

Biomassa e nutrientes no tronco de clones de eucalipto em plantio de curta rotação**Biomass and nutrients in the trunk of eucalyptus clones in short rotation planting**

DOI: 10.34115/basrv3n5-006

Recebimento dos originais: 10/08/2019

Aceitação para publicação: 26/09/2019

Luana Inácio Fernandes

Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul

Instituição: UFMS/CPCS

Endereço: Rod. MS 306, Km 105 CxP 112, Chapadão do Sul, MS CEP:79560-000

E-mail: luana_i.f@hotmail.com

Ana Paula Leite de Lima

Doutora em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul

Endereço: Rua Nove, 857, Centro, Chapadão do Sul, MS CEP: 79560-000

E-mail: paula.leite@ufms.br

Sebastião Ferreira de Lima

Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul

Endereço: Rua Nove, 857, Centro, Chapadão do Sul, MS CEP: 79560-000

E-mail: sebastiao.lima@ufms.br

Rodrigo Parpineli Corrêa

Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul

Instituição: UFMS/CPCS

Endereço: Rod. MS 306, Km 105 CxP 112, Chapadão do Sul, MS CEP:79560-000

E-mail: parpineli.florestal@outlook.com

Aline Lorraine Souza Queiroz

Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul

Instituição: UFMS/CPCS

Endereço: Rod. MS 306, Km 105 CxP 112, Chapadão do Sul, MS CEP:79560-000

E-mail: luana_i.f@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a biomassa e o estoque de macronutrientes no lenho e na casca de clones de eucalipto plantados em diferentes espaçamentos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, esquema fatorial, combinando três clones de eucalipto (A01, A02 e GG100) e cinco espaçamentos (3,0 x 1,0 x 0,8 m; 3,0 x 1,0 x 1,0 m; 3,0 x 1,0 m; 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m), com três repetições. Aos 36 meses de idade foi selecionada e abatida uma árvore de diâmetro médio por parcela. A biomassa total do tronco de cada planta foi obtida em campo. Em seguida, foram retirados discos destes troncos, em diferentes posições da sua altura comercial. No laboratório as amostras foram separadas em lenho e casca, pesados e secos em estufa para determinação da massa seca. Amostras destes materiais foram moídas e analisadas quanto ao teor de nutrientes. Calculou-se ainda, a eficiência do uso de nutrientes (EUN) para o lenho e a casca. O espaçamento e os clones de eucalipto influenciaram na produção de biomassa, no estoque de nutrientes e na EUN no tronco das árvores. O GG100 apresentou as menores quantidades de biomassa e nutrientes estocados. Foram encontradas quantidades elevadas de K e Ca no lenho e na casca das árvores. As quantidades de nutrientes na casca e no lenho foram $K > N > Ca > Mg > P$ e $Ca > K > N > Mg > P$, respectivamente

Palavras-chave: Florestas energéticas; Biomassa aérea; Eficiência do uso de nutrientes..

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the biomass and macronutrient stock in wood and bark of eucalyptus clones planted in different spacings. The experimental design was a randomized block, factorial scheme, combining three eucalyptus clones (A01, A02 and GG100) and five spacings (3.0 x 1.0 x 0.8 m; 3.0 x 1.0 x 1.0 m, 3.0 x 1.0 m, 3.0 x 1.5 m, and 3.0 x 2.0 m), with three replicates. At 36 months of age a tree of average diameter per plot was selected and felled. The total trunk biomass of each plant was obtained in the field. Then discs were removed from these trunks at different positions of their commercial height. In the laboratory the samples were separated in wood and bark, weighed and oven dried to determine the dry mass. Samples of these materials were ground and analyzed for nutrient content. The efficiency of nutrient use (EUN) for wood and bark was also calculated. Eucalyptus spacing and clones influenced biomass production, nutrient stock and EUN in tree trunk. The GG100 presented the lowest amounts of stored biomass and nutrients. High amounts of K and Ca were found in the wood and bark of the trees. Nutrient amounts in bark and wood were $K > N > Ca > Mg > P$ and $Ca > K > N > Mg > P$, respectively.

Keywords: Energy forests; Aerial biomass; Nutrient removal

1 INTRODUÇÃO

A forte pressão exercida pela sociedade para a redução da emissão de poluentes leva a busca por combustíveis provenientes de fontes renováveis e, nesse cenário, destaca-se a biomassa (CARNEIRO et al., 2014). Entretanto, para aumentar a eficiência de conversão da biomassa em energia é necessária a adoção de técnicas apropriadas para avaliar o seu verdadeiro potencial (SILVA et al., 2012).

A biomassa é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética, pois o processo de sua conversão pode resultar na geração de três tipos de combustíveis diferentes (sólido, líquido e gasoso), o que acaba se tornando vantajoso comparado a outras fontes energéticas, uma vez que se verifica certa flexibilidade de adaptação tecnológica, além de ser adquirida de diferentes formas, como: resíduos culturais agrícolas e florestais, resíduos industriais e plantios energéticos ou florestas nativas (MULLER et al., 2005).

O país apresenta condições naturais e geográficas favoráveis à produção de biomassa e a escolha da espécie é de extrema importância para seu aproveitamento como fonte alternativa de energia (MOREIRA, 2011). Desta forma, as espécies do gênero *Eucalyptus*, se destacam como uma opção para esse fim em razão do seu rápido crescimento, alta massa energética, tolerância a condições extremas, silvicultura já estabelecida e possibilidade de adensamento de plantios (LOPES et al., 2017).

As florestas plantadas para fins energéticos têm como objetivo produzir maior quantidade de biomassa por unidade de área, através da adoção de espaçamentos menores e rotações mais curtas do que se utiliza em sistemas silviculturais convencionais (GUERRA et al., 2012), visto que a competição entre plantas se estabelece mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento das árvores (ELOY et al., 2010).

No entanto, o espaçamento de plantio influencia no crescimento das árvores, principalmente em diâmetro, volume e produção de biomassa (LIMA et al., 2013). Desta forma, quanto menor o espaçamento, menor o diâmetro das plantas e, conseqüentemente, menor volume de madeira produzido por árvore (REINER et al., 2011), resultado de uma maior competição por fatores de crescimento (SOARES et al., 2018). Por outro lado, quanto maior a densidade de plantio, maior a produção de biomassa por unidade de área (LOPES et al., 2017).

A produção de biomassa, bem como as concentrações dos nutrientes nos diversos componentes das árvores de eucalipto, tem relação direta com a densidade de plantio (HERNANDÉZ et al., 2009) e, em plantios onde a densidade populacional é maior, a exportação de nutrientes é expressivamente elevada (ZAIA; RODRIGUES, 2004). Além disso, explorações intensivas, em rotações mais curtas, têm sido apontadas como as principais responsáveis pelo exaurimento do solo (VIERA; SCHUMACHER, 2011).

As árvores alocam diferentes quantidades de nutrientes nos seus compartimentos. Em geral, as espécies de eucalipto concentram uma grande quantidade de potássio em seu tronco, enquanto, a casca concentra a maioria do cálcio encontrado na árvore (GUIMARÃES et al., 2015). Portanto, esses dois nutrientes podem limitar a produtividade da cultura em um próximo ciclo,

quando se considera a colheita do tronco com a casca. Porém, esta limitação pode ser substancialmente reduzida, principalmente para o cálcio, se for realizada a colheita, apenas, do lenho (SANTANA et al., 2002).

Segundo Guimarães et al. (2015), a retirada apenas do lenho proporciona a menor remoção de nutrientes do sistema, com manutenção daqueles acumulados nos demais componentes da biomassa, em relação à colheita da madeira com casca, que é normalmente retirada do sítio junto com o lenho na colheita florestal. Dessa forma, o conhecimento da alocação de nutrientes nos diferentes compartimentos das plantas permite ao silvicultor optar por técnicas de colheita que reduzam a exportação de nutrientes do sítio, contribuindo para manter a qualidade deste (SANTANA et al., 2008; GATTO et al., 2014).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a produção de biomassa, o estoque de macronutrientes e a eficiência de utilização destes nutrientes no tronco de clones de eucalipto plantados em diferentes espaçamentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda São Roque, em área pertencente à empresa Cerradinho Bioenergia, em Serranópolis-GO. A cobertura vegetal original do município é de Cerrado e a classe de solo predominante é Neossolo Quartzarênico. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno e precipitação média anual de 1.579 mm. A temperatura média anual é de 23,3°C (IBGE, 2016).

O experimento foi instalado em dezembro de 2013, em blocos casualizados, esquema fatorial 3x5, avaliando três clones de eucalipto (A01, A02, GG100), híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, plantados em cinco espaçamentos (3,0 x 1,0 x 0,8 m; 3,0 x 1,0 x 1,0 m, dispostos em linhas duplas; 3,0 x 1,0 m; 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m, em linhas simples), com três repetições. As parcelas de linhas simples foram constituídas por quatro linhas e, as parcelas com linhas duplas, por seis linhas, com 12 plantas cada.

Aos 36 meses de idade foi selecionada e abatida uma árvore de diâmetro médio, por parcela, totalizando 45 árvores. Após o corte, cada árvore abatida teve seu lenho pesado com casca e, em seguida foram retirados discos com cerca de 5,0 cm de espessura, nas posições: zero (base da árvore); 1,30 m; 25%; 50%; 75% e 100% da altura comercial (diâmetro com casca equivalente a 3,0 cm). Os discos de madeira com casca foram pesados e em seguida encaminhados ao laboratório, onde foram separados em lenho e casca, e obtidas suas massas

verdes. Em seguida, estas foram colocadas para secar a temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$, até massa seca constante.

Para obtenção das amostras de tronco, os discos das diferentes seções foram seccionados em quatro porções (cunhas), onde foram separadas duas cunhas opostas de cada disco para retirada de fragmentos de lenho. Os fragmentos obtidos dos discos de cada árvore foram misturados para se obter uma amostra composta do tronco por árvore.

Após secagem, as amostras de casca e tronco foram encaminhadas ao laboratório de análises químicas para quantificação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).

A eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) para produção de biomassa do lenho e da casca das árvores foi calculada através da metodologia proposta por Barros et al. (1986), ou seja, pela razão entre a biomassa de lenho (kg ha^{-1}) e o conteúdo de nutrientes acumulados no lenho (kg ha^{-1}).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis estudadas, com exceção para o estoque de magnésio presente no lenho, por unidade de área (LMGH), foram influenciadas pela interação entre o espaçamento e o clone (Tabela 1).

Tabela 1 - Quadrado médio para as variáveis estudadas em função do clone e espaçamento.

FV	Blocos	Clone	Esp.	Esp. x Clone	Erro	CV (%)	
GL	2	2	4	8	28		
Quadrado Médio	BLH	3,4044	3291,1692*	158,1809*	371,3231*	2,1575	2,35
	BCH	0,3864	37,4839*	3,7380*	5,656677*	0,483348	9,15
	LNH	33,7407	4854,1010**	4085,0062*	1629,4459*	30,1672	6,83
	LPH	9,3647	163,2401*	39,7588*	35,6265**	7,73	26,78
	LKH	27,8136	4271,4948*	1223,6683*	724,5922*	28,7559	5,79
	LCAH	7,3242	7106,0924*	2696,2516*	1829,1190*	32,3932	9,25
	LMGH	161,3299	377,3124ns	248,5865ns	106,1781ns	165,2920	90,13
	CNH	8,5077	274,2024**	57,9236*	138,5888*	11,6309	10,85
	CPH	0,4568	18,8109*	5,6153*	14,7204*	1,5561	12,82

CKH	14,1121	368,5873*	939,5664*	195,7262*	25,3183	9,48
CCAH	160,7669	35427,2862*	1649,4392*	5289,0660*	325,3330	9,56
CMGH	2,3375	529,6290*	44,3061*	55,9280*	4,7900	10,40

*significativo ao nível de 5% de probabilidade; **significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns= não significativo; Esp.= espaçamento; BLH= biomassa de lenho ha⁻¹; BCH= biomassa de casca ha⁻¹; LNH= nitrogênio no lenho ha⁻¹; LPH= fósforo no lenho ha⁻¹; LKH= potássio no lenho ha⁻¹; LCAH= cálcio no lenho ha⁻¹; LMGH= magnésio no lenho ha⁻¹; CNH= nitrogênio na casca ha⁻¹; CPH= fósforo na casca ha⁻¹; CKH= potássio na casca ha⁻¹; CCAH= cálcio na casca ha⁻¹; CMGH= magnésio na casca ha⁻¹.

A produção de biomassa de lenho e casca por hectare variou com o clone e o espaçamento. Em geral, o GG100 foi o menos produtivo, tanto para o lenho quanto para a casca. Para este clone, a maior produtividade foi encontrada no espaçamento 3,0 x 1,5 m (Tabela 2) enquanto, para os clones A01 e A02, as maiores produtividades foram observadas nos espaçamentos em linhas duplas (3,0 x 1,0 x 0,8 m e 3,0 x 1,0 x 1,0 m, respectivamente), cuja área útil por planta varia de 1,6 a 2,0 m² planta⁻¹. Assim, embora o espaçamento adensado promova menor produção de biomassa de lenho por árvore, a elevada densidade populacional proporciona maior produção de lenho por unidade de área. Oliveira Neto et al. (2003), avaliando a produção e a distribuição de biomassa em *E. camaldulensis* aos 32 meses, em resposta ao espaçamento, constataram que os maiores valores de biomassa de lenho por hectare foram observados nos espaçamentos mais reduzidos, quando comparados àqueles mais amplos.

Tabela 2 - Biomassa de lenho e casca (Mg ha⁻¹) de clones de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, plantados em cinco espaçamentos de plantio, aos 36 meses de idade.

Clone/Esp.(m)	Biomassa de lenho (Mg ha ⁻¹)				
	3,0 x 1,0 x 0,8	3,0 x 1,0 x 1,0	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0
A01	86,39 a A	64,77 b C	64,30 b C	82,85 a B	81,03 a B
A02	51,20 b D	71,64 a A	70,66 a AB	67,57 b B	63,68 b C
GG100	50,32 b B	41,38 c C	53,86 c AB	56,34 c A	29,96 c D
	Biomassa de casca (Mg ha ⁻¹)				
A01	11,11 a A	7,86 a BC	7,17 ab C	9,18 a B	9,27 a B
A02	6,77 b C	7,20 a BC	8,34 a AB	9,01 a A	9,00 a A
GG100	6,55 b A	5,65 b A	5,91 b A	7,00 b A	3,90 b B

Para cada compartimento, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

De modo geral, aos 36 meses de idade, a biomassa de lenho por hectare nos espaçamentos mais amplos se aproximou, ou mesmo, superou a produção observada naqueles mais adensados (Tabela 2). Esse resultado pode ser explicado pela lei de crescimento contínuo onde, com passar do tempo, a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos (MULLER et al., 2005). Assim, como a estagnação de crescimento em plantios mais adensados, ocorre mais cedo quando comparado a plantios em espaçamentos amplos, espera-se que em rotações mais longas, estes acabem produzindo, até mesmo, menos madeira do que aqueles que utilizam espaçamentos maiores.

Para o clone A01 a maior produção de casca por hectare foi observada no espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,8 m, enquanto a menor quantidade foi verificada no 3,0 x 1,0 m (Tabela 2). Estudando a produção de biomassa da parte aérea de quatro espécies florestais, Caron et al. (2015) verificaram que o aumento da densidade de plantio apresentou relação direta com a produção de biomassa, inclusive de casca por unidade de área, aos 12 e 36 meses.

Para o clone A02 houve aumento na produção de biomassa de casca com o espaçamento de plantio (Tabela 2). Enquanto nos espaçamentos em linhas duplas, esse valor foi em média de 6,99 Mg ha⁻¹, nos espaçamentos maiores, em linhas simples (3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m), a biomassa de casca foi, em média, 29% maior. Já para o clone GG100, a menor biomassa de casca foi observada no espaçamento mais amplo (3,0 x 2,0 m), onde esse valor foi de 37,9% menor que os demais.

A biomassa de casca representou, em média, 11% da biomassa total do tronco. Resultado semelhante ao encontrado por Santana et al. (2002), que estudando eucalipto em diferentes regiões do Brasil verificaram que em média, a casca representa cerca de 13% da biomassa do tronco. E, por Salvador et al. (2016), que estudando *E. saligna*, aos 5 anos de idade, verificaram que esta biomassa representa 11,9% da biomassa total do tronco.

Quando se considera que a casca normalmente é retirada junto com o lenho na colheita para fins energéticos, a quantidade de biomassa retirada do sítio é ainda maior. Em um estudo realizado por Rosim et al. (2016) com *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 2,25 anos de idade, os componentes lenho e casca, juntos, representavam 75,8% da biomassa acima do solo. Estudando um povoamento de *E. urophylla* x *E. grandis*, aos sete anos de idade, Verão et al. (2016) verificaram que 97,6% da biomassa aérea estava alocada no lenho e na casca.

A quantidade de nutrientes no lenho também variou com o clone e o espaçamento (Tabela 3). A ordem da quantidade total dos nutrientes alocados no lenho foi K > N > Ca > Mg > P. Semelhante ao encontrado por Santana et al. (2002) em plantios de eucalipto com 4,5 anos de idade em diferentes regiões do Brasil.

Tabela 3 - Quantidade de N, P, K, Ca (kg ha⁻¹) no lenho de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, em cinco espaçamentos de plantio, aos 36 meses de idade.

Nutriente (Kg ha ⁻¹)	Clone	Espaçamento (m)				
		3,0 x 1,0 x 0,8	3,0 x 1,0 x 1,0	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0
N	A01	86,35 a B	60,40 b C	57,95 c C	95,37 a B	156,73 a A
	A02	62,74 b C	83,59 a B	89,51 a B	77,70 b B	133,76 b A
	GG100	54,67 b CD	42,76 c D	71,73 b A	69,44 b AB	57,91 c BC
P	A01	8,63 ab B	6,48 b B	6,43 b B	19,26 a A	10,74 a B
	A02	13,58 a A	16,76 a A	14,13 a A	13,51 b A	10,63 a A
	GG100	6,79 b A	5,57 b A	8,94 ab A	9,44 b A	4,93 b A
K	A01	120,97 a A	97,06 b B	66,48 c D	111,78 a A	83,60 b C
	A02	98,33 b C	126,61 a A	98,91 a BC	111,49 a B	101,90 a BC
	GG100	81,92 c A	77,22 c A	84,35 b A	82,61 b A	45,01 c B
Ca	A01	57,57 a C	58,34 a C	51,52 b C	136,80 a A	97,18 a B
	A02	43,59 b D	52,54 a C	66,00 a BC	70,95 b B	108,27 a A
	GG100	42,64 b A	37,27 b AB	41,26 b A	43,17 c A	24,01 b B

Para cada nutriente, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha, não se diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Comparando a produção de biomassa no lenho (Tabela 2) com a quantidade de nutrientes estocados no mesmo (Tabela 3), verifica-se que para nitrogênio e cálcio, por exemplo, embora os clones tenham obtido no espaçamento 3,0 x 2,0 m, a menor produção de biomassa ou mesmo, valores próximos ao encontrado no espaçamento mais adensado, a quantidade de nutrientes observados nos espaçamentos mais amplos foi maior do que naqueles mais adensados. Em espaçamentos maiores, as plantas têm maior área de solo para explorar, consequentemente, podem absorver maior quantidade de nutrientes do solo, o que pode explicar este resultado.

Quanto ao estoque de P no lenho das árvores, apenas para o clone A01, foi observada diferença significativa entre os espaçamentos (Tabela 3). Para esse nutriente, no espaçamento 3,0 x 1,5 m, foi encontrado 2,4 vezes mais P do que nos demais espaçamentos. Enquanto dentro da planta, o fósforo apresenta alta mobilidade, se concentrando, normalmente, em maiores quantidades nos órgãos mais jovens (VIERA e SCHUMACHER, 2010), no solo, ele é considerado um elemento de pouca mobilidade. E, a velocidade com que seu transporte ocorre, depende de fatores como a distância a ser percorrida por ele até as raízes da planta (FERNANDES et al., 1999). Assim, alguns fatores podem explicar este resultado, tais como, o local onde estava plantado os indivíduos deste clone tinham maior disponibilidade de fósforo

ou, houve maior desenvolvimento de raízes para este clone neste espaçamento. Ou, ainda, como este elemento se concentra em maior quantidade, nos órgãos mais jovens, pode ser que, neste espaçamento (3,0 x 1,5 m), as plantas estivessem com maior atividade cambial do que nos espaçamentos adensados e, por isso, apresentaram maior estoque de fósforo no lenho destas plantas. De acordo com Pallardy (2008), com a idade, os nutrientes de tecidos senescentes tendem a se deslocar para regiões com maior atividade metabólica.

Analisando a quantidade de potássio estocada no lenho das árvores nos diferentes espaçamentos (Tabela 3), verificou-se que para o clone GG100, houve variação significativa apenas entre o que foi encontrado no espaçamento 3,0 x 2,0 m (45,01 kg ha⁻¹) em relação aos demais (81,53 kg ha⁻¹). Para os clones A01 e A02, as maiores quantidades de K foram observadas nos espaçamentos mais adensados. O potássio é o segundo nutriente mais encontrado pelas plantas e possui como função principal a ativação de enzimas. Este nutriente está relacionado a manutenção do potencial osmótico da planta, influenciando na expansão celular e no transporte de íons, além de ser fundamental no movimento estomático. Assim, plantas bem supridas de potássio apresentam maior eficiência do uso da água, enquanto que plantas deficientes em potássio possuem menor desempenho fotossintético, devido à abertura estomática não acontecer de forma regular, reduzindo a entrada de CO₂ (PRADO, 2008). Desta forma, a deficiência desse nutriente pode então causar menores produtividades em rotações futuras.

Comparando o estoque de nutrientes nos clones dentro de cada espaçamento, pode-se observar que estes variam quanto a quantidade de nutrientes alocados no lenho (Tabela 3). De modo geral, o A01 alocou mais nutrientes no lenho do que o GG100.

A quantidade dos nutrientes alocados na casca também variou com o clone e o espaçamento (Tabela 4). A ordem da quantidade total dos nutrientes alocados na casca foi Ca > K > N > Mg > P. A casca normalmente é retirada do sítio junto com o lenho na colheita florestal e, por ser um dreno forte de nutrientes é muito importante na ciclagem biogeoquímica (SANTANA et al. 2008), desta forma, o ideal é que este compartimento da árvore permaneça na área após a colheita, como resíduo de exploração.

Tabela 4 - Quantidade de N, P, K, Ca e Mg (kg ha⁻¹) na casca de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, plantados em cinco espaçamentos, aos 36 meses de idade.

Nutriente (Kg ha ⁻¹)	Clone	Espaçamento (m)				
		3,0 x 1,0 x 0,8	3,0 x 1,0 x 1,0	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0
N	A01	45,89 a A	30,62 a BC	27,74 b C	37,64 a B	36,48 a B
	A02	25,62 b B	30,61 a AB	34,76 a A	31,48 a AB	35,14 a A

	GG100	33,01 b A	27,07 a A	28,88 ab A	31,41 a A	15,41 b B
P	A01	9,22 a B	7,30 b B	8,39 b B	11,58 a A	9,54 b B
	A02	7,62 a B	12,45 a A	11,13 a A	12,37 a A	12,32 a A
	GG100	9,26 a A	9,99 a A	10,88 ab A	8,18 b AB	5,74 c B
K	A01	78,87 a A	56,16 a BC	44,00 b D	57,04 ab B	44,48 a CD
	A02	55,61 b AB	63,24 a A	53,29 a A	64,53 a A	42,28 a B
	GG100	61,60 b A	54,34 a AB	45,91 ab B	47,64 b B	27,34 b C
Ca	A01	243,17 a A	217,67 a AB	196,80 a B	227,42 a AB	214,14 b AB
	A02	183,44 b B	203,11 a B	205,02 a B	180,80 b B	297,29 a A
	GG100	182,16 b A	110,74 b B	116,83 b B	161,98 bA	90,90 c B

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha, não se diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Para os nutrientes alocados na casca, não foi observado um padrão claro quanto à quantidade de nutrientes encontrados na mesma, em função do espaçamento de plantio e do clone utilizado (Tabela 4). Os clones A01 e A02 apresentaram, em geral, maiores quantidades de K e Ca que o clone GG100. Assim como para o lenho (Tabela 3), o P foi o nutriente com menor quantidade presente na casca (Tabela 4).

O clone A01 apresentou maior quantidade de P no espaçamento 3,0 x 1,0 m (Tabela 4). Para o A02, a maior quantidade desse nutriente foi encontrada no espaçamento mais adensado, contrário do observado para o GG100, onde foi observado menor quantidade do nutriente no espaçamento mais amplo. O clone GG100 apresentou uma quantidade de P em média 1,5 vezes menor no espaçamento 3,0 x 2,0 m se comparado aos demais.

O clone A01 apresentou maior quantidade de K no espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,8 m e menor no 3,0 x 2,0 m (Tabela 4). E, os clones A02 e GG100 apresentaram maiores quantidades de K nos espaçamentos de linha dupla e menores no espaçamento menos adensado (3,0 x 2,0 m).

O cálcio é o nutriente presente em maior quantidade na casca. Esta alta concentração de Ca na casca está relacionada à baixa mobilidade do elemento no floema das plantas e por ser, também, componente estrutural da membrana celular (BRUN et al., 2010). Segundo Salvador et al. (2016), a colheita da madeira com a casca potencializa a remoção de nutrientes do sítio florestal, principalmente do Ca. Avaliando o clone A01, a menor quantidade deste elemento foi encontrada no espaçamento 3,0 x 1,0 m (Tabela 4), se diferenciando de todos os outros. Os clones A02 e GG100 apresentaram menores quantidades de Ca no espaçamento 3,0 x 2,0 m, porém o clone GG100 tem 3,3 vezes menos Ca se comparado ao A02.

Em florestas com finalidade energética, costuma-se remover o tronco com casca, o que pode proporcionar uma grande exportação de nutrientes, visto que a casca contém uma grande

parcela destes. Segundo Santana et al. (2008), a biomassa da casca representa cerca de 13% da biomassa do tronco, entretanto contém 72% de Ca, 66% de Mg, 47% de P, 43% de K e 30% de N do total de nutrientes exportado do sítio pela colheita do tronco. No presente trabalho, aos 36 meses de idade, esta proporção foi em média de 75,9% de Ca, 49,8% de P, 36,6% de K e 29,2% de N (Tabelas 3 e 4).

Comparando os espaçamentos em linhas duplas (3,0 x 1,0 x 0,8 m e 3,0 x 1,0 x 1,0 m) com o espaçamento mais amplo (3,0 x 2,0 m), neste último a proporção de Ca, K e N na casca foi, respectivamente, 7,1%, 11,5% e 39,5% menor do que nos espaçamentos mais adensados (Tabelas 3 e 4). Para P, a proporção do elemento na casca foi semelhante entre estes espaçamentos. Desta forma, deve-se ponderar sobre a manutenção da capacidade produtiva do sítio antes da tomada de decisão quanto a forma de colheita florestal, como também, na escolha do espaçamento a ser utilizado na implantação de florestas.

A eficiência de uso de nutrientes (EUN) para a produção de lenho (Tabela 5), variou com os clones e espaçamentos estudados. Essa variação pode ter ocorrido por vários fatores, entre estes, podem ser mencionadas características do material genético; limitação de um ou mais nutrientes e relações hídricas (SANTANA et al., 2002). A EUN decresceu na seguinte ordem $P > Ca > N > K$.

Tabela 5 - Eficiência de utilização de nutrientes (EUN) no lenho de clones de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, plantados em cinco espaçamentos de plantio, aos 36 meses de idade.

Nutrient e	Clone	Espaçamento (m)				
		3,0 x 1,0 x 0,8	3,0 x 1,0 x 1,0	3,0 x 1,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0
N	A01	1006,73 a AB	1074,07 a A	1120,37 a A	870,66 a B	517,54 a C
	A02	811,97 b A	862,47 b A	790,59 b A	870,66 a A	476,91 a B
	GG100	939,39 a AB	969,70 ab A	750,92 b C	811,97 a BC	517,54 a D
K	A01	716,73 a B	668,65 a B	969,70 a A	741,42 a B	976,43 a A
	A02	517,54 b B	566,45 b B	716,73 b A	606,43 b AB	626,63 b AB
	GG100	626,63 a AB	536,06 b B	638,89 b AB	682,54 ab A	668,65 b A
Ca	A01	1507,94 a A	1120,37 b B	1263,23 ab AB	606,43 c C	837,22 b C
	A02	1428,57 a A	1369,05 a A	1083,33 b B	953,82 b B	589,60 c C
	GG100	1203,70 b A	1120,37 b A	1309,52 a A	1309,52 a A	1263,23 a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha, não se diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A EUN para o nitrogênio, nos espaçamentos mais adensados, foi aproximadamente o dobro da que foi observada no espaçamento mais amplo (Tabela 5). Para o Ca foi observado resultado semelhante ao do N, onde a EUN nos três espaçamentos mais adensados, foi mais elevada do que no 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m. Para o elemento K, a EUN não variou na mesma proporção, sendo que os espaçamentos em linhas simples foram, de modo geral, superiores às aquelas observadas nos espaçamentos em linhas duplas.

Quanto ao comportamento dos clones dentro de cada espaçamento (Tabela 5), observa-se que, de modo geral, o clone A01 apresenta maior EUN para todos os nutrientes considerados, nos espaçamentos 3,0 x 1,0 x 0,8 m, 3,0 x 1,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,0 m. Esse resultado indica que a eficiência no uso de nutrientes sofre interferência do espaçamento de plantio.

A EUN para o P sofreu influência do clone e do espaçamento, isoladamente (Figura 1). Os clones A01 e GG100 foram mais eficientes do que o A02. Quanto a eficiência do P em função do espaçamento, não houve diferença entre estes. Para o elemento Mg o clone A01 apresentou maior eficiência do que o clone A02.

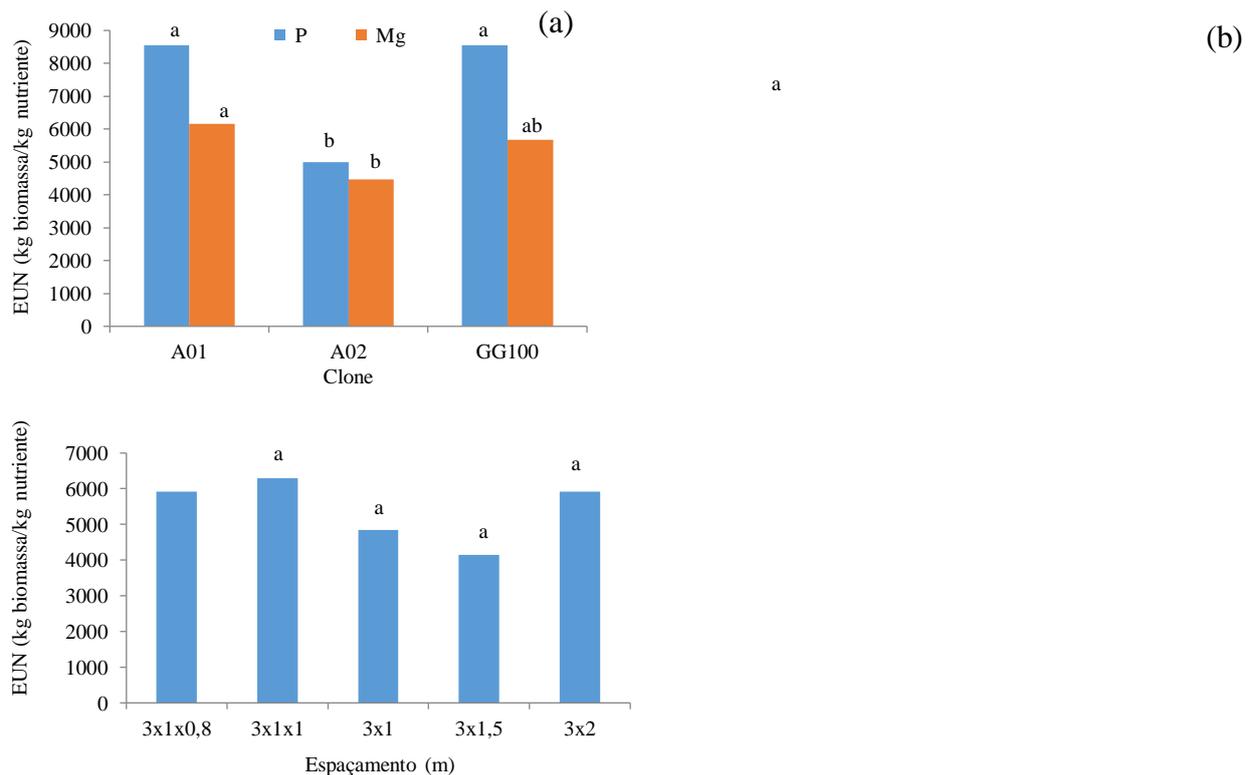


Figura 1 - Eficiência de utilização de nutrientes (EUN) no lenho, para fósforo (P) e magnésio (Mg) de três clones de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, (a) e, EUN para Mg, em função do espaçamento (b) aos 36 meses de idade (letras iguais, sobre colunas de mesma cor, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade).

A eficiência no uso de nutrientes para a produção de casca variou com os clones e os espaçamentos estudados (Tabela 6). A EUN para o N, entre os espaçamentos, variou com o clone. O clone A01 não apresentou variação na EUN entre os espaçamentos, enquanto, para o A02 só foi observada diferença entre a EUN obtida no espaçamento 3,0 x 1,5 m e nos 3,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,0 x 1,0 m, resultando para o primeiro em uma produção média de, aproximadamente, 48 kg a mais de biomassa de casca para a mesma quantidade de N estocado nas plantas. Quanto ao clone GG100, a maior eficiência foi observada no maior espaçamento, sendo esta, em média, 17,2% maior do que nos espaçamentos mais adensados. Quanto a variação dentro de cada espaçamento verificou-se que, de modo geral, o clone GG100 foi o menos eficiente no uso de nitrogênio (Tabela 6).

Para o elemento fósforo, o clone A01, nos espaçamentos em linhas duplas, mostrou maior EUN (31%) do que naqueles de linhas simples (3,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,5 m) (Tabela 6). Porém, para os demais clones, tanto espaçamentos em linhas duplas (adensados) quanto em linhas simples (mais amplos), apresentaram EUN semelhantes.

Tabela 6 - Eficiência de utilização de nutrientes (EUN) na casca de clones de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, plantados em cinco espaçamentos de plantio, aos 36 meses de idade.

Nutrient e	Clone	Espaçamento (m)				
		3,0 x 1,0 x 0,8	3,0 x 1,0 x 1,0	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0
N	A01	242,35 ab A	257,23 a A	258,66 a A	243,99 b A	259,92 a A
	A02	254,80 a AB	234,74 ab B	240,22 a B	285,87 a A	256,52 a AB
	GG100	212,77 b B	208,51 b B	205,80 b B	216,12 b AB	252,55 a A
P	A01	1216,93 a A	1090,07 a AB	858,59 a CD	732,60 a D	981,48 a BC
	A02	858,59 b A	577,34 b B	750,92 a AB	793,65 a A	732,60 b AB
	GG100	732,60 b AB	566,45 b BC	545,81 b C	858,59 a A	682,54 b ABC
K	A01	140,86 a C	140,27 a C	163,11 a B	161,48 a B	208,39 a A
	A02	121,96 b D	113,68 b D	150,90 b B	139,54 c C	212,83 a A
	GG100	109,90 c A	103,83 c A	128,77 c A	147,14 b A	142,26 b A
Ca	A01	45,77 a A	36,23 b C	36,45 c C	40,33 c B	43,32 a AB
	A02	35,85 b C	35,47 b C	40,71 b B	49,94 a A	30,30 b D
	GG100	36,97 b C	50,88 a A	50,59 a A	43,27 b B	43,01 a B
Mg	A01	400,43 a A	277,92 c C	394,87 b A	313,09 b BC	333,58 ab B
	A02	400,43 a A	349,21 b B	390,55 b AB	390,12 a AB	303,22 b C
	GG100	384,99 a BC	406,47 a AB	449,13 a A	413,05 a AB	353,62 a C

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha, não se diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Para o potássio, considerando os clones A01 e A02, a EUN aumentou com o espaçamento, enquanto, para o GG100 a eficiência foi semelhante entre os espaçamentos (Tabela 6) onde, em média, são de 126,38 kg de biomassa de casca produzida a cada quilo de potássio consumido.

Quanto a EUN para o Ca, não foi observado um padrão claro no comportamento da eficiência em função, tanto do espaçamento quanto do clone dentro de cada espaçamento (Tabela 6). O clone A01 mostrou maior eficiência no espaçamento mais adensado e o A02, no espaçamento 3,0 x 1,5 m. Enquanto o clone GG100 foi mais eficiente nos espaçamentos 3,0 x 1,0 x 1,0 m e no 3,0 x 1,0 m. De modo geral, o clone A02 foi menos eficiente do que o A01 ou o GG100, dentro de cada espaçamento. Apenas no espaçamento 3,0 x 1,5 m, o A02 foi o mais eficiente entre os clones avaliados.

A EUN para o Mg também não mostrou um padrão de comportamento em relação ao espaçamento (Tabela 6). Apenas para o clone A02 a EUN aumentou com a redução do espaçamento. Enquanto no espaçamento mais adensado foi produzido 400,43 kg de biomassa de casca por quilo de magnésio consumido, no espaçamento mais amplo esta produção foi de 303,22 kg, ou seja, aproximadamente 24% menos eficiente do que no espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,8 m.

4 CONCLUSÕES

O espaçamento de plantio e os clones de eucalipto influenciam na produção de biomassa, no estoque de nutrientes e na eficiência de utilização destes no tronco das árvores.

A biomassa de lenho por unidade de área é semelhante entre os espaçamentos. Enquanto, a biomassa de casca representa, em média, 11% da biomassa total de tronco.

As quantidades de nutrientes no lenho e na casca são $K > N > Ca > Mg > P$ e $Ca > K > N > Mg > P$, respectivamente.

O clone GG100 apresenta menores produtividades de biomassa e quantidade de nutrientes no lenho e na casca.

Os espaçamentos mais adensados apresentam maior eficiência de utilização de N e Ca para produção de lenho.

REFERÊNCIAS

BARROS, N. F.; BARROS, F.; NOVAIS, V.; BUONFIGLIO, D.C., NEVES, J. L. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. **Revista árvore**, v.10, n.2, p.112-120, 1986.

BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K.; CORRÊA, R. S.; VACCARO, S.; SCHUMACHER, M V. Dinâmica de macronutrientes na biomassa florestal em estágios sucessionais de Floresta Estacional Decidual. RS, Brasil. **Scientia Florestalis**, v.38, n.86, p. 307-318, 2010.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMASIO, R. H. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.375-381, 2014.

CARON, B. O.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A. MONTEIRO, G. C. Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.1, p.106-112, 2015.

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, v.21, n.5, p.50-53, 2010.

FERNANDES, M. F.; RUIZ, H. A.; NEVES, J. C. L.; MUCHOVEJ, R. M. C. Crescimento e absorção de fósforo em plantas de *Eucalyptus grandis* associadas a fungos micorrízicos em diferentes doses de fósforos e potenciais de água do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.617-626, 1999.

GATTO, A.; BUSSINGUER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G.B.; BUENO, M.C.; MONTEIRO, M.M.; SOUZA, P.F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em

um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.879-887, 2014.

GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P.; GARCIA, E. A.; SPINELLI, R. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E. G. M.; STRADIOTO, N. R. (Orgs.). **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação**, São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2012, p.125-161.

GUIMARÃES, C. C.; SCHUMACHER, M. V.; WITSHORECK, R.; SOUZA, H. P.; SANTO, J. C. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. **Revista Árvore**, v.39, n.5, p.873-882, 2015.

HERNÁNDEZ, J.; MAFRA, A. L.; RIOS, P. D.; BARETTA, D.; VIEIRA, H. C. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.2, p.92-99, 2009.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 20 nov. 2016.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J. de; MACHADO, S. do A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.2, p.223-230, 2013.

LOPES, E. D.; LAIA, M. L.; SANTOS, A. S.; SOARES, G. M.; LEITE, R. W. P.; MARTINS, N. S. Influência do espaçamento de plantio na produção de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Floresta**, v.47, n.1, p.95-104, 2017.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n.68, p.363-372, 2011.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G., BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v.2, n.3, p.177-186, 2005.

Brazilian Applied Science Review

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.15- 23, 2003.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**, 3. ed. San Diego: Academic Press, 2008, 454p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**, São Paulo: Editora UNESP, 2008, 407 p.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do paraná **Synergismus Scyentifica**, v.6, n.1, 2011.

ROSIM, C. C.; HSING, T. Y.; PAULA, R. C. Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of eucalypt. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.3, p.540-547, 2016.

SALVADOR, S. M.; SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; STAHL, J.; CONSENSA, C. B. Biomassa e estoque de nutrientes em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, v.44, n.110, p.311-321, 2016.

SANTANA, R. C. A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; CAMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.spe, p.2723-2733, 2008.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.447-457, 2002.

SILVA, D. A.; CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, v.42, n.9, p.1588-1595, 2012.

Brazilian Applied Science Review

SOARES, T. S.; GOUVEIA JUNIOR, W. V., MATIAS, R. A. M.; CRUZ, E. S. Effect of stocking density on energetic productivity of an eucalyptus stands managed under a short rotation system. **Nativa**, v.6, n.2, p.165-169, 2018.

VERÃO, D. de S.; BLEICH, M. E.; MARTINS, N. P.; BASSOTTO, J. M., MORTAT, A. F.; SANTOS, A. F. A. Concentração de nutrientes em *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T Blake) com sete anos de idade na borda sul da Amazônia. **Biodiversidade**, v.15, n.3, p.35-44. 2016.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. v.20, n.2, p.225-233, 2010.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V. Biomassa em monoespecíficos de eucalipto e acácia - negra e do milho em sistema agrossilvicultural. **Cerne**, v.17, n.2, p.259-265, 2011.

ZAIA, F. C.; RODRIGUES, A. C. G. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.843-852, 2004.