

SUBSTRATOS RENOVÁVEIS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus benthamii*

RENEWABLE SUBSTRATES IN THE SEEDLING PRODUCTION OF *Eucalyptus benthamii*

Dagma Kratz¹ Ivar Wendling² Antonio Carlos Nogueira³ Paulo Vitor Dutra de Souza⁴

RESUMO

A necessidade premente de aumento no número de mudas plantadas anualmente, bem como a menor disponibilidade de matérias-primas tradicionais para composição de substratos têm levado à necessidade de desenvolvimento de estudos que visem à avaliação e disponibilização de novos materiais para composição de substratos, técnica e economicamente eficientes. Com base nisso, o presente estudo objetivou avaliar a viabilidade técnica da utilização de componentes renováveis a base de fibra de coco (FC), casca de arroz carbonizada (CAC) em diferentes granulometrias, biossólido (BIO) e casca de pinus semidecomposta na composição de substratos para a produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*, bem como, avaliar a correlação entre as propriedades físicas e químicas dos substratos formulados com a qualidade das mudas produzidas. Para tanto, foram formulados 41 tratamentos, os quais tiveram suas propriedades físicas e químicas avaliadas, sendo a sementeira realizada em tubetes de 55 cm³. Foram avaliadas a altura da parte aérea e o diâmetro de colo a cada 30 dias, bem como, a biomassa seca da parte aérea e radicial, a facilidade de retirada do tubete e a agregação das raízes ao substrato aos 90 dias. Verificou-se que todos os materiais renováveis analisados foram adequados para a produção de mudas, no entanto o peneiramento da CAC não se justifica, quando comparado com a CAC na sua forma íntegra. Mensurações de altura e diâmetro anteriores à avaliação final não são confiáveis para predição do resultado final. O BIO e as diferentes granulometrias de CAC apresentaram baixa agregação das raízes ao substrato. Os altos níveis de salinidade, condutividade elétrica e pH não prejudicaram o crescimento das mudas. Quanto às propriedades físicas, observou-se que os substratos com maiores densidades e microporosidade proporcionaram menor agregação das raízes ao substrato e os com maior macroporosidade proporcionaram maior crescimento da parte aérea e radicial.

Palavras-chave: biossólido; fibra de coco; casca de arroz carbonizada; casca de pinus semidecomposta.

ABSTRACT

The pressing need to increase the number of seedlings planted annually, as well as the reduced availability of traditional raw materials for the composition of substrates have led to a need of developing studies aimed to evaluate and to provide new materials for the composition of substrates, technically and economically efficient. On this basis, the present study aimed to evaluate the technical feasibility of using components based on renewable coconut fiber (FC), rice hulls (CAC) in different grain sizes, biosolids (BIO) and semi-decomposed pine bark in the composition substrates for the production of seedlings of *Eucalyptus benthamii*, as well as to assess the correlation between physical and chemical properties of substrates formulated with the quality of seedlings produced. For this, we formulated 41 treatments, which had their physical and chemical properties evaluated, and sowing in tubes made from 55 cm³. We evaluated the height of the shoot and the stem diameter every 30 days, as well as the dry biomass of shoots and radicial areas, the ease of removal of the cartridge and the aggregation of the roots to the substrate at 90 days. It

1 Engenheira Florestal, Doutoranda em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, Rua Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. dagkratz@yahoo.com.br

2 Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador da Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-00, Colombo (PR), Brasil. ivar@cnpf.embrapa.br

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Rua Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. nogueira@ufpr.br

4 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Horticultura e Silvicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970, Porto Alegre (RS), Brasil. pvd Souza@ufrgs.br

Recebido para publicação em 05/09/2011 e aceito em 30/07/2012

was found that all renewable materials examined were suitable for the production of seedlings. However, the screening of CAC is not justified when compared with the CAC in its entirety. Measurements of height and diameter prior to final evaluation are unreliable for predicting the outcome. BIO different particle size and CAC had low root aggregation to the substrate. The high levels of salinity, conductivity and pH did not harm the growth of seedlings. Concerning to the physical properties, it was observed that substrates with higher densities and smaller micro-porosity root aggregation provided to the substrate and provided with greater macro-porosity increased growth of shoots and radicial.

Keywords: biosolids; coconut fiber; rice hulls; pine bark semidecomposta.

INTRODUÇÃO

Nas regiões mais frias do Brasil, o *Eucalyptus benthamii* é uma das espécies mais importantes economicamente, apresentando boa aptidão, principalmente no que se refere à produção de madeira para fins energéticos, sólidos madeiráveis e celulose, associada à resistência a geadas (PALUDZYSZYN FILHO et al. 2006; HIGA e PEREIRA, 2003).

A necessidade de produção de mudas de qualidade está em crescente expansão, considerando-se o aumento na demanda por produtos florestais. Nesse sentido, muitos esforços têm sido realizados para melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção das mudas e, dentre os fatores que influenciam na qualidade, está o substrato utilizado, sendo ele o meio em que as raízes se desenvolvem, fornecendo suporte estrutural às mudas e também as concentrações necessárias de água, oxigênio e nutrientes (CARNEIRO, 1995).

O avanço da tecnologia de produção de mudas proporcionou a substituição gradativa da terra de subsolo por outros materiais, tendo como componentes cascas de árvores, grãos como casca de arroz e compostos orgânicos. A utilização destes materiais renováveis para formulação de substratos é de fundamental importância, haja vista a questão ambiental, bem como, o aumento da produção de mudas, que deve seguir os padrões de sustentabilidade. A demanda por substratos está crescendo cada vez mais, devido a sua utilização em diversas áreas agrícolas, como na olericultura e florestal. Além do aumento da demanda por substratos, existe ainda uma concorrência no mercado pelos materiais utilizados para a formulação deste produto, como por exemplo, a utilização da casca de pinus para energia, da casca de arroz tanto para energia como para formação da cama de aviário e na cobertura de canteiros de morangos. Desta forma, faz-se necessário o fornecimento de novas alternativas de produtos a

serem utilizados como substratos, já que os produtos existentes atualmente podem em breve não atender à demanda do mercado de produção de mudas, bem como, terem um aumento significativo de preços.

Desta forma, devem-se aumentar os estudos em relação aos substratos, a fim de apresentar novas possibilidades de formulação desse produto, como a utilização de resíduos agroindustriais, industriais florestais e urbanos para a produção de mudas, representando uma alternativa viável, pois grandes volumes destes produtos são gerados, representando um problema ambiental se não for apresentado um destino final adequado.

Baseando-se nestas constatações, aliadas à pequena disponibilidade de informações relacionadas à produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* objetivou-se avaliar a viabilidade técnica da utilização de substratos renováveis a base de fibra de coco, casca de arroz carbonizada, biossólido e casca de pinus semidecomposta para a produção de mudas desta espécie e avaliar a correlação entre as características físicas e químicas dos substratos formulados com a qualidade das mudas produzidas.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção de mudas

O experimento foi instalado em janeiro de 2010, no Laboratório de Propagação de Espécies Florestais da Embrapa Florestas, localizada em Colombo, Paraná, situada a 25°19'17" de latitude S e 49°09'39" de longitude W. O clima da região de acordo com o Sistema Internacional de Köppen é do tipo Cfb (clima subtropical úmido).

Foram utilizados substrato comercial (SC) e misturas de diferentes componentes (biossólido - BIO, vermiculita média - VM, fibra de coco - FC, três granulometrias de casca de arroz carbonizada - CAC) para a formulação de 41 substratos (Tabela 1).

TABELA 1: Material utilizado (%) na formulação dos tratamentos (volume/volume).

TABLE 1: Material used (%) in the formulation of treatments (volume/volume).

Substrato	SC	BIO	VM	FC	CAC	CAC 0,5 -1mm	CAC 0,25 - 0,5 mm
1	100						
2					100		
3						100	
4							100
5			50		50		
6				10		90	
7				25		75	
8				10			90
9				25			75
10				80	20		
11				70	30		
12				60	40		
13				50	50		
14				40	60		
15				30	70		
16				20	80		
17		50			50		
18		40			60		
19		30			70		
20		20			80		
21		10			90		
22		50		50			
23		50		40	10		
24		50		30	20		
25		50		20	30		
26		40		50	10		
27		40		40	20		
28		40		30	30		
29		40		20	40		
30		30		50	20		
31		30		40	30		
32		30		30	40		
33		30		20	50		
34		20		50	30		
35		20		40	40		
36		20		30	50		
37		20		20	60		
38		10		50	40		
39		10		40	50		
40		10		30	60		
41		10		20	70		

Em que: SC = substrato florestal comercial a base de casca de pinus e vermiculita; BIO = Biossólido; VM = Vermiculita média; FC = Fibra de Coco; CAC = Casca de arroz carbonizada íntegra; CAC 0,5 – 1 mm = Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,5 e 1 mm; CAC 0,25 – 0,5 mm = Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,25 – 0,5 mm.

O biossólido com origem na Estação de Tratamento de Esgoto Atuba Sul da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), localizada em Curitiba, Paraná, a qual trata o esgoto pelo sistema anaeróbico, depois de exposto ao ar livre por 24 horas passou por uma peneira de aço com malha de 10 mm para homogeneização das partículas. Para obtenção das diferentes granulometrias de CAC foram utilizadas três peneiras com malhas entre 1 e 2 mm, de 0,5 a 1 mm e de 0,25 a 0,5 mm.

Os materiais foram misturados manualmente, juntamente com a adubação de base ($1,5 \text{ kg m}^{-3}$ de substrato do fertilizante de liberação lenta de 6 meses, da formulação: 15: 10: 10, além de 3,5% de Ca; 1,5% de Mg; 3,0% de S; 0,05% de Zn; 0,02% de B; 0,05% de Cu; 0,1% de Mn; 0,5% de Fe e 0,004% de Mo).

Realizou-se semeadura direta em tubetes de 55 cm^3 , com sementes de *Eucalyptus benthamii* oriundas de Área de Produção de Sementes. Para tanto, utilizou-se um semeador manual, onde cada tubete recebeu em torno de 4 sementes, as quais foram cobertas com uma fina camada de 0,5 cm de vermiculita fina. Após a semeadura, as bandejas foram acondicionadas em estufa de vidro (3 irrigações diárias de 10 min com vazão de 144 L hora^{-1}), onde permaneceram por 60 dias, seguindo para área de rustificação (quatro irrigações diárias de 30 min com vazão de 97 L hora^{-1}), onde foram expostas diretamente ao sol por 30 dias. Vinte dias após a semeadura foi realizado o raleamento, deixando como remanescente a muda mais centralizada no tubete e com maior crescimento da parte aérea.

Aos 30 dias aumentou-se o espaçamento entre as mudas, deixando o espaço de uma célula da bandeja. Momento em que se iniciou a adubação de crescimento (4 g L^{-1} de ureia, 3 g L^{-1} de superfosfato simples na granulometria pó, $0,25 \text{ g L}^{-1}$ de FTE BR 10 (7% Zn, 4 % Fe, 4 % Mn, 0,1% Mo, 2,5 % B, 0,8% Cu) e 3 g L^{-1} de cloreto de potássio), realizada a cada sete dias até os 60 dias, momento de transferência das mudas para a área de pleno sol, onde se realizou adubação de rustificação (4 g L^{-1} de sulfato de amônio, 10 g L^{-1} de superfosfato simples, 4 g L^{-1} de cloreto de potássio, 1 g L^{-1} de FTE BR 10), realizada também a cada sete dias até os 90 dias.

Para a avaliação da qualidade das mudas foi mensurada a altura da parte aérea (régua graduada em mm) e o diâmetro de colo (paquímetro digital) a cada 30 dias até o final do experimen-

to (90 dias). Na última avaliação (90 dias) foram realizadas análises destrutivas em 10 plantas por repetição, sendo elas: biomassa seca da parte aérea e radicial (48 horas em estufa a 65°C) pesadas em balança analítica de precisão 0,001 g, facilidade de retirada do tubete e agregação das raízes ao substrato. Para as avaliações de facilidade de retirada das mudas do tubete e agregação das raízes ao substrato, foi utilizada a metodologia descrita em Wendling et al. (2007). Este método consiste em atribuir notas de zero a dez às variáveis, sendo zero a dificuldade máxima e dez a facilidade máxima de retirada das mudas após três batidas na parte superior (boca) do tubete. Quanto à agregação das raízes ao substrato, as mudas sem os tubetes foram soltas em queda livre a um metro do solo, onde foi atribuída ao torrão uma nota de zero a dez, sendo zero para a muda totalmente esboroadada e dez para o torrão íntegro (Figura 1).

Também foram calculados os índices morfológicos: relação altura e diâmetro de colo (H/DC) e o índice de qualidade de Dickson (IQD). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições de 20 plantas (unidade amostral) e 41 tratamentos.

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett ($p < 0,05$), a fim de verificar a condição de homogeneidade de variância e, em seguida a análise de variância (ANOVA) ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), prosseguindo para o teste de Scott-Knott ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), a fim de se observarem as diferenças entre as médias. Foi realizada a análise de correlação de Pearson entre as variáveis biométricas e as características físicas e químicas dos substratos.



FIGURA 1: Índices de agregação das raízes ao substrato em mudas de *Eucalyptus benthamii*.

FIGURE 1: Index of aggregation of the substrate roots of *Eucalyptus benthamii*.

Análise dos substratos

A caracterização física e química dos substratos foi realizada no laboratório de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme a metodologia descrita na Instrução Normativa nº 17 do Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003). A análise de nutrientes e matéria orgânica foi realizada no Laboratório de Solos da Embrapa Florestas utilizando as metodologias descritas por Nogueira e Souza (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo dos tratamentos para a altura das mudas aos 30, 60 e 90 dias, facilidade de retirada do tubete, agregação das raízes ao substrato, biomassa fresca e seca aérea e radicial, enquanto que o diâmetro de colo aos 60 e 90 dias, relação altura e diâmetro e Índice de qualidade de Dickson não apresentaram influência significativa (Tabela 2).

Na avaliação de crescimento em altura, as mudas de *Eucalyptus benthamii* mostraram diferença significativa entre os substratos avaliados, para todos os períodos de avaliação (30, 60 e 90 dias), embora não se observasse uma tendência clara em relação aos diferentes materiais usados (Tabela 3). No entanto, considerando que a avaliação mais importante se deu aos 90 dias de idade das mudas, data próxima de seu plantio definitivo a campo, pode-se

observar uma superioridade de crescimento em praticamente metade dos tratamentos avaliados, mostrando a possibilidade de produzir mudas com diferentes formulações de materiais renováveis (BIO, FC e CAC) e a associação de CAC com VM, sendo que esses se apresentaram superiores ao SC.

O uso da CAC peneirada não foi viável tecnicamente, mesmo quando combinada com a FC, devido ao menor crescimento apresentado nesses substratos, quando comparado com a utilização da CAC em sua forma íntegra ou combinada com FC. Substratos formulados com 40 e 50 % de BIO combinados com CAC e FC apresentaram maior crescimento em altura quando comparados com menores proporções desse elemento (Tabela 3). Resultados similares foram observados por Trigueiro e Guerrini (2003) em mudas de *Eucalyptus grandis*, onde os substratos formulados com BIO e CAC na proporção 50/50 apresentaram desempenho similar ao SC e doses superiores de BIO foram prejudiciais ao crescimento das mudas.

Aos 30 dias, as mudas com menor crescimento apresentaram altura média de 1,61 cm, enquanto que o grupo com maior crescimento estava com 2,07 cm. Aos 60 dias, as mudas apresentavam 10 cm de altura média nos melhores tratamentos e 7,72 cm nos piores. Já aos 90 dias, o grupo com maior crescimento apresentou altura média de 21,31 cm e 18,39 cm nos substratos com menor crescimento. Desta forma, mesmo apresentando menor crescimento, todos os substratos renováveis utilizados foram aptos para a produção de mudas, visto que as mudas apresentaram altura superior a 15 cm

TABELA 2: Análise de variância para altura aos 30, 60 e 90 dias (H 30, H 60, H 90), relação altura e diâmetro de colo (H/DC), biomassa seca aérea (BSA), biomassa seca radicial (BSR), índice de qualidade de Dickson (IQD), facilidade de retirada do tubete (FRT) e agregação das raízes ao substrato (AG) de mudas de *Eucalyptus benthamii* produzidas em diferentes substratos.

TABLE 2: Analysis of variance for height at 30, 60 and 90 days (H 30, H 60, H90), relative height and stem diameter (H/DC), aerial biomass (BSA), dry biomass radicial (BSR), Dickson quality index (IQD), ease of removal of the cartridge (FRT) and the substrate root aggregation (AG) of seedlings of *Eucalyptus benthamii* produced on different substrates.

Causa da Variação	GL	Quadrados Médios										
		H 30	H 60	DC 60	H 90	DC 90	H/DC	BSA	BSR	IQD	FRT	AG
Substrato	40	1,42**	7,81**	0,02 ^{ns}	15,47*	0,12 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,46*	0,01**	0,14 ^{ns}	2,32**	4,01**
Resíduo	164	0,34	2,52	0,01	10,50	0,08	1,76	0,27	0,00	0,12	0,99	1,09
Média	-	1,77	8,27	0,63	20,03	1,69	11,85	0,36	0,13	0,17	8,0	6,0
CV _{exp.} (%)	-	7,73	19,19	19,37	16,18	16,78	11,21	14,23	6,10	14,98	12,88	16,87

Em que: * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; GL = graus de liberdade; CV_{exp.} = coeficiente de variação experimental.

TABELA 3: Altura aos 30, 60 e 90 dias (H 30, H 60, H 90) em cm, diâmetro aos 60 e 90 dias (D 60, D90) em mm, relação altura e diâmetro de colo (H/DC), biomassa seca aérea (BSA) em gramas, biomassa seca radicial (BSR) em gramas, índice de qualidade de Dickson (IQD), facilidade de retirada do tubete (FRT) e agregação das raízes ao substrato (AG) de mudas de *Eucalyptus benthamii* produzidas em diferentes substratos.

TABLE 3: Height at 30, 60 and 90 days (H 30, H 60, H 90) cm in diameter, at 60 and 90 days (D 60, D90) in mm, relative height and stem diameter (H/DC) air dry biomass (BSA) in g dry biomass radicial (BSR) in grams, Dickson quality index (IQD), ease of removal of the cartridge (FRT) and the substrate root aggregation (AG) of seedlings of *Eucalyptus benthamii* produced on different substrates.

Substratos	H 30	H 60	H 90	DC 60	DC 90	H/DC	IQD	BSA	BSR	FRT	AG
SC	1,75 b	7,70 b	18,93 b	0,57 a	1,60 a	11,84 a	0,16 a	0,35 b	0,13 e	8,00 a	5,00 b
CAC	1,56 b	7,28 b	18,69 b	0,62 a	1,59 a	11,82 a	0,19 a	0,35 b	0,14 d	8,00 a	8,00 a
CAC 1	1,54 b	6,75 b	17,20 b	0,63 a	1,57 a	11,05 a	0,19 a	0,34 b	0,13 d	7,00 b	6,00 b
CAC 2	1,80 a	6,86 b	16,62 b	0,60 a	1,47 a	11,38 a	0,14 a	0,31 b	0,11 g	7,00 b	5,00 b
50 CAC + 50 VM	1,47 b	7,80 b	20,74 a	0,57 a	1,74 a	11,96 a	0,19 a	0,37 a	0,14 d	9,00 a	7,00 a
10 FC + 90 CAC 1	1,68 b	7,74 b	18,30 b	0,61 a	1,50 a	12,15 a	0,16 a	0,32 b	0,12 e	7,00 b	5,00 b
25 FC + 75 CAC 1	1,50 b	7,44 b	19,05 b	0,59 a	1,65 a	11,94 a	0,18 a	0,34 b	0,13 e	8,00 a	6,00 b
10 FC + 90 CAC 2	1,54 b	6,45 b	16,87 b	0,58 a	1,28 a	13,13 a	0,14 a	0,33 b	0,11 f	7,00 a	5,00 b
25 FC + 75 CAC 2	1,55 b	5,43 b	17,82 b	0,41 a	1,44 a	12,34 a	0,15 a	0,32 b	0,11 g	5,00 b	4,00 b
80 FC + 20 CAC	1,52 b	8,63 b	21,81 a	0,68 a	1,90 a	11,61 a	0,19 a	0,38 a	0,20 a	8,00 a	8,00 a
70 FC + 30 CAC	1,65 b	8,56 b	21,71 a	0,69 a	1,83 a	11,98 a	0,16 a	0,37 a	0,12 e	8,00 a	8,00 a
60 FC + 40 CAC	1,30 b	7,04 b	20,01 a	0,58 a	1,54 a	13,14 a	0,14 a	0,40 a	0,11 g	8,00 a	7,00 a
50 FC + 50 CAC	1,52 b	7,96 b	19,64 a	0,58 a	1,67 a	11,76 a	0,16 a	0,34 b	0,12 f	8,00 a	7,00 a
40 FC + 60 CAC	1,37 b	7,80 b	20,82 a	0,59 a	1,68 a	12,52 a	0,15 a	0,37 a	0,14 d	8,00 a	8,00 a
30 FC + 70 CAC	1,76 b	8,50 b	21,64 a	0,70 a	1,74 a	12,47 a	0,17 a	0,37 a	0,13 e	8,00 a	7,00 a
20 FC + 80 CAC	1,61 b	6,80 b	23,11 a	0,59 a	1,60 a	12,21 a	0,18 a	0,37 a	0,13 d	9,00 a	8,00 a
50 BIO + 50 CAC	1,64 b	7,19 b	20,22 a	0,66 a	1,77 a	11,59 a	0,15 a	0,36 b	0,11 f	8,00 a	5,00 b
40 BIO + 60 CAC	1,60 b	9,09 a	21,98 a	0,63 a	1,90 a	11,80 a	0,21 a	0,42 a	0,16 b	9,00 a	6,00 b
30 BIO + 70 CAC	1,79 b	8,13 b	18,93 b	0,60 a	1,58 a	12,16 a	0,15 a	0,36 b	0,11 f	7,00 b	5,00 b
20 BIO + 80 CAC	1,71 b	7,86 b	20,30 a	0,63 a	1,78 a	11,39 a	0,19 a	0,38 a	0,13 d	8,00 a	6,00 b
10 BIO + 90 CAC	1,33 b	8,71 b	21,08 a	0,67 a	1,71 a	12,32 a	0,19 a	0,38 a	0,14 d	8,00 a	7,00 a
50 BIO + 50 FC	2,25 a	10,47 a	22,51 a	0,73 a	1,88 a	12,05 a	0,16 a	0,41 a	0,13 e	8,00 a	5,00 b
50 BIO + 40 FC + 10 CAC	1,99 a	10,07 a	22,95 a	0,75 a	2,01 a	11,60 a	0,21 a	0,42 a	0,16 b	7,00 b	6,00 b
50 BIO + 30 FC + 20 CAC	2,13 a	9,48 a	20,65 a	0,73 a	1,78 a	11,70 a	0,18 a	0,40 a	0,15 c	8,00 a	6,00 b
50 BIO + 20 FC + 30 CAC	2,03 a	9,40 a	21,72 a	0,71 a	1,81 a	12,11 a	0,18 a	0,41 a	0,13 d	7,00 b	5,00 b
40 BIO + 50 FC + 10 CAC	2,30 a	11,30 a	23,58 a	0,80 a	2,04 a	11,63 a	0,19 a	0,44 a	0,16 b	8,00 a	6,00 b
40 BIO + 40 FC + 20 CAC	2,10 a	9,62 a	22,01 a	0,66 a	1,86 a	11,98 a	0,18 a	0,38 a	0,14 d	8,00 a	6,00 b
40 BIO + 30 FC + 30 CAC	2,19 a	10,43 a	21,56 a	0,70 a	1,73 a	12,60 a	0,15 a	0,38 a	0,12 f	8,00 a	5,00 b
40 BIO + 20 FC + 40 CAC	1,85 a	9,32 a	20,14 a	0,64 a	1,72 a	11,67 a	0,14 a	0,37 a	0,11 g	7,00 b	6,00 b
30 BIO + 50 FC + 20 CAC	2,04 a	10,69 a	20,86 a	0,77 a	1,82 a	11,46 a	0,19 a	0,38 a	0,14 d	8,00 a	6,00 b
30 BIO + 40 FC + 30 CAC	1,92 a	8,09 b	18,69 b	0,71 a	1,71 a	10,89 a	0,18 a	0,37 a	0,13 e	9,00 a	7,00 a
30 BIO + 30 FC + 40 CAC	2,06 a	7,27 b	19,54 b	0,60 a	1,64 a	11,93 a	0,16 a	0,36 b	0,13 e	7,00 b	6,00 b
30 BIO + 20 FC + 50 CAC	1,92 a	8,29 b	18,68 b	0,61 a	1,68 a	11,37 a	0,15 a	0,35 b	0,13 e	7,00 b	6,00 b
20 BIO + 50 FC + 30 CAC	1,82 a	8,27 b	19,77 b	0,65 a	1,78 a	11,09 a	0,17 a	0,37 a	0,13 e	9,00 a	7,00 a
20 BIO + 40 FC + 40 CAC	2,12 a	8,13 b	17,99 b	0,58 a	1,62 a	11,33 a	0,14 a	0,34 b	0,11 g	8,00 a	6,00 b

Continua ...

TABELA 3: Continuação ...

TABLE 3: Continued ...

Substratos	H 30	H 60	H 90	DC 60	DC 90	H/DC	IQD	BSA	BSR	FRT	AG
20 BIO + 30 FC + 50 CAC	1,73 b	8,52 b	19,12 b	0,59 a	1,63 a	11,75 a	0,18 a	0,36 a	0,14 d	8,00 a	6,00 b
20 BIO + 20 FC + 60 CAC	2,35 a	8,78 b	20,45 a	0,67 a	1,82 a	11,35 a	0,21 a	0,39 a	0,16 b	8,00 a	7,00 a
10 BIO + 50 FC + 40 CAC	1,51 b	8,27 b	18,97 b	0,62 a	1,69 a	11,27 a	0,15 a	0,33 b	0,12 e	8,00 a	6,00 b
10 BIO + 40 FC + 50 CAC	1,60 b	6,57 b	17,65 b	0,53 a	1,57 a	12,57 a	0,10 a	0,30 b	0,08 e	7,00 b	5,00 b
10 BIO + 30 FC + 60 CAC	1,82 a	7,92 b	18,34 b	0,64 a	1,60 a	11,56 a	0,17 a	0,34 b	0,12 e	7,00 b	6,00 b
10 BIO + 20 FC + 70 CAC	1,66 b	8,50 b	20,74 a	0,65 a	1,77 a	11,75 a	0,19 a	0,39 a	0,14 d	8,00 a	7,00 a

Em que: Médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. SC = Substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita; BIO = Biossólido; VM = Vermiculita média; FC = Fibra de Coco; CAC 1 = Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,5 e 1 mm; CAC 2 = Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,25 – 0,5 mm.

aos 90 dias (Tabela 3), valor mínimo recomendado para o plantio em campo, segundo Wendling e Dutra (2010).

Outra questão importante a ser destacada refere-se a não adequação das medições de altura aos 30 e 60 dias visando a uma predição desta característica aos 90 dias, ou seja, os resultados de altura expressados nestes dois períodos de avaliação não se repetem aos 90 dias (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado por Trigueiro e Guerrini (2003) em mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em diferentes substratos, onde os melhores tratamentos aos 30 dias não seguiram a mesma tendência até o final da fase de produção de mudas. Aguiar et al. (1989) em experimento com *Eucalyptus grandis* observaram que as avaliações realizadas anteriormente à avaliação final podem ser dispensadas, visto que as mesmas apresentaram pouca variação em relação à avaliação final. Desta forma, independentemente do comportamento apresentado, não se faz necessária a avaliação de crescimento anteriormente a avaliação final.

Para o diâmetro de colo, tanto aos 60 como aos 90 dias, o substrato não apresentou influência significativa, onde, aos 60 dias, as mudas de *Eucalyptus benthamii* apresentaram diâmetro de colo médio de 0,63 e de 1,70 mm aos 90 dias (Tabela 3). Logo, a maioria das mudas não apresentou diâmetro mínimo recomendado para o plantio, o qual, segundo Wendling e Dutra (2010), é de 2 mm, embora o *Eucalyptus benthamii* seja uma espécie reconhecidamente com mudas de diâmetros menores do que a grande maioria das espécies de *Eucalyptus*. Além do mais, os valores encontrados nesse estudo estão próximos aos observados em outras pesquisas. Trigueiro e Guerrini (2003) verificaram diâmetro de

colo médio de 1,85 mm aos 90 dias em mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em substrato comercial a base de casca de pinus. Bonnet (2001) observou aos 106 dias diâmetro médio de 1,51 mm em mudas de *Eucalyptus viminalis* produzidas em substrato contendo 70 % de substrato comercial combinado com 30 % de biossólido compostado com resíduo verde e Freitas et al. (2005) observaram diâmetro de 2,0 mm em mudas de *Eucalyptus grandis* e 1,80 mm em *Eucalyptus saligna*, produzidas em substrato a base de casca de arroz carbonizada e casca de eucalipto (50/50).

Para a relação H/DC, o substrato não apresentou efeito significativo. Essa variável, segundo Carneiro (1995), exprime o equilíbrio de crescimento das mudas no viveiro, pois conjuga duas características em apenas um índice e deve situar-se entre 5,4 e 8,1, desta maneira, nenhum tratamento apresentou-se dentro da faixa considerada adequada (Tabela 3). No entanto, a recomendação de Carneiro (1995) pode não ser a mais adequada para as espécies de eucalipto, visto que as mudas apresentavam bom aspecto de vigor na última avaliação, estando aptas ao plantio em campo. Bonnet (2001) observou relação H/DC de 13 em mudas de *Eucalyptus viminalis* produzidas em substrato contendo 60 % de biossólido compostado combinado com 40 % de substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita e de 12,9 para o substrato comercial a base de casca de pinus e Trigueiro e Guerrini (2003) em mudas de *Eucalyptus grandis* observaram valores de H/DC entre 10,74 e 13,90, próximos aos encontrados nesse trabalho, mostrando que, talvez, o H/DC indicado para o gênero *Eucalyptus* é maior que o recomendado por Carneiro (1995). Gomes et al. (2002) observaram que a relação H/DC apre-

sentou contribuição relativa de apenas 0,66 % para a avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, sendo desta forma dispensável.

Quanto à biomassa seca aérea, verificou-se que apenas os substratos a base de CAC peneirada, SC, 50FC/50CAC, 50BIO/50FC, 30BIO/70CAC, 30BIO/20FC/50CAC e os substratos com 10 % de BIO combinado com FC e CAC (50/40, 40/50, 30/60) apresentaram menor produção (Tabela 3). Entre os componentes renováveis avaliados, apenas as diferentes granulometrias de CAC não se apresentaram viáveis tecnicamente, visto o menor crescimento apresentado nos substratos formulados com esse material e a maior praticidade da utilização da CAC em sua forma íntegra.

Em relação à biomassa seca radicial, apenas o tratamento 80FC/20CAC foi superior aos demais, seguido de 40BIO/60CAC e BIO/FC/CAC nas proporções 50/40/10, 40/50/10 e 20/20/60. Quanto à biomassa seca radicial, não se observou uma resposta clara às diferentes proporções dos elementos renováveis avaliados, mostrando que não houve tendência à preferência por algum componente (Tabela 3). A facilidade de retirada das mudas do tubete situou-se entre média e alta, não havendo diferenças destacadas entre os tratamentos, exceto para o substrato contendo FC/CAC 0,25 – 0,5 mm na proporção 25/75 (Tabela 3).

Observou-se correlação positiva entre a facilidade de retirada das mudas do tubete com a agregação das raízes ao substrato (0,65**), altura (0,50**), biomassa radicial (0,41*) e aérea (0,45*) das mudas (Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Wendling et al. (2007) com mudas de *Ilex paraguariensis*, denotando desta for-

ma, que um substrato que promove boa agregação das raízes resulta em melhorias no processo de expedição das mudas produzidas para o local definitivo, tendo em vista a maior agilidade no processo. Trigueiro e Guerrini (2003) em estudo realizado com *Eucalyptus grandis* tiveram dificuldade na extração das mudas produzidas no substrato contendo 80 % de BIO e 20 % de CAC, devido ao baixo enraizamento proporcionado por esse tratamento. No entanto, o SC também apresentou problemas na extração, visto o maior enraizamento, dificultando a liberação da muda. Assim, pode-se concluir que o enraizamento está diretamente relacionado com a facilidade de retirada do tubete, o qual se muito elevado pode dificultar a extração da muda do recipiente, haja vista a maior compactação proporcionada devido à maior massa de material dentro de um mesmo volume.

Quanto à agregação das raízes ao substrato, o tratamento contendo 50VM/50CAC e os renováveis formulados a base de FC/CAC nas diferentes proporções, CAC e alguns contendo BIO apresentaram maior agregação, enquanto que aqueles a base de CAC peneirada, SC e a maioria dos tratamentos contendo BIO proporcionaram menor índice de agregação (Tabela 3). Na Tabela 4 observa-se a correlação existente entre a altura da parte aérea ($R=0,42^*$), biomassa seca radicial ($R=0,42^*$) e facilidade de retirada do tubete ($R=0,65^{**}$) com a agregação das raízes ao substrato.

Segundo Wendling e Delgado (2008), o substrato para produzir mudas em tubetes deve estar agregado o suficiente para que o torrão em volta da muda não se rompa quando a embalagem for retirada para plantio ou transporte, ocasionando exposi-

TABELA 4: Correlações entre as variáveis: altura (H 90), diâmetro (D 90), facilidade de retirada das mudas do tubete (FRT), agregação das raízes ao substrato (AG), biomassa seca aérea (BSA) e biomassa seca radicial (BSR) aos 90 dias de mudas de *Eucalyptus benthamii*.

TABLE 4: Correlations between the variables: height (H 90), diameter (D 90), ease of removal of seedlings from the cartridge (FRT), the substrate root aggregation (AG), aerial biomass (BSA) and dry biomass radicial (BSR) at 90 days of seedlings of *Eucalyptus benthamii*.

	H 90	D 90	FRT	AG	BSA	BSR
H 90	1,00 **					
D 90	0,82 **	1,00 **				
FRT	0,50 *	0,49 *	1,00 **			
AG	0,42 *	0,33 ^{ns}	0,65 **	1,00 **		
BSA	0,87 **	0,81 **	0,45 *	0,29 ^{ns}	1,00 **	
BSR	0,60 **	0,66 **	0,41 *	0,42 *	0,70 **	1,00 **

Em que: * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste F; ^{ns} = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

ção das raízes ao ressecamento, dificultando a pega e a sobrevivência no plantio definitivo. No entanto, se o substrato for muito coeso haverá dificuldade em sua retirada das mudas da embalagem, podendo romper as raízes ou provocar danos no crescimento radicial.

Aguiar et al. (1989) constataram bom estado de agregação em mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em substratos formulados a base de turfa palhosa combinada com bagaço de cana carbonizado, casca de arroz carbonizada, galho de eucalipto carbonizado, folha de eucalipto decomposta e vermiculita, na proporção de 50/50, superando a terra de subsolo quando combinada com os mesmos elementos.

Quanto ao IQD, o substrato não apresentou efeito significativo (Tabela 2). Gomes e Paiva (2004) salientam que o IQD deve ter o valor mínimo de 0,20, desta forma, apenas alguns tratamentos analisados estão dentro do ideal (Tabela 3). Porém, deve-se ressaltar que este valor foi baseado na qualidade de mudas das espécies *Pseudotsuga menziessi* e *Picea abies*, podendo não ser o mais indicado para a espécie em questão. Binotto (2007) observou IQD de 0,05 em mudas de *Eucalyptus grandis* aos 120 dias, enquanto Oliveira Junior (2009) obteve IQD médio de 0,11 em mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em substrato comercial aos 100 dias, indicando desta forma, que o IQD ideal depende da espécie em questão.

Propriedades físico-químicas dos substratos

Segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996), nenhum dos substratos analisados ultrapassou o limite máximo de densidade ($> 500 \text{ kg m}^{-3}$), porém, a maioria apresentou densidade abaixo da recomendada ($< 250 \text{ kg m}^{-3}$) (Tabela 5). No entanto, neste trabalho, os substratos com densidade considerada baixa, apresentaram um bom crescimento das mudas, não sendo este um fator limitante.

A densidade teve correlação apenas com a agregação das mudas ao substrato ($R = -0,62^{**}$) (Tabela 5), sendo que, quanto maior a densidade, menor foi a qualidade do torrão formado, conforme observado nas mudas produzidas a base de BIO.

A porosidade total apresentou baixa variação, diferentemente da macro e da microporosidade, sendo que os substratos a base de FC e BIO apresentaram maior microporosidade e teor de água facilmente disponível, enquanto que o acréscimo de

CAC ocasionou um aumento na macroporosidade e diminuição na capacidade de retenção de água (Tabela 5). Esse resultado corrobora com Gonçalves e Poggiani (1996), os quais citam que materiais com baixa densidade, como materiais incinerados, elevam a macroporosidade das misturas e reduzem a capacidade de retenção de água do substrato.

Schmitz et al. (2002) observaram que a adição de CAC à turfa reduziu o excesso de água, amenizando os problemas com excesso de umidade apresentados por esse material orgânico. No entanto, altas proporções de CAC tornam-se inviáveis, em virtude do alto consumo de água para irrigação (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

Noguera et al. (2000) analisando as propriedades físicas e químicas de turfa e FC comprovaram que estes elementos apresentam características parecidas. Desta forma, a FC tem potencial para substituir a turfa, visto que esse material não é renovável, apresentando porosidade total média de 95,9%, macroporosidade de 45,3 %, água facilmente disponível de 18,6 % e pH 5,73; valores esses semelhantes com os analisados com maior concentração de fibra de coco (NOGUERA et al., 2000).

No que se refere à porosidade total, a maioria dos substratos estão dentro da faixa considerada adequada (75 a 85 %), por Gonçalves e Poggiani (1996) (Tabela 5). Essa característica, segundo Kämpf (2005), é de fundamental importância para o crescimento das plantas, visto que a alta concentração de raízes formadas nos recipientes exige elevado fornecimento de oxigênio e rápida remoção do gás carbônico formado. Desta forma, o substrato deve ser suficientemente poroso, a fim de permitir trocas gasosas eficientes, evitando falta de oxigênio para a respiração das raízes e para a atividade dos microrganismos.

Para a macroporosidade, apenas o substrato contendo 100 % de CAC, acima de 50 % de CAC combinada com FC, mais de 70 % de CAC combinado com BIO, 20/20/60, 10/40/50, 10/30/60 e 10/20/70 (BIO/FC/ CAC) tiveram valores considerados altos (acima de 50 %), por Gonçalves e Poggiani (1996). No entanto, estão próximos da faixa considerada adequada (35 - 45 %) (Tabela 5).

Quanto à microporosidade, apenas o substrato contendo 100 % de CAC apresentou baixo valor, enquanto aqueles contendo 10/90, 25/75 (FC/ CAC 1), 10/90, 25/75 (FC/CAC 2) e formulados com doses acima de 40 % de BIO, combinado com FC/CAC apresentaram alta microporosidade (acima de 55 %) (Tabela 5).

TABELA 5: Resultados da densidade aparente (Da), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), água facilmente disponível (AFD), matéria orgânica (MO), pH (em água), condutividade elétrica (CE), teor total de sais solúveis (TTSS), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), nitrogênio disponível (N disp) e enxofre (S) dos substratos avaliados.

TABLE 5: Results of bulk density (Da), total porosity (PT), macroporosity (Macro) and microporosity (Micro), easily available water (AFD), organic matter (MO) pH (in water), electrical conductivity (CE), total content of soluble salts (TTSS), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P), available nitrogen (N disp) and sulfur (S) of the substrates evaluated.

Substratos	Da	PT	Macro	Micro	AFD	MO	pH	CE	TTSS	K	Ca	Mg	P	N	S
	Kg/m ³			%			H ₂ O	mS/cm	g/L	cmol/dm ³			mg/dm ³		
SC	398,0	79,0	19,0	60,0	24,0	48,5	5,5	1,5	5,8	1,3	14,4	6,4	577,7	23,4	1705,6
CAC	101,0	72,0	57,0	15,0	6,0	24,7	8,1	0,1	0,1	1,4	0,3	0,1	66,3	19,5	3,6
CAC 1	200,0	85,0	21,0	64,0	45,0	26,9	8,1	0,2	0,4	4,3	0,9	0,5	209,0	19,2	16,0
CAC 2	239,0	80,0	11,0	69,0	45,0	27,4	8,0	0,3	0,6	3,9	1,1	0,6	215,4	30,7	21,4
50 CAC + 50 VM	183,0	72,0	37,0	35,0	9,0	7,1	7,9	0,1	0,1	1,1	1,9	3,2	66,8	19,7	3,6
10 FC + 90 CAC 1	180,0	85,0	23,0	62,0	42,0	26,2	7,7	0,4	0,5	3,6	1,0	0,5	146,0	20,4	25,4
25 FC + 75 CAC 1	174,0	85,0	24,0	61,0	41,0	25,4	7,5	0,5	0,6	3,5	1,7	0,7	174,0	23,4	43,3
10 FC + 90 CAC 2	237,0	83,0	15,0	68,0	42,0	27,2	7,8	0,4	0,7	4,0	1,4	0,7	147,2	20,7	24,6
25 FC + 75 CAC 2	204,0	83,0	11,0	72,0	45,0	26,2	7,3	0,6	1,0	4,3	2,1	0,7	212,7	31,9	28,2
80 FC + 20 CAC	89,0	85,0	36,0	49,0	20,0	15,2	6,2	1,1	1,1	3,5	2,9	0,8	312,7	106,0	62,4
70 FC + 30 CAC	86,0	84,0	38,0	46,0	18,0	15,7	6,4	0,9	1,2	3,1	3,4	0,8	267,7	97,9	55,6
60 FC + 40 CAC	89,0	86,0	45,0	41,0	17,0	18,4	6,7	0,7	0,9	2,2	2,8	0,6	206,0	70,7	45,2
50 FC + 50 CAC	96,0	90,0	57,0	33,0	13,0	19,8	7,1	0,5	0,6	2,7	2,6	0,5	193,5	62,4	52,6
40 FC + 60 CAC	93,0	90,0	55,0	35,0	14,0	20,6	7,0	0,6	0,7	2,2	1,7	0,4	209,9	29,3	48,6
30 FC + 70 CAC	96,0	90,0	54,0	36,0	15,0	21,6	7,1	0,6	0,7	1,9	1,1	0,3	190,4	24,1	69,2
20 FC + 80 CAC	101,0	89,0	62,0	27,0	12,0	21,9	7,6	0,4	0,4	1,3	1,1	0,4	83,5	21,2	73,5
50 BIO + 50 CAC	389,0	82,0	36,0	46,0	15,0	62,8	8,7	2,7	8,8	0,5	2,8	14,3	18,6	31,5	926,2
40 BIO + 60 CAC	362,0	84,0	40,0	44,0	16,0	61,8	8,9	2,3	6,9	0,6	3,0	15,9	13,7	30,2	904,6
30 BIO + 70 CAC	289,0	82,0	50,0	32,0	10,0	54,1	8,8	1,7	4,3	0,7	2,9	11,5	10,7	27,8	841,5
20 BIO + 80 CAC	229,0	86,0	56,0	30,0	12,0	51,7	9,1	1,2	2,7	1,0	2,3	8,1	27,5	26,8	285,7
10 BIO + 90 CAC	184,0	90,0	65,0	25,0	10,0	43,2	9,1	0,8	1,5	0,9	1,4	3,1	107,8	26,8	96,0
50 BIO + 50 FC	338,0	79,0	15,0	64,0	23,0	62,4	8,8	2,6	8,6	1,7	3,4	18,4	26,3	59,7	1274,3
50 BIO + 40 FC + 10 CAC	359,0	79,0	20,0	59,0	21,0	65,9	8,9	2,7	9,2	1,6	3,3	17,3	25,2	53,3	1349,8
50 BIO + 30 FC + 20 CAC	375,0	81,0	23,0	58,0	20,0	64,7	8,9	2,6	8,9	1,3	3,5	17,7	16,4	52,3	1143,4
50 BIO + 20 FC + 30 CAC	381,0	78,0	24,0	54,0	19,0	64,9	8,9	2,6	9,1	1,0	3,2	16,1	15,0	57,2	1015,5
40 BIO + 50 FC + 10 CAC	298,0	84,0	21,0	63,0	23,0	62,0	8,7	2,3	7,0	1,5	3,2	17,5	21,5	40,1	910,8
40 BIO + 40 FC + 20 CAC	319,0	85,0	26,0	59,0	21,0	60,4	8,3	2,1	6,5	1,2	3,3	16,5	39,7	57,9	963,2
40 BIO + 30 FC + 30 CAC	319,0	84,0	30,0	54,0	19,0	58,8	8,3	2,3	7,1	1,2	2,8	14,0	28,6	49,1	909,3
40 BIO + 20 FC + 40 CAC	330,0	84,0	33,0	51,0	18,0	60,3	8,3	2,2	6,8	1,2	2,9	14,5	14,4	46,7	804,5
30 BIO + 50 FC + 20 CAC	238,0	82,0	26,0	56,0	21,0	55,9	8,2	2,0	4,9	2,0	3,2	12,0	34,9	43,7	733,7
30 BIO + 40 FC + 30 CAC	267,0	84,0	29,0	55,0	19,0	56,6	8,2	1,9	5,1	1,9	3,1	11,6	35,5	39,8	764,5
30 BIO + 30 FC + 40 CAC	270,0	86,0	39,0	47,0	17,0	58,6	8,9	2,0	5,3	1,4	2,9	11,4	35,7	47,6	727,5
30 BIO + 20 FC + 50 CAC	276,0	86,0	41,0	45,0	16,0	57,9	9,0	2,0	5,2	1,2	2,6	10,5	22,3	40,8	519,6
20 BIO + 50 FC + 30 CAC	218,0	87,0	36,0	51,0	19,0	49,6	8,8	1,9	4,6	2,0	3,3	9,9	147,7	41,8	454,9
20 BIO + 40 FC + 40 CAC	229,0	87,0	38,0	49,0	18,0	51,0	8,9	1,8	4,4	1,7	2,8	11,3	125,2	41,3	360,9
20 BIO + 30 FC + 50 CAC	213,0	89,0	45,0	44,0	17,0	51,3	9,0	1,6	3,6	1,7	2,7	8,4	84,7	44,2	575,1

Continua ...

TABELA 5: Continuação ...
TABLE 5: Continued ...

Substratos	Da	PT	Macro	Micro	AFD	MO	pH	CE	TTSS	K	Ca	Mg	P	N	S
	Kg/m ³			%			H ₂ O	mS/cm	g/L	cmol/dm ³			mg/dm ³		
20 BIO + 20 FC + 60 CAC	234,0	89,0	49,0	40,0	14,0	48,6	9,0	1,7	4,0	1,1	2,5	7,6	135,2	40,8	396,3
10 BIO + 50 FC + 40 CAC	163,0	89,0	44,0	45,0	17,0	50,1	7,7	1,3	2,4	2,2	2,8	6,2	157,0	44,7	216,1
10 BIO + 40 FC + 50 CAC	159,0	91,0	48,0	43,0	16,0	44,8	8,1	1,2	2,2	2,1	2,7	7,3	211,4	34,7	214,6
10 BIO + 30 FC + 60 CAC	170,0	90,0	51,0	39,0	15,0	48,9	8,3	1,2	2,3	1,7	2,6	6,9	153,7	33,7	272,8
10 BIO + 20 FC + 70 CAC	179,0	89,0	52,0	37,0	15,0	45,7	8,5	1,1	2,1	1,4	2,0	7,4	166,6	61,1	189,3

Em que: SC = Substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita; BIO = Biossólido; VM = Vermiculita média; FC = Fibra de coco; CAC = Casca de arroz carbonizada; CAC 1 = Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,5 e 1 mm; CAC 2 = Casca de arroz carbonizada com granulometria entre 0,25 – 0,5 mm.

A microporosidade ($R=-0,67^{**}$) e a macroporosidade ($R=0,68^{**}$) influenciaram na qualidade do torrão formado (agregação das raízes ao substrato), onde os substratos que apresentaram em média maior macroporosidade (FC e CAC) proporcionaram maior agregação (Tabelas 3 e 6). Logo, aqueles com maior microporosidade, ou seja, os substratos formulados a base do componente renovável BIO, apresentaram qualidade do torrão inferior aos formulados apenas pelos componentes FC/CAC (Tabela 3).

Quanto à água facilmente disponível observou-se uma amplitude de variação de 6 % (CAC) a 45 % (25 FC/ 75 CAC 2), onde os substratos formulados a partir de CAC peneirada apresentaram valores muito superiores aos demais substratos estudados (Tabela 5). Zanetti et al. (2003) observaram que o aumento da granulometria de substratos comerciais a base de fibra de coco acarretou diminuição no teor de água disponível, proporcionada pela rápida drenagem em materiais com maior granulometria. Nesses casos, segundo os mesmos autores, deve-se priorizar maior frequência de irrigação, para evitar prejuízos com possíveis ocorrências de estresse hídrico.

Segundo De Boodt e Verdonck (1972), o teor de água facilmente disponível para as plantas deve representar de 75 a 90 % do valor total de água disponível, devendo, desta forma, ser de 20 a 30 %. A partir desta recomendação, a maioria dos substratos estudados está localizada dentro da faixa considerada ideal ou então próxima a ela (Tabela 5).

Observou-se correlação negativa entre o teor de água facilmente disponível com a altura das mudas ($R= -0,45^*$), diâmetro de colo ($R= -0,42^*$), facilidade de retirada do tubete ($R= -0,58^*$) e agregação das mudas ao substrato ($R= -0,58^{**}$), demonstrando que os substratos com maior macro-

porosidade proporcionaram maior crescimento do sistema radicial (Tabela 6).

No que se refere ao teor de matéria orgânica pode-se observar que os substratos a base de BIO, apresentaram os maiores valores, variando de 43,18 a 65,88 %, seguido do SC com 48,55 %. Os substratos a base de CAC e FC apresentaram os menores teores de matéria orgânica, variando de 15,25 a 26,92 % (Tabela 5). Para Gonçalves e Poggiani (1996), os substratos devem apresentar em torno de 70 a 80 % de matéria orgânica, juntamente com um componente secundário, visando à elevação da porosidade, podendo estes ser de origem mineral ou orgânica. No entanto, apesar de não estarem dentro da faixa considerada adequada, os substratos proporcionaram um bom crescimento das mudas.

Quanto ao pH observa-se que, segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996), apenas os substratos comerciais 80/20 e 70/30 (FC/CAC) estão dentro da faixa adequada (5,5-6,5) (Tabela 5) e, segundo a recomendação de Kämpf (2000) (5,2 e 5,5), apenas o substrato comercial apresentou pH adequado. No entanto, segundo Bailey et al. (2004), quando se utilizam substratos orgânicos, sem solo, a recomendação é trabalhar em um intervalo de 4,4 a 6,2 para a maioria dos substratos. Segundo Valeri e Corradini (2000), em substratos com pH abaixo de 5,0 pode ocorrer a deficiência de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e boro, enquanto que em pH acima de 6,5 são esperadas deficiências de fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre. No entanto, mesmo com pH acima da faixa considerada adequada, as mudas produzidas nesses substratos apresentaram crescimento satisfatório.

Verifica-se que o aumento da dose de BIO acarreta em aumento da condutividade elétrica e no teor total de sais solúveis, lembrando que a sa-

TABELA 6: Correlações entre as propriedades físicas e químicas dos substratos e variáveis biométricas das mudas de *Eucalyptus benthamii*. Altura aos 90 dias (H 90), diâmetro do colo aos 90 dias (D 90), facilidade de retirada das mudas do tubete (FRT), agregação das raízes ao substrato (AG), biomassa seca aérea (BSA), Biomassa seca radicial (BSR), Densidade aparente (Da), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), água facilmente disponível (AFD), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), teor total de sais disponíveis (TTSS) e matéria orgânica (MO).

TABLE 6: Correlations between the physical and chemical properties of substrates and biometric variables of seedlings of *Eucalyptus benthamii*. Height to 90 days (H90), stem diameter at 90 days (D 90), ease of removal of seedlings from tubes (FRT), the substrate root aggregation (AG), biomass aera (BSA), biomass dry radicial (BSR), bulk density (Da), total porosity (PT), macro-porosity (Macro), micro-porosity (Micro), easily available water (AFD), hydrogenic potential (pH), electrical conductivity (CE), total content of salts available (TTSS) and organic matter (M0).

	H 90	D 90	FRT	AG	BSA	BSR	Da	PT	Macro	Micro	AFD	pH	CE	TTSS	MO
DS	0,14 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,62 ^{**}	0,33 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,00 ^{**}								
PT	-0,05 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,40 [*]	1,00 ^{**}							
Macro	0,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,68 ^{**}	-0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,54 [*]	0,49 [*]	1,00 ^{**}						
Micro	-0,18 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,40 [*]	-0,67 ^{**}	-0,03 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,47 [*]	-0,21 ^{ns}	-0,95 ^{**}	1,00 ^{**}					
AFD	-0,45 [*]	-0,42 [*]	-0,58 [*]	-0,58 ^{**}	-0,35 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,76 ^{**}	0,82 ^{**}	1,00 ^{**}				
pH	0,07 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,48 [*]	-0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	1,00 ^{**}			
CE	0,36 ^{ns}	0,53 [*]	0,17 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,51 [*]	0,21 ^{ns}	0,74 ^{**}	-0,13 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,49 [*]	1,00 ^{**}		
TTSS	0,42 [*]	0,58 [*]	0,14 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,55 [*]	0,17 ^{ns}	0,89 ^{**}	-0,26 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,50 [*]	0,90 ^{**}	1,00 ^{**}	
MO	0,26 ^{ns}	0,48 [*]	0,20 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,80 ^{**}	-0,29 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	0,69 ^{**}	0,72 ^{**}	0,81 ^{**}	1,00 ^{**}

Em que: * e ** = significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente; ^{ns} = não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

linidade é influenciada pela condutividade elétrica. Resultado semelhante foi observado por Guerrini e Trigueiro (2004) e Maas et al. (2010), onde a adição de BIO no substrato acarretou em aumento da condutividade elétrica, resposta que, segundo os autores, está diretamente ligada à alta concentração de micronutrientes encontrados no BIO (Tabela 5).

Segundo Martínez (2002), a salinidade inicial do substrato pode afetar o crescimento das plantas, onde valores de condutividade elétrica acima de 3,5 mS cm⁻¹ são considerados excessivos para a maioria das espécies. Baseando-se nesta recomendação, nenhum dos substratos analisados apresentou condutividade excessiva (Tabela 6).

Quanto à salinidade, segundo a classificação de Röber e Schaller (1985), observa-se (Tabela 5) que o SC apresentou salinidade extremamente alta (5,86 g L⁻¹) e parte dos substratos contendo BIO apresentaram salinidade considerada tóxica (> 7,0 g L⁻¹), extremamente alta (5,0 a 7,0 g L⁻¹), muito alta (4,0 a 5,0 g L⁻¹) e alta (2,0 a 4,0 g L⁻¹). Já os substratos que continham apenas FC e CAC apresentaram salinidade dentro da faixa considerada bai-

xa (< 1,0 g L⁻¹) e normal (1,0 a 2,0 g L⁻¹). No que se refere ao SC, cabe ressaltar que o substrato comercial recebeu adubação química no momento de sua fabricação. Algumas espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido consideradas tolerantes à salinidade. Conforme verificado por Mendonça et al. (2010), mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus robusta* apresentaram-se resistentes à salinidade até a condutividade elétrica de 8,33 dS m⁻¹, observando que a mesma não provocou redução no teor de clorofila, o que em plantas sensíveis à salinidade é um fator importante.

Os resultados das análises de nutrientes mostram que a presença do componente BIO acarreta em um aumento na concentração de Ca, Mg, S e diminuição na concentração de P e K, enquanto a FC apresentou maior concentração de N disponível e P. Já a CAC apresentou baixas concentrações de todos os elementos analisados (Tabela 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Guerrini e Trigueiro (2004), onde o acréscimo de BIO à CAC ocasionou um aumento da concentração de N, P, Ca, Mg, S. Nesse estudo o BIO apresentou

baixa concentração de P, comprovando desta forma, que é um material heterogêneo, e que sua composição varia segundo as características dos esgotos e sua forma de tratamento.

Segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996), a maioria dos substratos analisados apresentou baixa concentração de K ($< 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), onde apenas aqueles contendo concentrações de até 70 % de CAC combinada com FC apresentaram níveis adequados de potássio ($3,0 - 10,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A concentração de Ca foi adequada apenas para o SC, provavelmente porque o mesmo recebeu adubação química no momento de sua fabricação e, os demais substratos analisados, apresentaram baixa concentração ($< 10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), segundo Gonçalves e Poggiani (1996). Os substratos formulados a partir de 20 % de BIO apresentaram altos níveis de Mg ($> 10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), doses inferiores a 20 % de BIO combinado com FC/CAC e o SC enquadraram-se na faixa considerada adequada ($5 - 10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Enquanto que os tratamentos formulados com apenas FC/CAC mostraram baixos níveis de Mg ($< 5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996).

A concentração de P foi adequada apenas para o SC, tendo os demais substratos analisados apresentado baixa ($< 200 \text{ mg dm}^{-3}$) e média ($200 - 400 \text{ mg dm}^{-3}$) concentrações, segundo Gonçalves e Poggiani (1996).

Deve-se ressaltar que a fertilidade do substrato no momento do cultivo foi diferente da presente análise, uma vez que a mesma foi realizada nos substratos sem adubação, tendo como objetivo verificar se a concentração dos macronutrientes não estava excessiva ou tóxica. E, conforme observado, a maioria dos elementos apresentou baixa concentração, o que pode ter sido corrigido com a adubação de base e cobertura. Desta forma, os teores de macronutrientes presentes não podem ser utilizados para justificar o crescimento das mudas, considerando-se que os substratos receberam fertilização após o seu preparo.

CONCLUSÕES

Todos os materiais renováveis analisados foram adequados para a produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*.

O peneiramento da casca de arroz carbonizada não se justifica, quando comparado à forma íntegra.

A casca de arroz carbonizada pura apresentou-se viável para a produção de mudas.

O biossólido e as diferentes granulometrias de casca de arroz carbonizada apresentaram baixa agregação das raízes ao substrato.

Quanto maior a agregação do substrato às raízes, maior a facilidade de retirada das mudas do tubete.

Mensurações de altura e diâmetro anteriores à avaliação final não são confiáveis para predição do resultado final.

Os altos níveis de salinidade, condutividade elétrica e pH não prejudicaram o crescimento das mudas.

Substratos com maiores densidades e microporosidade proporcionaram menor agregação das raízes ao substrato.

Os substratos com maior macroporosidade proporcionaram maior crescimento da parte aérea e radicial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2010, ano base 2009/ABRAF**. Brasília, 2010. 140 p.
- AGUIAR, I. B. et al. Seleção de componentes de substrato para produção de mudas de eucalipto em tubetes. **IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p.36-43, jan./dez.1989.
- BAILEY, D. A. et al. **Greenhouse substrates and fertilization**. Raleigh: North Caroline State University Available at: <http://www.cesncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ghsubfert.pdf>. 2004.
- BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o Índice de Qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* – Engelm.** 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.
- BONNET, B. R. P. **Produção de mudas de *Eucalyptus viminalis* Lambill. (Myrtaceae), *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) e *Mimosa scabrella* Benth. (Mimosaceae) em substrato com lodo de esgoto anaeróbio digerido alcalinizado e compostado.** 2001. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.
- CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e Controle de Qualidade de Mudas Florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in:

- Floriculture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 26, p. 37-44, 1972.
- FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização de física de substratos**. 2003. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FERMINO, M. H. O. Uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: FURLANI, A.M.C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 29-37, 2002.
- FREITAS, T. A. S. et al. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 853-861, 2005.
- GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: Ed. UFV, 2004. (Caderno didático, 72).
- GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.
- GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1069-1076, 2004.
- HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 100).
- KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 139-145.
- KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2. ed. Guaíba: Agrolivros, 2005. p. 45 - 72.
- MAAS, K. D. B. et al. Efeito de doses de biossólido em substrato para produção de mudas: pH e condutividade elétrica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS-FERTBIO, 29., 2010, Guarapari. **Resumo expandido...** Guarapari, 2010.
- MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. IN: FURLANI, A. M. C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. 2002. p. 53-76.
- MENDONÇA et al. Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 255-267, abr./jun., 2010.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA N° 17**. Diário Oficial da União- Seção 1, n° 99, 24 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília, 2007.
- NOGUEIRA, A. R. de A.; SOUZA, G. B. de (Ed.). **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.
- NOGUERA, P. A. et al. Coconut coir waste, a new viable ecogilly - Friendly peat substitute. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 517, p. 279-286, 2000.
- OLIVEIRA JÚNIOR, O. A. de. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2009.
- PALUDZYSZYN FILHO, E. et al. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. 45 p. (Documentos, 129).
- RÖBER, R. SCHALLER, K. **Plantzenernährung im Gerbau**. 3 Aufl. Stuttgart. Ulmer, 1985. 352 p.
- SCHMITZ, J. A. K. et al. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.
- TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 64, p. 150-162, 2003.
- VALERI, S. V., CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 167-189.

WENDLING, I. et al. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 209-220, 2007.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 13 - 47 .

WENDLING, I.; DELGADO, M. E. **Produção de mudas de araucária em tubetes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 201).

ZANETTI, M. et al. Características físicas de substratos para produção de mudas cítricas sob telado. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n.2, p.507-518, 2003.