriram uma correlação positiva entre a eficiência de recursos naturais (água, luz e nutrientes) nas plantações de *Eucalyptus grandis* e à adubação (Epron et al., 2012a); a diferenças de fertilidade do solo (Campoe et al., 2012) ou a diferenças de pluviometria das áreas (Stape et al., 2004), porém nestes trabalhos a alocação de C não foi medida diretamente.

Como a mortalidade de árvores sob seca prolongada pode ser consequência da depleção do carbono e ou de disfunção hidráulica (O'Grady et al., 2013), o papel da remobilização de C no adiamento da mortalidade das árvores sob estas condições sugere que este processo (Millard & Grelet, 2010), ainda pouco estudado para as plantações florestais no Brasil, merece mais atenção no contexto de mudanças climáticas (Cabral et al., 2011). A melhor compreensão dos efeitos ambientais sobre os processos de estocagem e remobilização de C nos plantios de eucalipto, podem contribuir para o sequestro de carbono da atmosfera e como fonte de energia renovável para a indústria siderúrgica e de produtos derivados, reduzindo a exploração predatória das florestas nativas.



2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP em Itatinga-SP (23°02'S; 48°38'W) numa área plantada em 2010 com um clone comercial de **E. grandis** no espaçamento 3 x 2 m, apresentando dois regimes hídricos W+ (100% das chuvas) e W- (66% das chuvas, com exclusão artificial por 1700 m² de polietileno transparente) e duas doses de potássio K- (0 kmol ha⁻¹) e K+ (4,5 kmol ha⁻¹) na forma de KCl aplicado 3 meses após o plantio (Battie-Laclau et al., 2013). Foram marcadas 12 árvores (três repetições por tratamento) em julho e agosto de 2012, injetando-se ¹³CO₂ nas câmaras cúbicas de polietileno transparente envolvendo totalmente as copas (Epron et al., 2012b).

A biomassa acima do solo e as raízes grossas das 12 árvores marcadas e de uma árvore não marcada em cada tratamento foram obtidas destrutivamente em novembro de 2012. Para cada uma das 16 árvores, as folhas jovens (idade aprox. < 2 meses) foram separadas das folhas mais velhas em cada terço da copa; dois tipos de galhos foram amostrados (diâmetro < 1 cm e > 1 cm). Discos foram coletados a cada 4 m a partir da base do tronco e a madeira foi separada da casca em cada disco. As raízes grossas foram escavadas e pesadas. Para as raízes médias (2<diâmetro<10 mm) e raízes finas, a biomassa por árvore foi estimada a partir dos valores médios obtidos em cada tratamento em maio de 2012 (as raízes médias foram separadas num total de 12 trincheiras de 1,5 m³) e as raízes finas com tradagem (até 15 m de profundidade em 3 posições). Os valores médios por m² foram multiplicados por 6 para estimar a biomassa de raízes médias e finas de cada árvore (6 m² por árvore no espaçamento de plantio de 3 m x 2 m).

Amostras representativas de cada compartimento das árvores foram moídas e os teores de carbono e δ¹³C foram determinados por meio da espectrometria de massa (*IRMS, Isotope-Ratio Mass Spectrometry*).

A abundância relativa (*Ab*) de ¹³C foi calculada com base na composição isotópica δ¹³C por meio da relação:

$$Ab = \frac{{}^{13}\text{C}}{{}^{12}\text{C} + {}^{13}\text{C}} = \frac{\left(\frac{\delta^{13}\text{C}}{1000} + 1\right) \times R_{VPDB}}{\left[\left(\frac{\delta^{13}\text{C}}{1000} + 1\right) \times R_{VPDB}\right] + 1} \quad (1)$$

e R_{VPDB} é a razão isotópica de Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB; 0,011179602).

O excesso de ¹³C foi calculado subtraindo-se a abundância relativa de ¹³C medida na mesma árvore antes da marcação (Ab_{UN}):



$$\text{Excesso } ^{13}\text{C} = Ab - Ab_{UN} \quad (2)$$

O excesso de ^{13}C para a copa foi calculado para cada árvore como a média ponderada do excesso nas folhas coletadas na parte superior, média e inferior das copas, conhecendo-se a distribuição da biomassa foliar nestes três compartimentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de ^{13}C encontradas na copa das árvores (Figura 1a) imediatamente após a marcação foram aproximadamente 4 vezes maiores no tratamento mais produtivo (+K+W) com relação ao menos produtivo (K-W-). Este resultado é consistente com outros estudos no mesmo experimento que mostram uma forte resposta à aplicação de K e à redução de chuva, em termos de área foliar e parâmetros fotossintéticos das folhas (Battie-Laclau et al., 2014).

Como aproximadamente 25% do ^{13}C acumulado nas árvores durante a marcação foi encontrado no início do verão (em novembro de 2012) em todos os tratamentos (Figura 1b), a proporção do C fixado no início do inverno e que permaneceu nas árvores por 3-5 meses parece não ter sido influenciada pelas condições ambientais, mesmo que as deficiências em K e em água tenham alterado consideravelmente as quantidades de carbono alocadas em cada compartimento das árvores.

Estudos anteriores mostraram que a deficiência em K reduz consideravelmente o prazo de vida das folhas nas plantações de *E.grandis*, mas não influencia a quantidade de folheto depositado (Laclau et al., 2009; Epron et al., 2012a; Battie-Laclau et al., 2013). A perda de aproximadamente 75% do ^{13}C fixado entre a marcação e o início da época chuvosa em novembro de 2012 corresponde a uma saída de ^{13}C das árvores devida principalmente à respiração dos tecidos, exsudados radiculares, mortalidade de raízes finas e queda de folhas. Os resultados obtidos são consistentes com uma eficiência no uso do carbono de 0,53 utilizada em vários estudos sobre plantações de eucaliptos no Brasil (Cabral et al., 2011; Campoe et al., 2012, Epron et al., 2012a, Nouvellon et al., 2012). Considerando-se que a respiração dos tecidos representa aproximadamente 50% do C fixado em plantações de *E.saligna* no Hawaii (Giardina et al., 2003), os outros processos responsáveis pela saída de C das árvores teriam consumido os restantes 25% do ^{13}C fixado entre a marcação até o início da época chuvosa em Novembro de 2012, em todos os tratamentos.

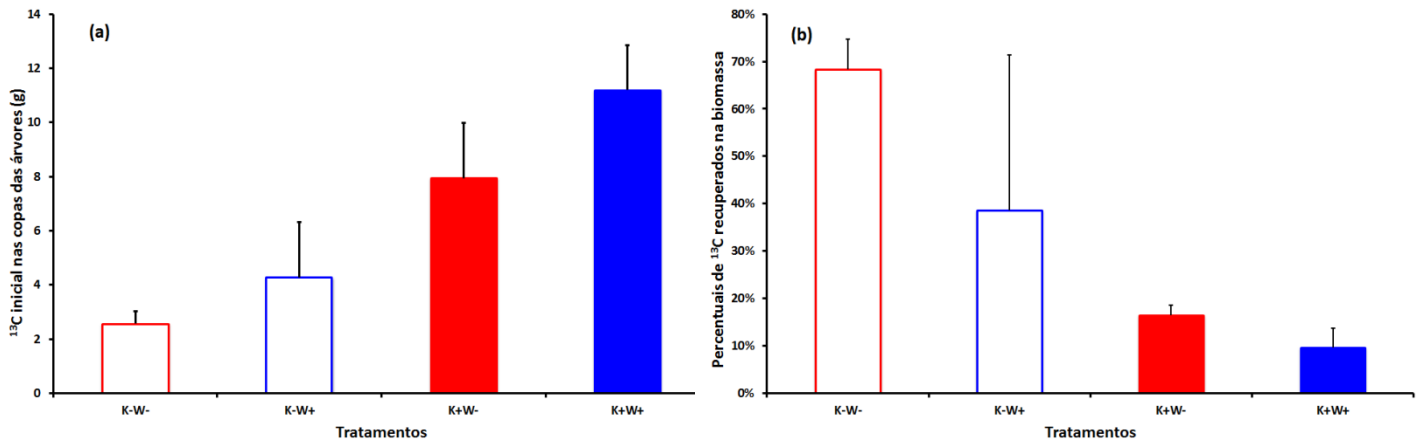


Figura 1. Média e desvio padrão ($n=3$) do excesso de ^{13}C nas folhas imediatamente após a marcação (a), e percentagem da quantidade ^{13}C em excesso encontrada na biomassa total das árvores marcadas amostradas em novembro de 2012 (b). Tratamentos W (+ 100% e – 33% da precipitação) K(+ 4,5 e – 0 kmol ha^{-1}).

A madeira do tronco (Figura 2a) representou um importante reservatório de ^{13}C com perto da metade do total encontrado nas árvores (Figura 2b). Este resultado é consistente com as concentrações de ^{13}C medidas no floema que mostraram uma queda importante entre a base da copa e a base do tronco, o que sugere a maior alocação de ^{13}C na parte inferior do tronco. O ranking entre as quantidades de ^{13}C encontradas em novembro de 2012 nos 4 tratamentos foi o mesmo em cada compartimento das árvores: o maior estoque de ^{13}C inicial após a marcação conduziu ao maior acúmulo de ^{13}C depois de 3-5 meses, quando do início da época chuvosa.

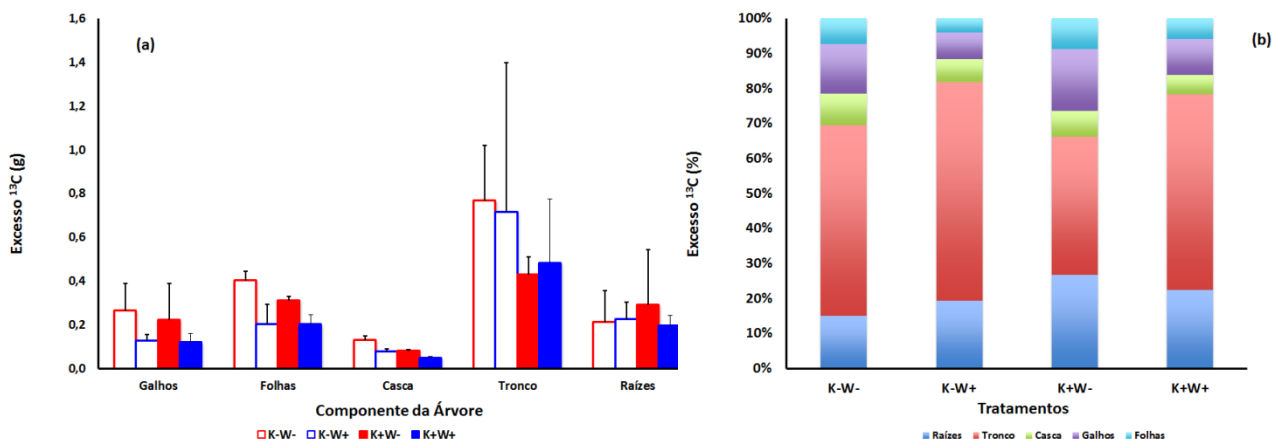


Figura 2. Média e desvio padrão ($n=3$) do excesso de ^{13}C em cada compartimento das árvores marcadas (a), e a proporção em cada compartimento com relação ao total de ^{13}C em excesso (b). Tratamentos W (+ 100% e – 33% da precipitação) K(+ 4,5 e – 0 kmol ha^{-1}).

Conforme a hipótese inicial, além da quantidade de ^{13}C alocada na madeira, a percentagem de ^{13}C na biomassa total armazenada na madeira aumentou também com a velocidade de crescimento das árvores, de 37% no tratamento menos produtivo (K-W-) até 54% no tratamento o mais produtivo K+W+ (Figura 2b). Este estudo confirma a partir do monitoramento do destino do ^{13}C fixado a tendência sugerida por estudos indiretos anteriores, que o aumento da velocidade de crescimento das árvores aumenta a partição do C fixado na madeira. Este comportamento contribui com o aumento da eficiência de uso dos recursos naturais (água, nutrientes, luz) na produção de madeira (Binkley et al., 2004). A implicação prática desta constatação, considerando-se a produção de uma quantidade fixa de madeira, é que o consumo de recursos será menor maximizando-se a produtividade numa pequena área, ao contrário de plantações pouco produtivas ocupando áreas maiores.

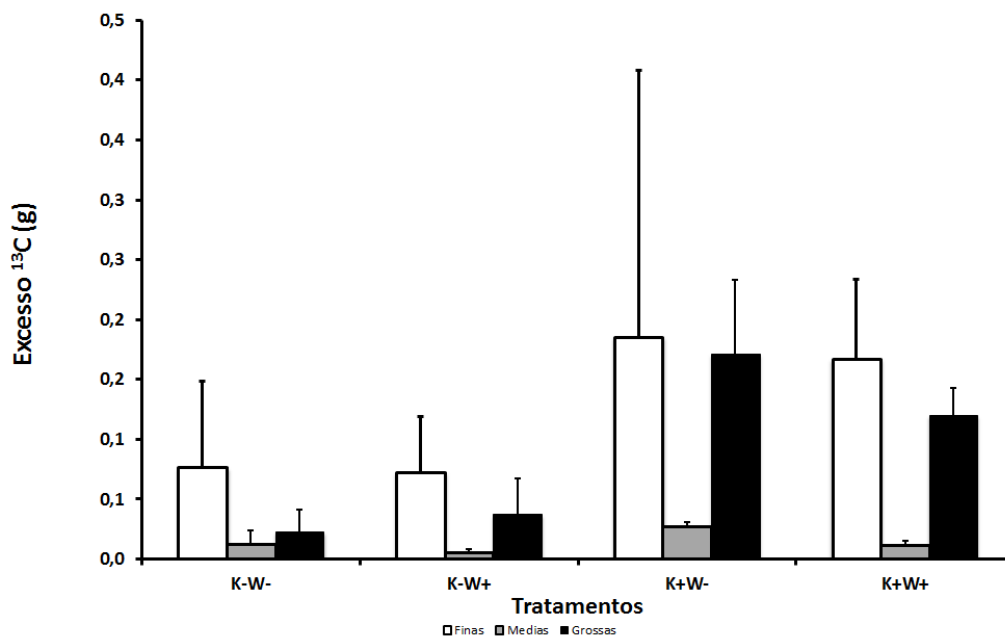


Figura 3. Média e desvio padrão ($n=3$) do excesso de ^{13}C em cada tipo de raiz nas árvores marcadas. 'Finas' são raízes com um diâmetro < 2 mm; 'Médias' 2 < diâmetro < 10 mm e 'Grossas' são raízes com diâmetro > 10 cm. Tratamentos W (+ 100% e - 33% da precipitação) K(+ 4,5 e - 0 kmol ha^{-1}).

A quantidade de ^{13}C encontrada nas raízes em novembro de 2012 (Figura 3) foi aproximadamente 3 vezes maior nos tratamentos com adubação potássica do que nos tratamentos com deficiência em K, e os maiores reservatórios foram as raízes finas e grossas em todos os tratamentos. A segunda hipótese do estudo, que a exclusão de chuva aumentaria a quantidade de ^{13}C alocada nas raízes finas não foi verificada. Contudo não podemos excluir a possibilidade da



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

subestimativa da quantidade de ^{13}C nas raízes finas, no caso de ter ocorrido alocação preferencial do ^{13}C nas raízes profundas durante a época seca, pois medimos as concentrações de ^{13}C em raízes superficiais das árvores marcadas. O papel fundamental das raízes profundas para o crescimento e a sobrevivência das árvores durante secas prolongadas em solos tropicais é conhecido, mas os processos do funcionamento das raízes profundas foram muito pouco estudados (Laclau et al., 2013).

4 CONCLUSÃO

Entre a marcação e o início da época chuvosa em novembro de 2012 observou-se a perda de aproximadamente 75% do ^{13}C inicialmente fixado pelas árvores devido principalmente à respiração dos tecidos, exsudados radiculares, mortalidade de raízes finas e queda de folhas, e a biomassa do tronco representou um importante reservatório de ^{13}C com aproximadamente 50% do total encontrado nas árvores. A partir do monitoramento do destino do ^{13}C fixado confirmou-se que o aumento da velocidade de crescimento das árvores aumenta a partição do C fixado na madeira: de 37% no tratamento menos produtivo (K-W-) até 54% no tratamento o mais produtivo (K+W+).

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – PIBIC, pela bolsa concedida; a Embrapa Meio Ambiente pela oportunidade de estágio e a FAPESP (2011/09272-5).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF). **ABRAF Statistical Yearbook**. Base year 2009, 2010.

Battie-Laclau P., Laclau J.-P., Piccolo M.C., Arenque B.C., Beri C., Mietton L., Muniz M.R.A., Vazami B.K., Jordan-Meille L., Buckeridge M.S., Nouvellon Y., Gloria B.A., Ranger J., Bouillet J.-P., 2013. How does potassium and sodium nutrition influence leaf area and its components in *Eucalyptus grandis* trees? **Plant and Soil**, 371, 19-35.

Battie-Laclau P., Laclau J.-P., Beri C., Mietton L., Muniz M.R.A., Arenque B.C., Piccolo M.C., Jordan-Meille L., Bouillet J.-P., Nouvellon Y., 2014. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell & Environment**, 37, 70-81.

Binkley D., Stape J.L., Ryan M.G., 2004. Thinking about efficiency of resource use in forests. **Forest Ecology and Management**, 193, 5–16.

Cabral, O.M.R., Rocha, H.R., Gash, J.H.C., Ligo, M.A.V., Freitas, H.C., Tatsch, J.D., 2010. The energy and water balance of a *Eucalyptus* plantation in southeast Brazil. **Journal of Hydrology**, 388, 208-216.



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

Cabral, O.M.R., Gash, J.H.C., Rocha, H.R., Marsden, C., Ligo, M.A.V., Freitas, H.C., Tatsch, J.D., Gomes, E., 2011. Fluxes of CO₂ above a plantation of Eucalyptus in southeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 151, 49–59.

Campoe O.C., Stape J.L., Laclau J.P., Marsden C., Nouvellon Y., 2012. Stand-level patterns of carbon partitioning and light use efficiency of Eucalyptus grandis across a gradient of productivity in São Paulo State, Brazil. **Tree Physiology**, 32, 696–706.

Epron D., Laclau J.-P., Almeida J.C.R., Gonçalves J.L.M., Ponton S., Sette Jr C.R., Delgado-Rojas J.S., Bouillet J.-P., Nouvellon Y., 2012a. Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical Eucalyptus plantations? **Tree Physiology**, 32, 667-679.

Epron, D., Bahn, M., Derrien, D., Lattanzi, F.A., Pumpanen, J., Gessler, A., Högberg, P., Maillard, P., Dannoura, M., Gerant, D., Buchmann, N., 2012b. Pulse-labelling trees to study carbon allocation dynamics: a review of methods, current knowledge and future prospects. **Tree Physiology**, 32, 776–798.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2008. Current world fertilizer trends and outlook to 2012. **FAO/FO/C**. Rome, 34 p.

Giardina C.P., Ryan M.G., Binkley D., Fownes J.H., 2003. Primary production and carbon allocation in relation to nutrient supply in a tropical experimental forest. **Global Change Biology**, 9, 1438–1450.

Gonçalves, J.L.M., Stape, J.L., Laclau, J.P., Bouillet, J.P., Ranger, J. 2008. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**. Grahamstown, v. 70, n. 2, p. 105–118.

Laclau J.-P., Almeida J.C.R., Gonçalves J.L.M., Saint-André L., Ventura M., Ranger J., Moreira R.M., Nouvellon Y., 2009. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf life span and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. **Tree Physiology**, 29, 111-124.

Laclau J.-P., Silva, E. A., Lambais, G., Bernoux, M., le Maire, G., Stape, J.L., Bouillet, J.P., Gonçalves, J.L.M., Jourdan, C., Nouvellon, Y., 2013. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m in Eucalyptus grandis plantations. **Frontiers in Plant Science**, vol. 4, article 243.

Millard P, Grelet GA, 2010. Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. **Tree Physiology**, 30, 1083–1095.

Nouvellon, Y., Laclau, J.P., Epron, D., Le Maire, G., Bonnefond, J.M., Gonçalves, J.L., Bouillet, J.P., 2012. Production and carbon allocation in monocultures and mixed-species plantations of Eucalyptus grandis and Acacia mangium in Brazil. **Tree Physiology**, 32, 680-695.

O'Grady A.P., Mitchell P.J.M., Pinkard E.A., Tissue D.T., 2013. Thirsty roots and hungry leaves: unravelling the roles of carbon and water dynamics in tree mortality. **New Phytologist** 200: 294–297

Stape J.L., Binkley D., Ryan M.G., 2004. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management** 193, 17–31.