

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE
SUBSTRATOS PRODUZIDOS A PARTIR DE
COMBINAÇÕES DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

FÁBIO SATOSHI HIGASHIKAWA

2009

FÁBIO SATOSHI HIGASHIKAWA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SUBSTRATOS
PRODUZIDOS A PARTIR DE COMBINAÇÕES DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Higashikawa, Fábio Satoshi.

Caracterização físico-química de substratos produzidos a partir
de combinações de resíduos orgânicos / Fábio Satoshi Higashikawa.

– Lavras : UFLA, 2009.

42 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Carlos Alberto Silva.

Bibliografia.

1. Resíduos orgânicos. 2. Caracterização físico-química. 3.
Substratos alternativos. 4. Teores disponíveis de nutrientes. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.86

FÁBIO SATOSHI HIGASHIKAWA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SUBSTRATOS
PRODUZIDOS A PARTIR DE COMBINAÇÕES DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 14 de setembro de 2009

Prof. Dr. Gabriel José de Carvalho

UFLA

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

UFLA

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

UFLA

(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

OFEREÇO.

A minha mãe, Lucia, pela torcida, amor, carinho e dedicação.

Ao meu pai, Tsukasa, pelo apoio, ensinamentos e dedicação.

A minha namorada, Roberta, pelo apoio, paciência, companhia em todos os momentos e amor.

A minha avó Tomoe, pelo carinho, preocupação e ao simpático acolhimento de sempre.

A minha família, pelo apoio e consideração em todos os momentos da minha vida.

A todos os meus amigos, que são muito importantes para que a vida não seja sem graça.

DEDICO.

Ao meu avô paterno, Kihei Higashikawa (*in memoriam*) e a minha avó paterna Toshiyo Higashikawa (*in memoriam*), que certamente estariam orgulhosos de mim.

Ao meu avô materno, Carlos Anraku (*in memoriam*), pelo exemplo de luta, vontade de viver e pelos inesquecíveis momentos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de cursar a pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa.

Ao professor Carlos Alberto Silva, pela dedicação, paciência, orientação e amizade.

Ao Viveiro Bela Vista e equipe, por me deixarem usufruir da sua infraestrutura e pela ajuda na condução do experimento.

Ao Hilton, pela amizade e prestimosa ajuda durante a fase laboratorial de minhas pesquisas.

Aos amigos Sandro, Guilherme Amaral, Geila, César, Fabrício, Elen, Anderson, Leandro Nippashi, Vitor, Ana, Daniel, Leila, Renato, Diogo e Ricardo, pelas palavras de conforto e valiosa ajuda para a concretização deste trabalho.

Aos funcionários do DCS, Roberto, “Pezão”, João Gualberto, Eliane, Emerson, Cristina, Gilson e Humberto, pela amizade.

Aos amigos da pós-graduação, pela agradável convivência.

Aos amigos do Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo, Sandro, Bruno, Euzi, Wal, Rodrigo, Thalita, Gabriela, Daniela e Hilton, por tornarem o dia a dia mais divertido e agradável.

A todos aqueles que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1 Local de condução do experimento.....	7
2.2 Análises laboratoriais.....	11
2.3 Análise estatística.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1 Caracterização dos resíduos orgânicos.....	15
3.2 Caracterização físico-química dos substratos.....	22
3.3 Teores disponíveis de nutrientes em extratos.....	33
4 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

UFLA	Universidade Federal de Lavras
LEMOS	Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo
pH	potencial hidrogeniônico
CE	condutividade eletrolítica
CTC	capacidade de troca de cátions
HNO ₃	ácido nítrico
HClO ₂	ácido perclórico
HCl	ácido clorídrico
KCl	cloreto de potássio
MgO	óxido de magnésio
N-NH ₄ ⁺	amônio
N-NO ₃ ⁻	nitrato
CA	carvão
CC	casca de café
CP	casca de pinus
EB	esterco bovino
EG	esterco de galinha
FC	fibra de coco
LE	lodo de esgoto
SE	serragem
TU	turfa
VE	vermiculita
AVA	atributos de valor agrônômico

RESUMO

HIGASHIKAWA, Fábio Satoshi. **Caracterização físico-química de substratos produzidos a partir de combinações de resíduos orgânicos**. 2009. 42p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

As combinações de diferentes resíduos orgânicos podem ser feitas visando produzir substratos para a produção de plantas, os quais podem substituir, parcialmente ou completamente, os substratos comerciais. Este estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar, do ponto de vista físico-químico, resíduos orgânicos e substratos obtidos a partir da combinação desses materiais, com vistas à avaliação de valor agrônômico dos meios de crescimento obtidos, tendo como referências para as avaliações os substratos comerciais e as características físico-químicas e níveis críticos de nutrientes desejáveis em substrato para o cultivo de mudas de eucalipto. O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Os tratamentos constituíram-se de combinações dos seguintes materiais, que deram origem a 11 substratos: carvão, casca de café, casca de pinus, esterco bovino, esterco de galinha, fibra de coco, lodo de esgoto, serragem, turfa e vermiculita. Foram analisados também 5 substratos comerciais, os quais foram utilizados como referência de meios de cultivo. Os seguintes atributos foram analisados: teores totais e disponíveis de macro e micronutrientes, condutividade eletrolítica (CE), pH, teor de sódio e densidade específica. Os resíduos orgânicos variaram muito em termos de composição química, sendo notados maiores teores de nutrientes no esterco de galinha. Os resíduos, em geral, apresentaram altos teores de sódio e elevada condutividade eletrolítica. A análise de pH permitiu a separação dos resíduos em dois grupos, um de materiais ácidos e outro, de materiais alcalinos, os quais podem ser combinados para a fabricação de substratos. Os teores de N-nitrato foram elevados na amostra de lodo e a vermiculita apresentou teores altos de Mg. Os teores totais de nutrientes nos substratos não comerciais superaram, para a maioria dos nutrientes, os verificados para os substratos comerciais, o que implicou em elevados níveis de condutividade eletrolítica nos primeiros substratos. Os teores de sódio são elevados nos substratos produzidos a partir de combinações dos resíduos

¹ Comitê orientador: Carlos Alberto Silva (orientador) – UFLA e Wagner Bettiol – Embrapa Meio Ambiente.

orgânicos. O pH, tanto dos substratos comerciais quanto dos não comerciais, é adequado para o cultivo do eucalipto. Os teores disponíveis de nutrientes refletem, de certo modo, os teores totais dos mesmos, tendo em vista que a capacidade de suprimento imediato de nutrientes dos substratos não comerciais supera largamente, para a maioria dos nutrientes, a dos substratos comerciais. Em geral, a disponibilidade de nutrientes nos substratos comerciais está mais próxima de valores considerados críticos para o eucalipto, de modo que é possível adiantar possíveis problemas de excesso, toxidez ou desequilíbrios no fornecimento de nutrientes ao eucalipto em função do emprego para esse fim dos substratos não comerciais, produzidos a partir de combinações de resíduos orgânicos.

ABSTRACT

HIGASHIKAWA, Fábio Satoshi. **Physic-chemical characterization of substrates produced from the combination of organic residues.** 2009. 42 p. Dissertation (M.Sc. in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.²

Combinations of different organic residues can be made in order to produce substrates for plant production, which can replace, partially or completely, commercial substrates. This study aimed to characterize, from the point of physical-chemical, organic residues and substrates fabricated from the combination of these materials for evaluation of agronomic value of the substrates composed. As a reference, it was also evaluated, commercial substrate attributes and the critical levels of nutrients for substrates used for the cultivation of eucalyptus seedlings. The experiment was conducted under conditions of a greenhouse at the Soil Science Department UFLA. The treatments consisted of combinations of the following materials, which resulted in 11 substrates: biochar, coffee husk, pine bark, cow manure, chicken manure, coconut fiber, sewage sludge, sawdust, peat and vermiculite. It was also analyzed 5 commercial substrates, which were used as reference as growth media for crops. The following attributes were analyzed: total and available macro and micronutrients, electrical conductivity (EC), pH, sodium content and specific density. Organic waste varied greatly in terms of chemical composition, and it was noted higher levels of nutrients for the chicken manure. Wastes, in general, showed a high sodium content and high electrical conductivity values. Analysis of pH separated the waste in two groups, one of acidic materials and other with alkalizing materials, which can be combined for the manufacture of substrates. The nitrate-N content was highest in the sample of sewage sludge, and the vermiculite showed high levels of Mg. The total contents of nutrients in the not commercial substrates exceed, for most of the nutrients, those determined for the commercial substrates, which, possibly, resulted in the high levels of electrical conductivity verified for the substrates prepared with wastes. The sodium concentrations are high in the substrates prepared organic with wastes. The degree of acidity, both in the commercial and non-commercial substrates, is suitable for the cultivation of eucalyptus. The concentration of available

² Guidance committee: Carlos Alberto Silva (Major Professor) and Wagner Bettioli – Embrapa Meio Ambiente.

nutrients reflects, to some extent, the total concentration of nutrients, and the ability to supply nutrient for plants is substantially higher for the non commercial substrates, for most nutrients, in comparison with the commercial ones. In general, the nutrient availability in commercial substrates is closer to values that are critical for eucalyptus seedling growth. Thus, it is possible to anticipate problems of excess, toxicity or imbalance in the supply of nutrients when eucalyptus seedlings is grown in the non-commercial substrates.

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos é crescente e tende a ser mais intensiva nos países de elevada densidade populacional, com grande produção industrial e intensiva atividade agrícola, como é o caso de diversas regiões do Brasil. A disposição adequada dos resíduos orgânicos no ambiente e o reaproveitamento desses materiais gerados são urgentes e uma alternativa é a utilização desses materiais na agricultura, como fonte de nutrientes para as plantas e de matéria orgânica para outros processos naturais.

Respeitando-se as normas quanto ao uso de resíduos e fazendo-se a devida caracterização dos mesmos, é possível reduzir o uso de insumos, reutilizar materiais orgânicos que seriam descartados e que poderiam poluir o ambiente, ao mesmo tempo em que torna possível a substituição de materiais não renováveis, como a vermiculita e a turfa, e, ainda, reciclar nutrientes.

No caso de cultivo de plantas em recipientes, como, por exemplo, em tubete, a limitação do volume exige que o substrato seja capaz de suprir de modo adequado água e nutrientes às plantas sem, no entanto, comprometer a concentração de oxigênio no meio (Fermino, 2002) e sem que ocorram desequilíbrios nutricionais ou toxidez às plantas. Desse modo, o estudo de materiais alternativos que propiciem condições adequadas para o pleno crescimento e desenvolvimento das plantas torna-se importante e possibilita a produção de modo eficiente e econômico das culturas em fase de viveiro.

Por essa razão, é necessário realizar a avaliação de diversos materiais disponíveis nas diferentes regiões agrícolas, sendo esse o caso do Sul de Minas Gerais, no sentido de verificar a viabilidade de uso de resíduos orgânicos na produção de substratos alternativos.

Conceitualmente, a classificação de substrato, ou meio de crescimento, se aplica aos materiais utilizados para o desenvolvimento da semente, da muda

ou de estaca, os quais devem ser capazes de sustentar e fornecer nutrientes às plantas. Os substratos podem ser confeccionados a partir de diferentes matérias-primas, sejam elas de origem mineral, orgânica ou sintética, de um só material ou diversos materiais em misturas (Andrade Neto, 1998; Abreu et al., 2002). A meta-fim de um substrato é produzir uma planta (ou muda) de alta qualidade, em menor tempo e a baixo custo (Abreu et al., 2002).

Segundo Miller & Jones (1995), o propósito de um substrato é satisfazer às necessidades da muda para um bom desenvolvimento no recipiente de tamanho limitado e prepará-la com sucesso para o transplante no campo. Segundo os mesmos autores, para alcançar os objetivos anteriormente citados, os substratos devem ser leves; de boa porosidade; bem drenados, com capacidade de retenção de água adequada; levemente ácidos, com alta CTC; capazes de manter um volume constante, quando molhado ou seco; livres de insetos, de doenças e de sementes de ervas daninhas; ter baixo teor de silte, argila e cinza; ser facilmente estocáveis por longo período de tempo, sem que ocorram mudanças nas propriedades físicas e químicas e ser de fácil manuseio e combinação.

Existem muitos tipos de substratos, em função das várias combinações possíveis de materiais, de modo que é possível fazer um substrato sem a necessidade de se utilizar o solo. Substratos sem solo são utilizados na horticultura para crescimento de mudas, propagação de plantas, produção vegetal e produção de plantas ornamentais em potes (Garcia-Gomez et al., 2002). A turfa e a vermiculita são matérias-primas largamente utilizadas como componentes de substratos e esses materiais, além de serem não renováveis, geram custos para a produção de mudas.

Em substituição a esses materiais, vários tipos de resíduos orgânicos podem ser utilizados na produção de substratos, de acordo com a literatura. Entre eles podem ser citados inúmeros exemplos, como esterco de galinha,

esterco de bovino, vermicomposto, torta de filtro, moinha de café (Andrade Neto, 1998), resíduos de podas do limoeiro, folhas de oliva, moinha de oliva (Garcia-Gomez et al., 2002), lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada (Trigueiro & Guerrini, 2003), fibra de coco, casca de pinus e carvão (Lopes et al., 2007).

No sentido de avaliar o valor agrônômico desses materiais, em geral, utiliza-se, como base comparativa, um substrato comercial e esse pode participar da combinação dos materiais, em diferentes proporções (Garcia-Gomez et al., 2002, Júnior et al., 2008). Benito et al. (2005) avaliaram o composto de resíduos de poda como substituto da turfa para plantas ornamentais e concluíram que o composto pode ser utilizado como componente de meio de crescimento. Entretanto, necessita ser misturado com outros materiais que sejam ricos em nutrientes, para que o crescimento das plantas seja otimizado. As características desejáveis de componentes orgânicos usados na confecção dos substratos, segundo Miller & Jones (1995), são as seguintes: grande quantidade de microporos, que aumentam a capacidade de retenção de água; textura adequada, para que não haja compactação excessiva; capacidade de troca de cátions relativamente alta, no sentido de auxiliar na retenção e troca de nutrientes e baixo peso (baixa densidade aparente), para facilitar o transporte e o manuseio.

As combinações podem ser feitas visando o equilíbrio de atributos, como o pH, nutrientes e salinidade, por meio da mistura de materiais com valores contrastantes para esses atributos, para se ter efeito de diluição ou acréscimo dos valores, cujos níveis críticos são condicionados pela cultura implantada. Desse modo, deve-se fazer a caracterização dos materiais antes de submetê-los ao processo de compostagem, depois de obtido o composto e, posteriormente, se necessário, fazer correções de ordem química e física, visando melhoria nas características dos substratos a serem fabricados. Guerrini & Trigueiro (2004) formularam substratos combinando, nas proporções de 0% a 100% (vol/vol),

biossólido (lodo de esgoto) com casca de arroz carbonizado e verificaram que o teor de nitrogênio total e a condutividade eletrolítica no extrato (substrato:água, 1:5) aumentaram à medida que se elevou a dose de biossólido na mistura, em razão das características desse material. Bardhan et al. (2008) formularam várias misturas combinando vários materiais, dentre eles, carvão proveniente de processos de combustão e materiais orgânicos compostados. Em algumas misturas, foi combinado composto de esterco bovino que apresentou maior valor para condutividade elétrica em relação aos demais materiais, com as proporções variando numa faixa de 2:8 a 8:2 (vol/vol). À medida que a proporção de composto de esterco bovino aumentou nas misturas, ocorreu um aumento da concentração de macronutrientes de maneira geral no extrato de saturação. E, com o aumento na proporção de composto de esterco bovino, também ocorreu elevação da condutividade elétrica no extrato de saturação, refletindo a carga salina do esterco bovino em relação aos outros materiais. Como verificado em Guerrini & Trigueiro (2004) e Bardhan et al. (2008), as proporções dos materiais que compõem um substrato influenciam os valores de atributos e essa influência pode ser prevista mediante a caracterização prévia dos materiais isolados.

Regionalmente, possíveis componentes de substratos incluem os esterco de bovino e de galinha compostados que, além de possuírem alta CTC, são mais ricos em nutrientes. A casca de café é uma fonte que pode ser combinada com os esterco, no sentido de otimizar a relação C/N dos materiais em compostagem e de fornecer K às plantas. O uso de resíduos oriundos da produção de carvão vegetal com agente estruturante e condicionador do processo de humificação dos materiais compostados é outra opção para a produção de substratos alternativos. A utilização da serragem, grandemente ofertada no sul do estado de Minas Gerais, merece mais estudos, tendo em vista tratar-se de material rico em C e em lignina, pobre em nutrientes e com baixa taxa de decomposição, de modo que suas proporções em substratos devem ser mínimas, para que os materiais de

cultivo não se configurem em meios com baixa disponibilidade de nutrientes. Além desses materiais encontrados regionalmente, o lodo de esgoto poderia ser utilizado como componente de substrato em combinação com outros materiais, por ser rico em nutrientes e em matéria orgânica, entretanto, pode conter metais pesados e outros agentes poluentes. Segundo o Ministério da Agricultura (Brasil, 2004), os substratos para plantas devem apresentar as garantias de condutividade eletrolítica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), umidade máxima, densidade e capacidade de retenção de água (CRA) e, facultativamente, poderá ser oferecida garantia para capacidade de troca de cátions (CTC). Na literatura, encontram-se valores para atributos químicos (Tabela 1) e físicos (Tabela 2) considerados ideais para substratos.

TABELA 1 Níveis ideais dos atributos químicos para substratos

Atributo	Nível ideal
pH (extrato de saturação).....	5,3 – 6,5
Condutividade eletrolítica em extrato de saturação(dS m ⁻¹).....	0,75 – 3,49
Matéria orgânica (%).....	> 80
Relação Carbono:Nitrogênio (C:N).....	20 – 40
Elementos assimiláveis (extrato de saturação, mg L ⁻¹):	
N-NO ₃	100 – 199
N-NH ₄	0 - 20
P.....	6 - 10
S.....	< 960
K.....	150 – 249
Ca.....	150 – 249
Mg.....	> 200
Fe.....	> 70
Mn.....	0,3 – 3,0
Mo.....	0,02 – 3,0
Zn.....	0,3 – 3,0
Cu.....	0,001 - 0,5
B.....	0,005 – 0,5
Na.....	< 115
Cl.....	< 180

Fonte: Adaptado de Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000), citados por Lopes et al. (2008); Garcia-Gomez et al. (2002).

TABELA 2 Níveis ideais dos atributos físicos para substratos

Atributo	Nível ideal
Tamanho de partícula (mm)	0,25-2,0
Espaço poroso total (% do volume)	>85
Capacidade de aeração (% do volume poroso ocupado pelo ar)	20-30
Volume de água sob uma tensão de água de 10 cm (% do volume total)	55-70
Capacidade total de retenção de água (mL L ⁻¹)	600-1000
Grau de encolhimento (% do volume)	30
Densidade seca (kg m ⁻³)	400-500

Fonte: Bunt (1973) citado por Schmitz et al. (2002); Raviv et al. (1986), Bunt (1988), Abad et al. (1992) e Ansorema (1994) citados por Abad et al. (2001).

Deve-se ressaltar que os níveis críticos de nutrientes e de outros atributos considerados ótimos para um substrato dependem também de outros fatores, como o tipo de planta a ser produzida, as condições adequadas nos locais de produção das mudas e a possível economia de insumos comerciais que a utilização de materiais alternativos pode proporcionar. Desse modo, seria praticamente improvável encontrar ou produzir substratos que atendam a todas as faixas e valores considerados ideais, pois estes são gerais na maior parte dos casos.

Este estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar, do ponto de vista físico-químico, resíduos orgânicos e substratos obtidos a partir da combinação desses materiais, com vistas à avaliação de valor agrônômico dos meios de crescimento obtidos, tendo como referências para as avaliações os substratos comerciais e as características físico-químicas e níveis críticos de nutrientes desejáveis em substrato para o cultivo de mudas de eucalipto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de condução e materiais analisados

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, de janeiro a julho de 2009, sendo as determinações analíticas realizadas no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo. O município de Lavras está localizado na região sul do estado de Minas Gerais, a uma altitude média de 918 m, nas coordenadas latitude 21°14'S e longitude 45°00'W GRW. As médias anuais de temperatura do ar, máxima e mínima, são, respectivamente, de 26,1° e 14,4°C, sendo a média anual de 19,4°C (Brasil, 1992). O clima regional é do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb, com duas estações distintas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), segundo a classificação de Köppen (1970).

Os resíduos orgânicos/insumos foram os seguintes: lodo de esgoto (Jundiaí, SP) esterco de galinha (Nepomuceno, MG), esterco de bovino (Lavras, MG), turfa (Machado, MG), serragem de corte de eucalipto (câmpus da UFLA), carvão vegetal obtido a partir da pirólise de eucalipto (câmpus da UFLA), casca de café (câmpus da UFLA), fibra de coco (Holambra, SP), casca de pinus (Holambra, SP) e vermiculita, além de terem sido avaliados mais cinco substratos comerciais, aqui designados pelos números 12, 13, 14, 15 e 16. O substrato comercial de número 14 foi considerado como referência, dado ser o mais utilizado na produção de mudas de eucalipto. Os resíduos orgânicos e a vermiculita mencionados foram utilizados em diferentes proporções para a constituição de onze substratos testados neste estudo (Tabela 4), sendo os cinco substratos comerciais utilizados para comparação. Para a composição dos onze substratos, foi priorizado o uso do esterco de galinha, pelo fato de esse material estar disponível em grande quantidade na região. Somente a mistura 11 não

continha esterco de galinha em sua composição, para ser verificado, posteriormente, o efeito da ausência do esterco de galinha no desenvolvimento e nutrição da planta. O esterco de galinha, o esterco de bovino, a casca de café e o lodo de esgoto, por serem materiais mais ricos em nutrientes, foram utilizados em maiores proporções nas misturas, em relação aos outros materiais.

Alguns substratos, como os de números 6, 7 e 9, receberam proporções menores dos materiais mais ricos em nutrientes, para contrastar com os demais, os quais contêm esses materiais em maiores quantidades em suas composições, como é o caso dos substratos 3, 4, 8 e 10. A proporção relativa de esterco de galinha variou de 0% a 50%, para o esterco bovino; de 10% a 30%, para a casca de café; de 5% a 25 % e, para o lodo de esgoto, de 10% a 40%. Para os demais materiais (casca de pinus, serragem, turfa e fibra de coco) a proporção variou de 0% a 15%. Alguns substratos não contêm esses materiais na sua composição, destacando-se, dentre eles, o substrato número 10.

Os materiais orgânicos, depois de secos ao ar, foram peneirados em uma peneira de 8 mm de malha e, após essa etapa, foram misturados em diferentes proporções, em percentagem de massa (Tabela 3). Por serem materiais estáveis, do ponto de vista químico, o carvão e a vermiculita foram adicionados a cada mistura depois do processo de compostagem, em quantidades fixas de 10% cada, calculadas com base em peso seco. As misturas de resíduos (substratos) foram incubadas por período que se estendeu a 45 dias, com aeração manual diária e umedecimento semanal dos materiais em compostagem, de modo que a adição de água foi feita no sentido de se atingir 70% da capacidade máxima de retenção de água de cada mistura compostada, para que as condições de decomposição dos materiais orgânicos fossem otimizadas. Cada substrato foi incubado em um recipiente contêiner plástico de 27 litros, para não ocorrer lixiviação de nutrientes, de modo que, para cada substrato, foi feita o processo de compostagem apenas uma vez. Assim, não foi utilizada repetição. A incubação

dos resíduos orgânicos foi feita dentro da casa de vegetação, a fim de acelerar o processo de compostagem, dado que ele foi realizado num período de baixa temperatura média, que antecedeu e se estendeu por parte do inverno. Após 45 dias de incubação, os substratos não apresentavam mais o aquecimento característico, o qual reflete materiais ainda em decomposição. Assim, após o período de 45 dias, não foi verificada a decomposição completa de alguns materiais, como foi o caso da fibra de coco, que tem alto teor de lignina e, por essa razão, é mais difícil de ser decomposta. Posteriormente, as misturas compostadas e os substratos comerciais foram caracterizados físico-quimicamente, para que os níveis de nutrientes e as características dos substratos produzidos a partir de resíduos orgânicos fossem comparados com os substratos comerciais. Essa comparação teve como referência as condições ideais e os níveis críticos de nutrientes em substrato para o pleno crescimento de mudas de eucalipto em condições de viveiro. Esses níveis ideais de nutrientes disponíveis em extrato e outros atributos avaliados foram obtidos dos seguintes estudos: pH, citado no estudo de Abad et al.(2001); CE (dS m^{-1}), segundo Abad et al.(2001), citados por Garcia-Gomez et al. (2002); N-nitrato, N-amônio, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo, Zn, Cu e B (mg L^{-1}), adaptado de Abad et al.(2002) e Cavins et al.(2000), citados por Lopes et al.(2008); S e Na (mg L^{-1}), em Abad et al. (2001), citados por Garcia-Gomez et al.(2002) e densidade seca (kg m^{-3}), em Bunt (1973) citado por Schmitz et al. (2002).

TABELA 3 Proporções relativas (base seca, %) dos materiais utilizados para a produção dos 11 substratos avaliados neste estudo

Resíduo orgânico/insumo	Substrato*										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	----- (%) -----										
Esterco de galinha	20	30	40	50	30	20	10	40	20	40	—
Esterco bovino	20	10	10	10	10	10	10	20	10	10	30
Casca de café	15	15	10	10	10	20	25	5	20	20	10
Casca de pinus	10	10	5	5	10	20	20	5	20	—	5
Serragem	5	5	5	5	5	10	15	5	—	—	5
Lodo de esgoto	20	20	20	10	30	10	10	20	10	30	40
Turfa	10	10	10	10	5	10	10	5	10	—	—
Fibra de coco	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—	10

*A cada substrato foram adicionados, posteriormente, 10% em base seca de carvão e de vermiculita.

2.2 Análises laboratoriais

Na etapa de caracterização química dos substratos, foi feita a determinação dos teores totais de nutrientes e dos teores disponíveis, em extratos obtidos a partir da combinação de substrato:água destilada na proporção de 1:2. Para a realização da análise multielementar dos resíduos e das misturas, foi realizada a digestão nítrico-perclórica, segundo a metodologia descrita por Tedesco (1995), citado por Melo (2007), com algumas modificações. Foi utilizado o bloco digestor com capacidade para 40 provas, com corpo de alumínio e termostato, para digestão de uma massa de 200 mg dos resíduos orgânicos, em triplicata. Na noite anterior à digestão, foram adicionados e misturados à amostra 6 mL de HNO_3 p.a., sendo a digestão realizada no dia seguinte, com a elevação gradual da temperatura até 150°C . As amostras foram digeridas até restar cerca de 1 mL de ácido. Quando não houve um clareamento das amostras no tubo de digestão, adicionaram-se mais 3 mL de HNO_3 p.a. e continuou-se o processo de digestão até a diminuição do volume de extrato de digestão para mais ou menos 1 mL. Após os extratos serem retirados do bloco e resfriados até a temperatura ambiente, foram adicionados 2 mL de HClO_4 p.a. e elevada a temperatura do bloco para 200°C , até restar cerca de 2 mL de extrato digerido que, após ser resfriado, teve o volume completado para 15 mL com água bidestilada. Na sequência, os extratos digeridos foram filtrados em membrana celulósica (papel filtro de faixa azul) e, depois, transferidos para frasco tipo Falcon de 55 mL. Após a etapa de digestão, os extratos foram submetidos à análise multielementar; foram determinados, assim, os teores de S e de P, por colorimetria, e os demais elementos químicos, à exceção do N, Na e K, foram quantificados em aparelho de absorção atômica.

Pelo fato de o método de digestão nítrico-perclórica apresentar baixa recuperação de K, segundo Melo (2007), provavelmente devido à baixa solubilidade do perclorato de potássio (Melo & Silva, 2008), foi utilizado o

método da água-régia para quantificação do K, de acordo com a metodologia do mesmo autor, com algumas modificações. Nessa marcha de determinação do K, conforme descrito no procedimento anterior, foram utilizados 200 mg de amostra e, depois, adicionaram-se 6 mL de HCl e 2 mL de HNO₃ (3:1, v/v), em noite anterior ao início da digestão, com a amostra permanecendo em repouso por 16 horas, visando à pré-digestão; a seguir, iniciou-se a digestão no bloco, com a elevação gradual da temperatura até 120°C. A amostra foi digerida até restar cerca de 1 mL de ácido; posteriormente, as amostras foram retiradas do bloco, resfriadas em temperatura ambiente e o extrato digerido teve o seu volume completado para 15 mL com água bidestilada. Na sequência, o extrato foi filtrado com membrana celulósica (papel filtro de faixa azul) e transferido para frasco tipo Falcon de 55 mL. O K e o Na foram quantificados em fotômetro de chama.

O nitrogênio total foi determinado pelo método *Kjeldahl* (Bremner, 1965 citado por Melo, 2007). Foram determinados também os teores de N inorgânico (amônio e nitrato), sendo essas formas de N extraídas com solução de KCl 2 mol L⁻¹, por meio da pesagem de 10 g da amostra e adição de 100 mL do extrator, agitando-se durante uma hora e deixando-se em repouso por meia hora. A seguir, foi retirada uma alíquota do sobrenadante (30 mL), que foi destilada primeiro com MgO, para a quantificação do N-NH₄⁺ e, em seguida, com liga de devarda em pó, a fim de se quantificar o N-NO₃⁻. Após essa etapa, os teores de N-amônio e de N-nitrato foram quantificados por titulometria, utilizando-se solução de HCl 0,07143 mol L⁻¹ como solução titulante (Bremner & Keeney, 1966, citado por Melo, 2007).

Para a determinação da condutividade eletrolítica e do pH dos componentes isolados, das misturas e dos substratos comerciais, foram adicionados as respectivas amostras, lentamente, em 100 mL de água deionizada contidos em um frasco de plástico com tampa, até atingir o volume de 150 mL.

Os frascos foram agitados a 220 rpm, por vinte minutos e, em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro (faixa azul), para a coleta do extrato e a posterior determinação de pH e da condutividade eletrolítica.

A extração dos teores disponíveis de nutrientes em solução foi realizada utilizando-se como extrator a água (método do extrato na relação 1:2), segundo a metodologia proposta por Sonneveld et al. (1990), citados por Abreu et al. (2007), com as modificações descritas a seguir. O extrato foi obtido pela adição da amostra de substrato em duas partes de água (100 mL), até alcançar o volume de 150 mL. A suspensão foi agitada por 20 minutos, a 220 rpm, e filtrada em papel filtro (faixa azul). Nesses extratos, foram determinados os teores de S e de P, por colorimetria, Na e K, por fotometria de chama, e os demais elementos químicos, à exceção do N, foram quantificados em aparelho de absorção atômica. Nos extratos aquosos, sem a adição da solução de solução de KCl 2 mol L^{-1} , foram determinados os teores de N na forma de amônio e de nitrato, por meio da análise de uma alíquota de 30 mL do extrato em destilador de arraste de vapores, segundo o método proposto por Bremner & Keeney (1966), citados por Melo (2007). Além da determinação dos teores de macro e micronutrientes e sódio, foram determinados a condutividade eletrolítica (CE) e o pH nos extratos aquosos obtidos.

Para a determinação da densidade, foi utilizado o método da autocompactação (Brasil, 2007). Uma proveta plástica de 500 mL foi preenchida até a marca de 300 mL com o substrato. Em seguida, esta proveta foi erguida e solta, caindo sob a ação de sua própria massa, de uma altura de 10 cm, por dez vezes consecutivas. Com o auxílio de uma espátula, nivelou-se a superfície levemente e leu-se o volume obtido (mL). Em seguida, pesou-se o material (g), descontando-se a massa da proveta. O procedimento foi repetido por três vezes, com subamostras diferentes. O valor da densidade foi expresso pela média das

medições. Utilizaram-se as seguintes fórmulas para a obtenção dos valores de densidades dos substratos:

$$\text{umidade atual (\% m/m)} = \frac{[(\text{massa úmida} - \text{massa seca})/\text{massa úmida}] \times 100}{}$$

$$\text{densidade úmida (kg m}^{-3}\text{)} = \frac{[\text{massa úmida (g)}/\text{volume (mL)}] \times 1000}{}$$

$$\text{densidade seca (kgm}^{-3}\text{)} = \frac{[\text{densidade úmida (kg m}^{-3}\text{)} \times [100 - \text{umidade atual (\%)}]/100}{}$$

Para realizar os cálculos de percentagem relativa dos atributos de valor agrônômico de cada substrato, considerou-se, em cada atributo, um valor de 100% para o maior valor absoluto, sendo os demais valores relativizados pelo maior valor absoluto de cada atributo analisado.

2.3 Análise estatística

As análises foram realizadas em três amostras de cada material e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as comparações múltiplas de médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa SISVAR (Ferreira, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos resíduos orgânicos

O esterco de galinha é o componente mais rico em nutrientes, em comparação com os demais materiais, sendo o resíduo com os maiores teores de nitrogênio total, N-amônio e fósforo (Figura 1). O lodo de esgoto apresentou os maiores teores de N-nitrato e de enxofre. Em relação ao lodo de esgoto 1, analisado por Melo & Silva (2008), os valores de P e S do LE da Figura 1 foram inferiores, mas, o valor médio do K foi superior. O teor de N-total apresentado por Guerrini & Trigueiro (2004), para o lodo de esgoto denominado de biossólido pelos autores, foi duas vezes mais alto do que o encontrado para o LE deste estudo, mas o material apresentou valores mais baixos para P, K e S.

Dentre os componentes de origem vegetal, a casca de café se destacou em relação aos demais, sobretudo em relação ao teor de potássio, cujo teor foi superior ao de todos os materiais avaliados. O esterco de galinha, o esterco bovino e o lodo de esgoto 1 estudados por Melo et al. (2008) foram semelhantes para pH e nitrogênio total e diferiram quanto ao nível de condutividade eletrolítica e aos teores de N-nitrato e N-amônio. Quanto ao valor de nitrogênio total do esterco de bovino, o valor médio encontrado por Severino et al. (2006) foi de $7,7 \text{ g kg}^{-1}$, sendo bem inferior ao encontrado neste estudo. Essas diferenças podem ser devido aos processos de obtenção desses resíduos orgânicos, ao tipo de arração, como também em função dos diferentes estádios de maturação que cada material se encontrava.

Durante o processo de compostagem, ocorre um decréscimo do teor de N-amônio, combinado com o aumento do teor de N-nitrato (Bernal et al., 1998; Benito et al., 2003), muito embora não sejam somente essas as mudanças que indicam o grau avançado de maturação dos materiais compostados. Nesse sentido, o esterco bovino tinha um grau de decomposição superior ao do esterco

de galinha e do lodo de esgoto, quando os componentes foram caracterizados antes do início do processo de compostagem. Melo & Silva (2008) avaliaram diferentes métodos de digestão na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos e os teores de P, Ca, Mg e S foram semelhantes para o esterco bovino. Já para o teor de K, a média de $12,8 \text{ g kg}^{-1}$, encontrada pelos autores, foi cerca de duas vezes menor que a média encontrada para o esterco bovino deste estudo, comparando-se os resultados da digestão nítrico perclórica.

O esterco de bovino analisado por Severino et al. (2006) apresentou valor médio de P de $8,7 \text{ g kg}^{-1}$, sendo superior ao valor médio encontrado neste estudo (5,54). Em relação a K, Ca e Mg, os teores encontrados por Severino et al. (2006) foram inferiores, principalmente em relação ao potássio, cujo teor foi cerca de dez vezes menor que o apresentado na Figura 1. Essa diferença quanto ao teor de K do esterco bovino dos autores citados anteriormente com o deste estudo pode ser devido à condição anterior a que o material estaria submetido antes da análise, uma vez que o K pode ser facilmente lixiviado. O esterco de galinha analisado por Melo & Silva (2008) apresentou maiores valores médios para K, Ca, Mg e S e teor duas vezes mais alto de P em relação ao esterco de galinha deste estudo. O esterco de galinha também apresentou o maior teor de cálcio e, ainda, elevados teores de micronutrientes, principalmente de boro; o lodo destacou-se ao apresentar os maiores teores de zinco e cobre, sendo a vermiculita o material mais concentrado em magnésio (Figura 2).

Com relação ao Ca e aos micronutrientes, o esterco de bovino analisado neste estudo apresentou teor mais baixo para Zn e teores mais elevados para Ca, Cu e Mn, em relação ao esterco analisado por Melo & Silva (2008). O esterco de galinha e o lodo de esgoto 1 desses autores apresentaram valores superiores para Ca, Mg, Mn e Zn e inferior para Cu em relação a EG e superiores para Ca, Cu e Mn e inferior para Zn e Mg, em relação a LE da Figura 2. O lodo de esgoto

analisado por Guerrini & Trigueiro (2004) apresentou teores mais elevados para Mg e Cu e valores inferiores para Zn e Mn, em relação ao LE deste estudo.

A vermiculita é um componente de origem mineral, de modo que, com o emprego da digestão nítrico-perclórica, possivelmente, não houve abertura completa de sua matriz, dado que a digestão recomendada seria a tri-ácida; é possível, assim, que os teores de nutrientes apresentados tenham sido subestimados em relação às concentrações presentes nesse mineral de argila 2:1. Segundo Miller & Jones (1995), a vermiculita é um material que apresenta valores de pH na faixa de 6,0 a 7,6 e que fornece quantidades de magnésio e potássio que são adequadas para suprir o requerimento nutricional da maioria das plantas no estágio de mudas. Além de magnésio e potássio, a vermiculita pode ser fonte de vários outros nutrientes, se houver, ao longo do ciclo das plantas, conversão de parte dos teores totais em teores disponíveis de nutrientes, sendo exceção o enxofre. No entanto, apesar de a vermiculita ser uma matéria-prima largamente utilizada na composição de substratos, é um recurso não renovável e, assim, é necessário encontrar materiais que possam substituí-lo, como é o caso da turfa.

O esterco de galinha é, também, o resíduo com maior teor de sódio, o que, juntamente com elevados teores de macro e micronutrientes, pode ter causado a alta condutividade eletrolítica notada para esse resíduo (Figura 3). A casca de café, o esterco bovino, o esterco de galinha e o lodo de esgoto apresentaram os maiores níveis de condutividade eletrolítica, de forma que a presença desses materiais como componentes de misturas, conforme as proporções, pode influenciar os teores de sais e íons e, por conseguinte, acarretar um aumento da CE dos substratos avaliados.

O teor médio apresentado pelo lodo de esgoto para o Na é elevado em relação ao encontrado por Guerrini & Trigueiro (2004), de $0,117 \text{ mg kg}^{-1}$, em média. Os resíduos orgânicos/insumos podem ser separados em dois grupos

distintos quanto ao valor de pH em água, obtido na relação de material:água de 1:2, em uma classe de resíduos mais ácidos com pH inferior a 7 (casca de café, casca de pinus, fibra de coco, lodo de esgoto, serragem e turfa) e outra de materiais alcalinos com pH superior a 7 (carvão, esterco bovino, esterco bovino e vermiculita).

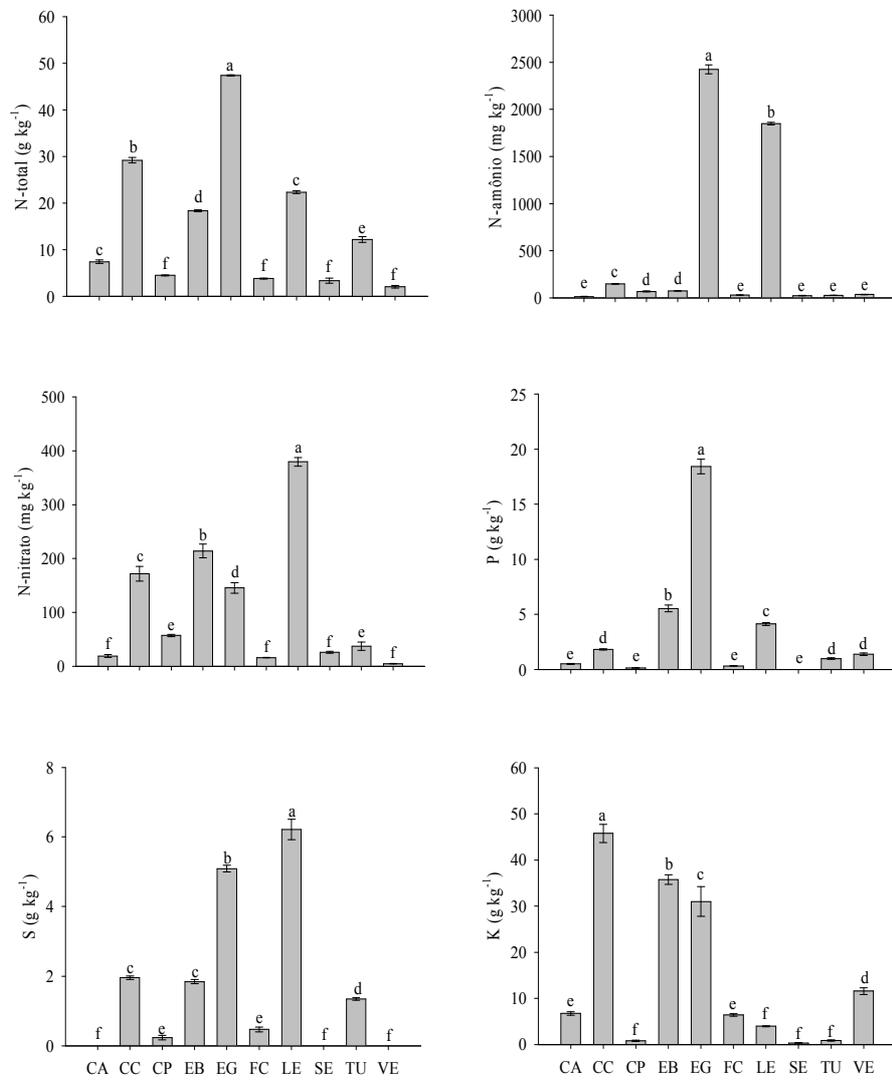


FIGURA 1 Teores totais de N, N-amônio, N-nitrato, P, S e K em resíduos orgânicos/insumos utilizados para a obtenção dos substratos. Legenda: CA = carvão; CC = casca de café; CP = casca de pinus; EB= esterco bovino; EG = esterco de galinha; FC = fibra de coco; LE = lodo de esgoto; SE = serragem; TU = turfa; VE = vermiculita. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

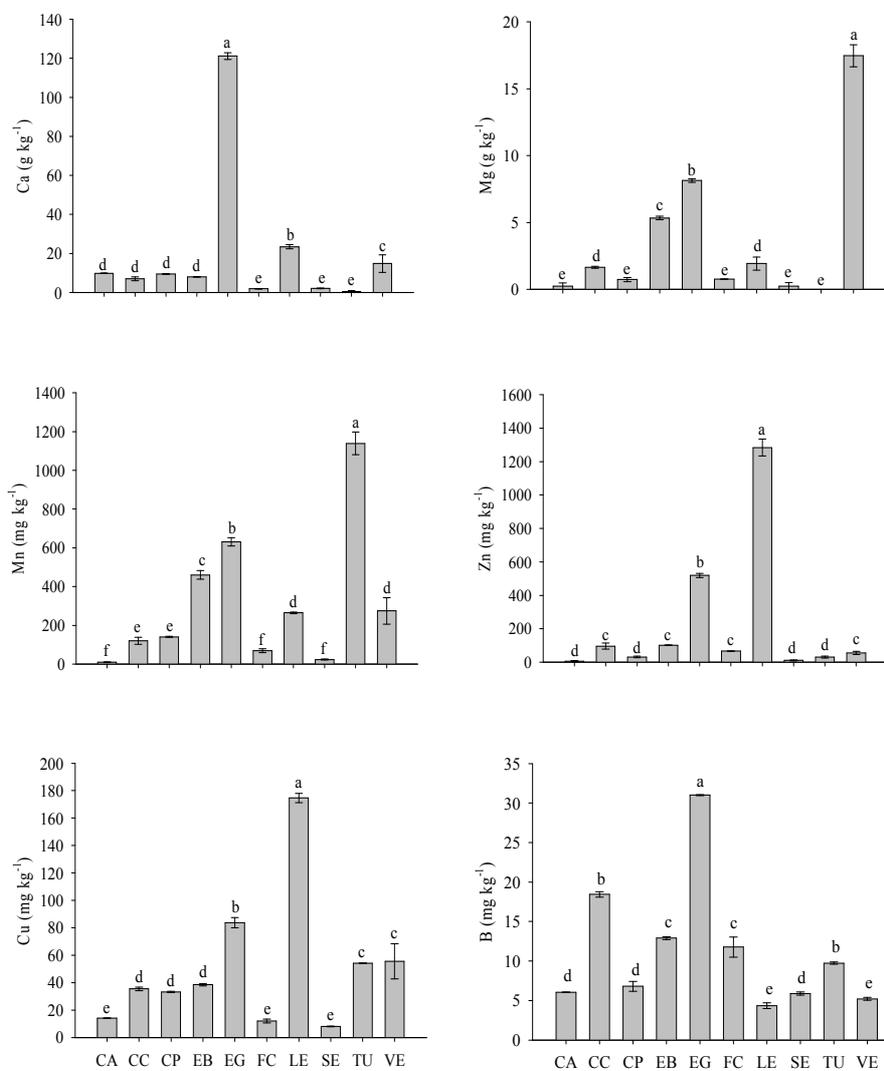


FIGURA 2 Teores totais de Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e B dos resíduos orgânicos/insumos utilizados para a obtenção dos substratos. Legenda: CA = carvão; CC = casca de café; CP = casca de pinus; EB= esterco bovino; EG = esterco de galinha; FC = fibra de coco; LE = lodo de esgoto; SE = serragem; TU = turfa; VE = vermiculita. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

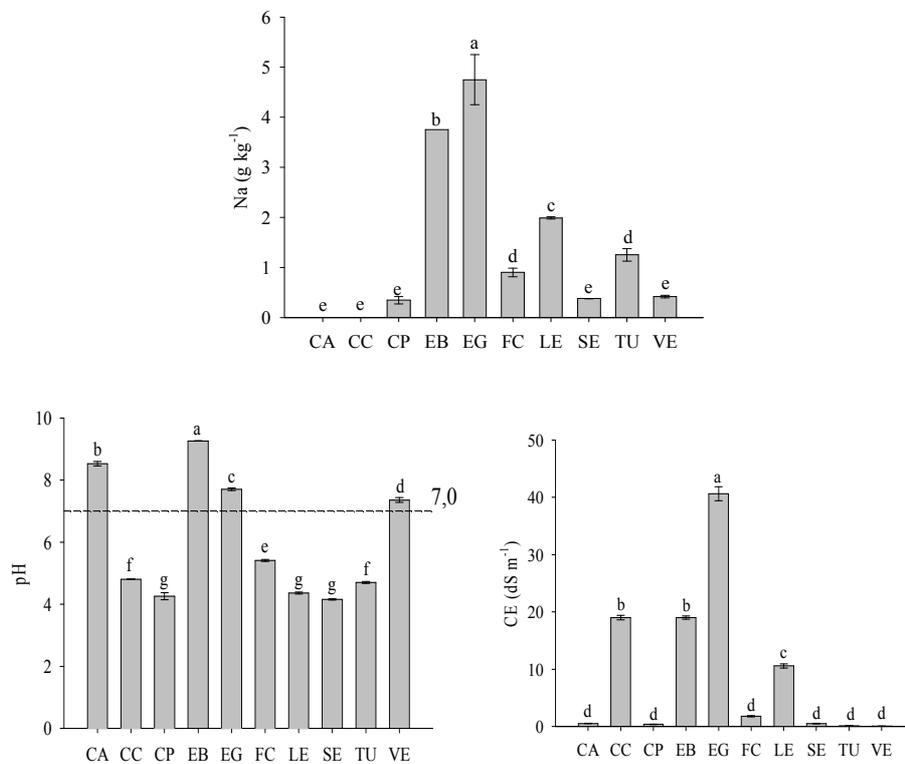


FIGURA 3 Teores totais de Na e valores de pH e de condutividade eletrolítica em resíduos orgânicos/insumos utilizados na produção dos substratos. Legenda: CA = carvão; CC = casca de café; CP = casca de pinus; EB = esterco bovino; EG = esterco de galinha; FC = fibra de coco; LE = lodo de esgoto; SE = serragem; TU = turfa; VE = vermiculita. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

3.2 Caracterização físico-química dos substratos

Em média, os teores de nitrogênio total foram duas vezes maiores nos substratos obtidos em função das misturas de resíduos orgânicos, em relação aos materiais comerciais (Figura 4). O substrato número 10 apresentou maior teor de nitrogênio na forma amoniacal e se destacou em relação aos outros substratos. No entanto, para o nitrogênio na forma de nitrato, a disponibilidade é baixa, ao contrário do que ocorre para os substratos 14 e 16. De maneira geral, os substratos produzidos a partir de resíduos orgânicos apresentaram teores mais elevados de fósforo, enxofre e potássio, em relação aos substratos comerciais. No entanto, os substratos comerciais 12, 13 e 16 foram superiores para os teores de boro (Figura 5), apesar de apresentarem teores mais baixos para os outros micronutrientes de maneira geral. Todos os substratos obtidos a partir de resíduos orgânicos superaram os substratos comerciais quanto ao teor de sódio (Figura 6), o que é um reflexo dos altos teores deste elemento, apresentados por alguns materiais que compõem as misturas (Figura 3).

Os substratos foram, de maneira geral, mais ricos em nutrientes em relação aos substratos comerciais e, adicionalmente, apresentaram teores elevados de sódio. Por essa razão, possivelmente, isso acarretou maiores níveis de condutividade eletrolítica (Figura 7). De fato, as misturas que contêm casca de café, esterco bovino, esterco de galinha e lodo de esgoto apresentaram níveis mais elevados de condutividade eletrolítica nos substratos obtidos. Esses resultados refletem a composição de cada resíduo em separado, conforme já havia sido discutido anteriormente, dado que os materiais orgânicos apresentam alta condutividade eletrolítica. No substrato 11, que não contém esterco de galinha, e nos substratos 6, 7 e 9, nos quais a proporção de esterco de galinha, lodo de esgoto e casca de café é menor e, houve redução nos níveis de condutividade eletrolítica. Somente os substratos 13 e 15 satisfazem à faixa de condutividade eletrolítica considerada ideal para um substrato (0,75-3,49 dS m⁻¹

¹), segundo Abad et al. (2001), citados por Garcia-Gomez et al. (2002). Hernández-Apaolaza et al. (2005) também verificaram que o lodo de esgoto foi um dos componentes que resultaram em um aumento significativo da condutividade eletrolítica nos substratos, em relação às misturas sem a adição de lodo.

Bardhan et al. (2008) produziram substratos a partir de materiais diversos, inclusive materiais orgânicos e, dentre as misturas, o maior valor médio para a condutividade eletrolítica em extrato de saturação foi de 16,5 dS m⁻¹. Neste estudo, a CE máxima foi de 21,54 dS m⁻¹. No estudo de Bardhan et al. (2008), possivelmente, os componentes que mais contribuíram para a elevação de condutividade de certas misturas, em relação às outras, foram o composto de biossólido e, principalmente, o composto de esterco de bovino. Nas misturas estudadas, verificou-se que os estercos, juntamente com o lodo de esgoto, foram os componentes que mais contribuíram para a elevação dos teores de nutrientes e, conseqüentemente, para o aumento da condutividade eletrolítica.

Em relação ao pH (Figura 7), somente o substrato número 16 apresentou valor abaixo de 5, o qual está fora da faixa considerada ideal (5,3-6,5), segundo Abad et al. (2001). Para os outros substratos estudados, as leituras de pH situaram-se na faixa entre cinco e seis. Foi verificado que os tipos de componentes e as proporções dos mesmos utilizadas na fabricação dos substratos afetaram os valores de pH e de CE, como também os teores de nutrientes e de Na. Os mesmos extratos, na proporção 1:2 de material:água, que foram utilizados para a determinação de pH e de CE, foram utilizados para a leitura dos nutrientes disponíveis. Portanto, os valores de pH e de condutividade eletrolítica (Figura 7) são também referentes aos extratos de cada substrato.

Na Figura 8, são apresentados os valores de densidade seca dos substratos, sendo o substrato 12 o de menor densidade e o 15, o de maior, ambos

classificados como substratos comerciais. Essas diferenças nas densidades dos substratos é decorrência da predominância de materiais de menor ou maior densidade na composição dos substratos, sendo a proporção dos mesmos determinantes do valor médio de densidade apresentado pelo substrato. De acordo com a faixa considerada ideal ($400\text{-}500\text{ kg m}^{-3}$) por Bunt (1973), citado por Schmitz (2002), somente os substratos 1, 14 e 15 satisfazem à condição de densidade seca ideal. Essa faixa de referência é considerada ideal para substratos hortícolas e, segundo Fermino (2002), quanto menor o recipiente, mais baixa deve ser a densidade do substrato nele utilizado. Segundo esta autora, a densidade de um material no recipiente depende da pressão aplicada ao substrato no momento do preenchimento, de modo que quanto maior a densidade maior a impedância mecânica do meio ao crescimento das raízes.

Na Figura 9, são apresentadas as percentagens relativas de atributos de valor agrônômico (AVA) dos substratos. Somente o substrato 6 apresentou média percentual inferior a 60% e todos os outros materiais não comerciais apresentaram, como característica em comum, baixo teor de nitrato. O substrato 12 (Figura 10), que é um substrato comercial, apresentou percentual relativo para o teor total de nitrogênio bem inferior ao dos demais substratos, além de baixa média percentual, no entanto, destacou-se pelo alto percentual relativo de magnésio, boro e pH. O substrato número 14 (Figura 11) é um substrato comercial largamente utilizado no Brasil para a produção de mudas florestais, sendo, por isso, definido como referência para este estudo.

A linha tracejada nos gráficos representa a média percentual dos atributos. Nota-se que os substratos comerciais apresentaram médias dos atributos avaliados abaixo de 50%, diferindo dos demais substratos, os quais apresentaram média superior a esse valor. A maior média percentual foi a do substrato número 10, cujo valor foi de 84,93. O substrato referência (número 14) apresentou um percentual superior a 40% para o teor de nitrogênio total e

somente os substratos 12 e 13 apresentaram valores abaixo de 40%. Com relação ao nitrato, o substrato-referência foi superado apenas pelo substrato 16, que apresentou o percentual máximo (100). Os demais substratos apresentaram percentuais bem abaixo do valor máximo.

Em relação ao enxofre, os substratos 12, 15 e 16 apresentaram percentuais baixos. O substrato 16 foi o único a apresentar percentual abaixo de 80% para o pH. Com exceção de N-nitrato, enxofre e pH, os substratos 1 a 11 apresentaram, em geral, percentuais de atributos de valor agronômicos superiores aos obtidos para o substrato 14. A porcentagem de AVA permitiu comparar todos os atributos de todos os substratos avaliados. Nesse sentido, com relação a CE e ao Na, nota-se que os percentuais são superiores a 50% para os substratos não comerciais e inferiores a 30%, para os substratos comerciais. Este fato implica na necessidade de lavagem prévia dos substratos para a redução da carga salina, para possibilitar o cultivo de plantas sensíveis à salinidade. No entanto, acarretaria em redução dos teores de nutrientes. Se não for feita a lavagem prévia, a recomendação de uso desses substratos não comerciais certamente seria a utilização em sistema aberto, de drenagem eficiente, no qual a irrigação possibilite a lixiviação e a redução gradual dos sais dos substratos.

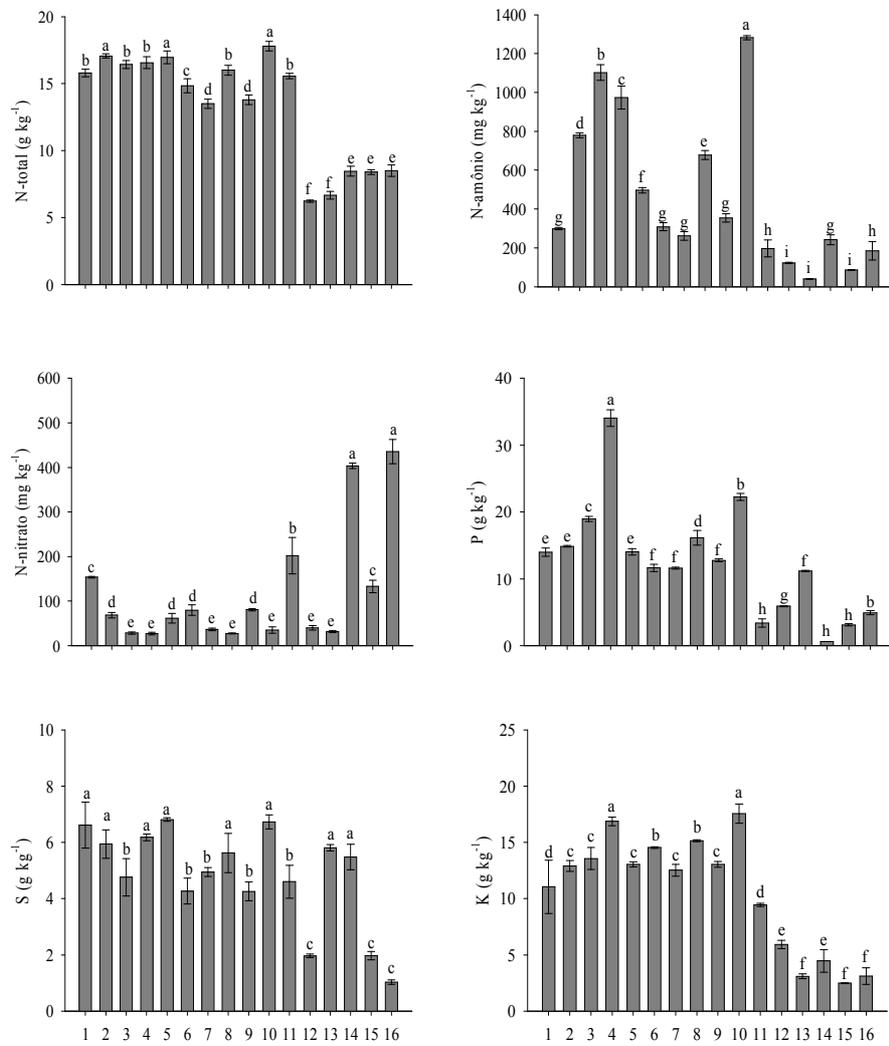


FIGURA 4 Teores totais de N, amônio, N-nitrato, P, S e K dos substratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

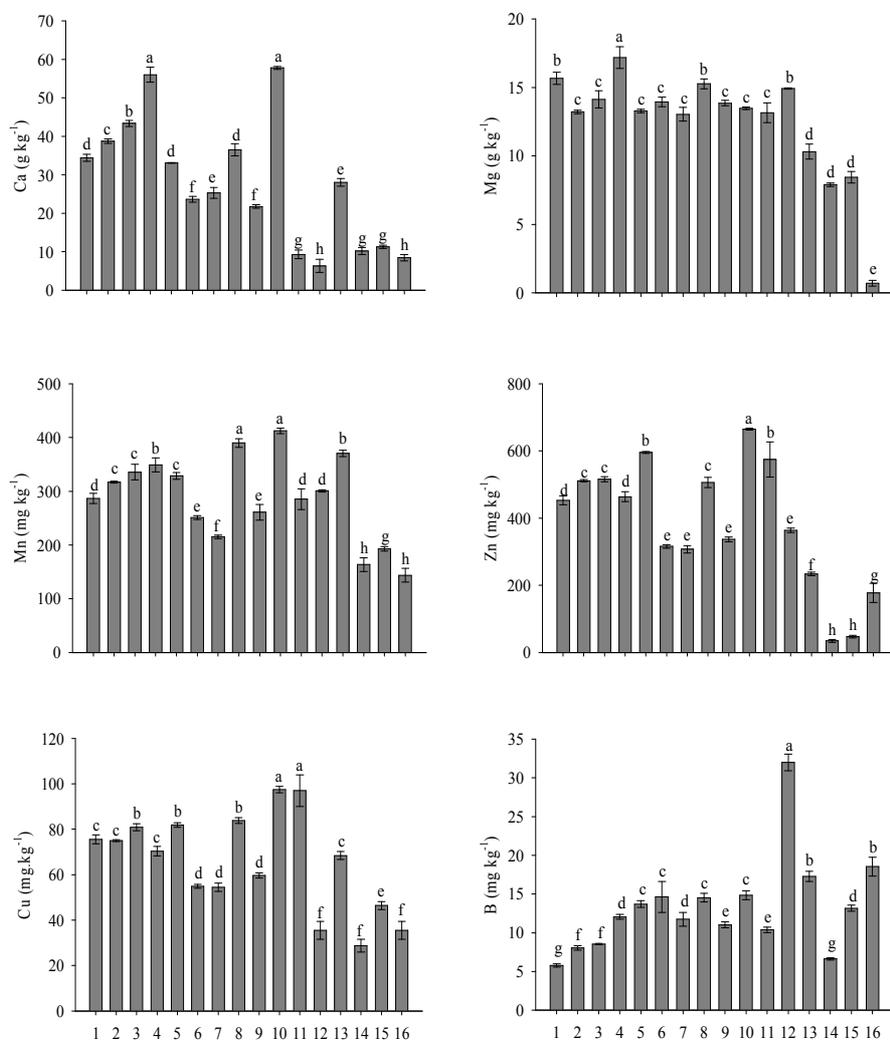


FIGURA 5 Teores totais de Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e B dos substratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

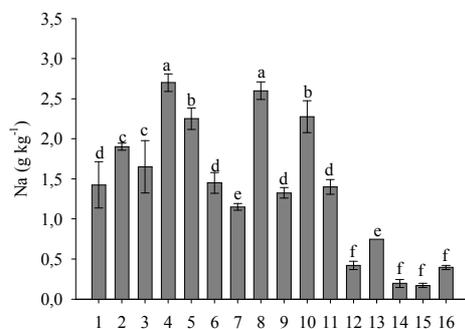


FIGURA 6 Teores totais de sódio dos substratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

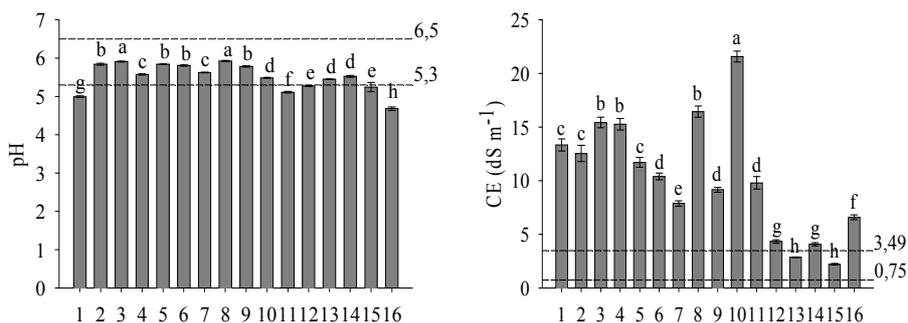


FIGURA 7 Valores de pH e de CE dos substratos e dos extratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As linhas tracejadas representam os níveis ótimos considerados ideais para substratos para cultivo de plantas segundo Abad et al. (2001), para o pH e segundo Abad et al. (2001), citados por Garcia-Gomez et al. (2002), para a CE.

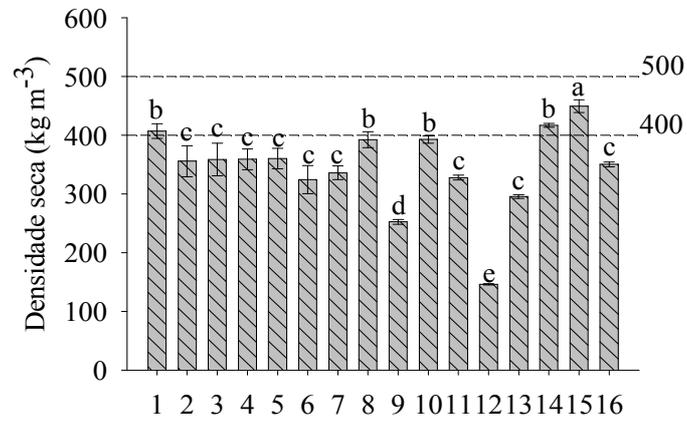


FIGURA 8 Densidade seca dos substratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As linhas tracejadas representam a faixa ideal de densidade seca para substratos, segundo Bunt (1973), citado por Schmitz et al. (2002).

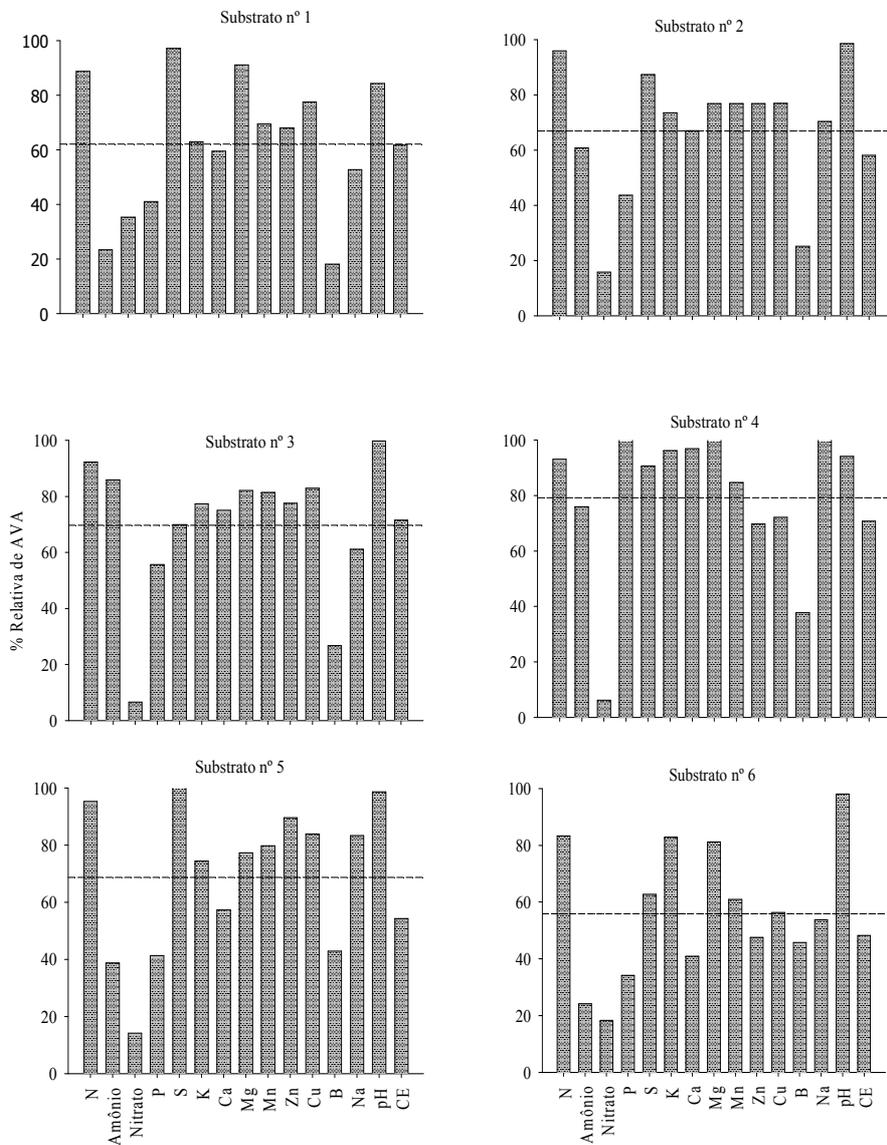


FIGURA 9 Percentagem relativa de atributos de valor agrônômico dos substratos de números 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Legenda: AVA = atributos de valor agrônômico. A linha tracejada representa a média percentual dos atributos para cada substrato.

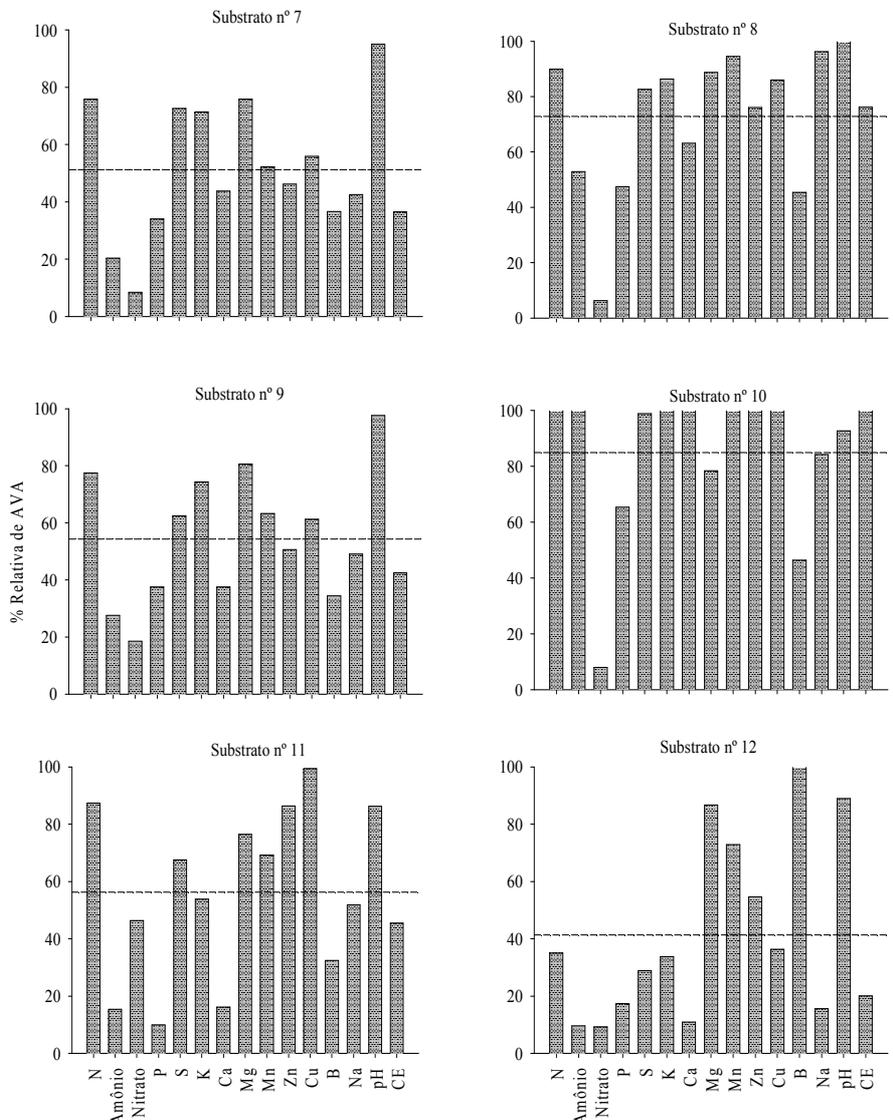


FIGURA 10 Percentagem relativa de atributos de valor agrônômico dos substratos de números 7, 8, 9, 10, 11 e 12. Legenda: AVA = atributos de valor agrônômico. A linha tracejada representa a média percentual dos atributos para cada substrato.

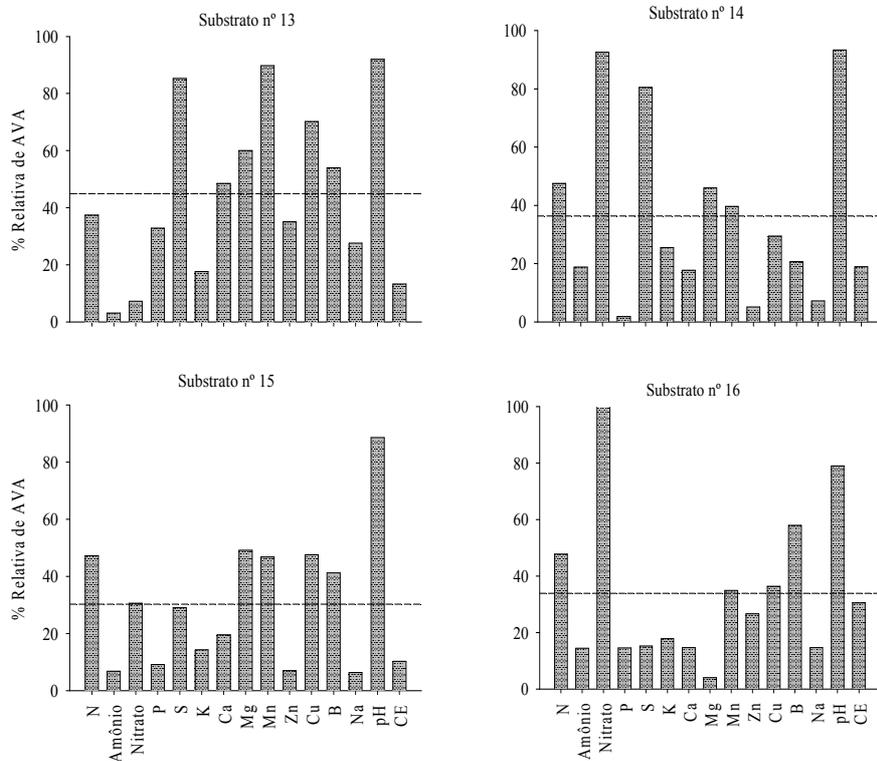


FIGURA 11 Percentagem relativa de atributos de valor agrônômico dos substratos 13, 14, 15 e 16. Legenda: AVA = atributos de valor agrônômico. A linha tracejada representa a média percentual dos atributos para cada substrato.

3.3 Teores disponíveis de nutrientes em extratos

Segundo Abreu et al. (2006), o método de preparo do extrato, ou seja, a proporção água:amostra depende do propósito da determinação e da precisão necessária. Os mesmos autores ainda relatam que o extrato de saturação é a melhor opção para se determinarem os sais solúveis. Contudo, trata-se de método demorado e trabalhoso, limitando o número de amostras que podem ser analisadas simultaneamente. De fato, esse método, além de ser trabalhoso e de requerer uma quantidade maior de material, em relação aos outros métodos, apresenta como inconveniente a dificuldade de se identificar o ponto final de diluição do resíduo que define a pasta de saturação, o que acarreta imprecisão nas análises. Desse modo, essa determinação do ponto ideal de saturação sempre será condicionada pelo operador que estiver realizando o procedimento, podendo os resultados obtidos serem menos reprodutíveis. Escolhido um método para avaliar os teores disponíveis de nutrientes, a comparação de resultados com outros trabalhos deve ser feita sempre com extratos obtidos na mesma proporção de água:amostra, dado que os teores mudam de acordo com o método adotado. Isso ocorre em razão de que, à medida que há um aumento na proporção de água, há uma tendência de os teores disponíveis, bem como da condutividade eletrolítica, decrescerem. No entanto, comparações entre métodos diferentes podem ser válidas, quando não há referências para um determinado atributo ou análise realizada para o método/proporções substrato:água escolhidas.

Na Figura 12, são apresentados os dados referentes aos teores disponíveis de N-amônio, N-nitrato, fósforo, enxofre, potássio e cálcio nos substratos produzidos e nos materiais comerciais. Os dados relativos aos valores de pH e de condutividade eletrolítica dos extratos são apresentados na Figura 7. A discussão para os valores de pH e de CE é a mesma feita anteriormente para os substratos, já que o mesmo extrato no qual foram determinados os valores de pH e de CE foram utilizadas como extratos para avaliação e determinação dos

teores disponíveis de nutrientes. Os substratos produzidos a partir de resíduos orgânicos apresentaram, de maneira geral, teores disponíveis mais elevados de N-amônio, fósforo e potássio, em relação aos substratos comerciais. O substrato 10 se destacou com os maiores teores disponíveis de N-amônio, N-nitrato, enxofre e de potássio, em relação aos demais substratos. O substrato número 10 apresentou a maior disponibilidade de N-nitrato. Para o nitrato e para o enxofre, à exceção do substrato número 10, todos os substratos foram, em termos de disponibilidade de nutrientes, similares em composição, de maneira geral, de modo que, dentre os substratos, o número 10 se destacou com elevados teores disponíveis de sódio (Figura 13) e de todos os nutrientes avaliados, exceto zinco, cujos teores em solução foram muito reduzidos em comparação com os teores totais desse nutriente. Os elevados teores de sódio disponíveis nos substratos obtidos das misturas de componentes orgânicos apresentaram padrão similar ao ocorrido para o teor total de sódio, diferindo, por outro lado, dos substratos comerciais, que apresentaram menor disponibilidade de nutrientes. Os substratos comerciais apresentaram menores teores disponíveis de magnésio, zinco, cobre e sódio, mas maior disponibilidade de manganês.

Com relação ao cálcio, os materiais comerciais foram iguais ou superiores em relação aos substratos produzidos com resíduos orgânicos. No entanto, apresentaram teores mais baixos, quando comparados os teores de cobre. Os resíduos de origem vegetal geralmente são menos ricos em nutrientes; a casca de café, nesse caso, é uma exceção. Lopes et al. (2007) realizaram um estudo em que utilizaram quatro substratos obtidos a partir de materiais predominantemente de origem vegetal e mineral e nenhum de origem animal ou urbana. Os teores disponíveis de nutrientes no extrato 1:2 e os valores de condutividade eletrolítica desses quatro substratos são bem inferiores aos encontrados nas misturas analisadas neste estudo. Desse modo, a condutividade eletrolítica, além de refletir o teor salino dos materiais, também reflete a

concentração de nutrientes. Quando os teores disponíveis de nutrientes são baixos, o cultivo de plantas é possível com fertilização adicional, como foi verificado no estudo de Lopes et al. (2008), que avaliaram dois substratos para a produção de mudas de eucalipto. No entanto, se o substrato utilizado proporcionar teores mais elevados de nutrientes disponíveis, isso poderia resultar em redução de custos, fato que é possível quando se misturam materiais orgânicos de diversas origens.

Os níveis ótimos de características físico-químicas de um substrato são, segundo Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000) citados por Lopes et al. (2008) e segundo Garcia-Gomez et al. (2002), em mg L^{-1} : K (150-249); Na (<115); S (<960); N-NO_3^- (100-199); N-NH_4^+ (0-20); P (6-10); Ca (150-249); Mg (>200); Mn (0,3-3,0); Zn (0,3-3,0); Cu (0,001-0,5); B (0,005 – -0,5) e pH (5,2-6,3) e CE, em dS m^{-1} (0,75-3,49). Tendo como base os valores citados, nota-se que os substratos apresentaram teores muito abaixo para o N-NO_3^- , com exceção do substrato número 10. Em contrapartida, os teores de N-NH_4^+ estão acima da faixa, para a maioria dos substratos.

Os substratos de números 1 a 11 apresentaram teores bem acima das faixas consideradas ótimas para P, K, Mg, Na e CE. Nos gráficos em que são apresentados os teores de P e do K, a linha tracejada não aparece porque os limites superiores das faixas ideais são 10 mg L^{-1} e 249 mg L^{-1} e esses são valores muito reduzidos em relação à escala dos gráficos que representam os teores disponíveis de P e de K. O oposto ocorre para o gráfico de S, em que o ideal é que os teores disponíveis sejam menores que 960 mg L^{-1} , de modo que pode ser verificado que todos os substratos atenderam a este nível considerado ideal.

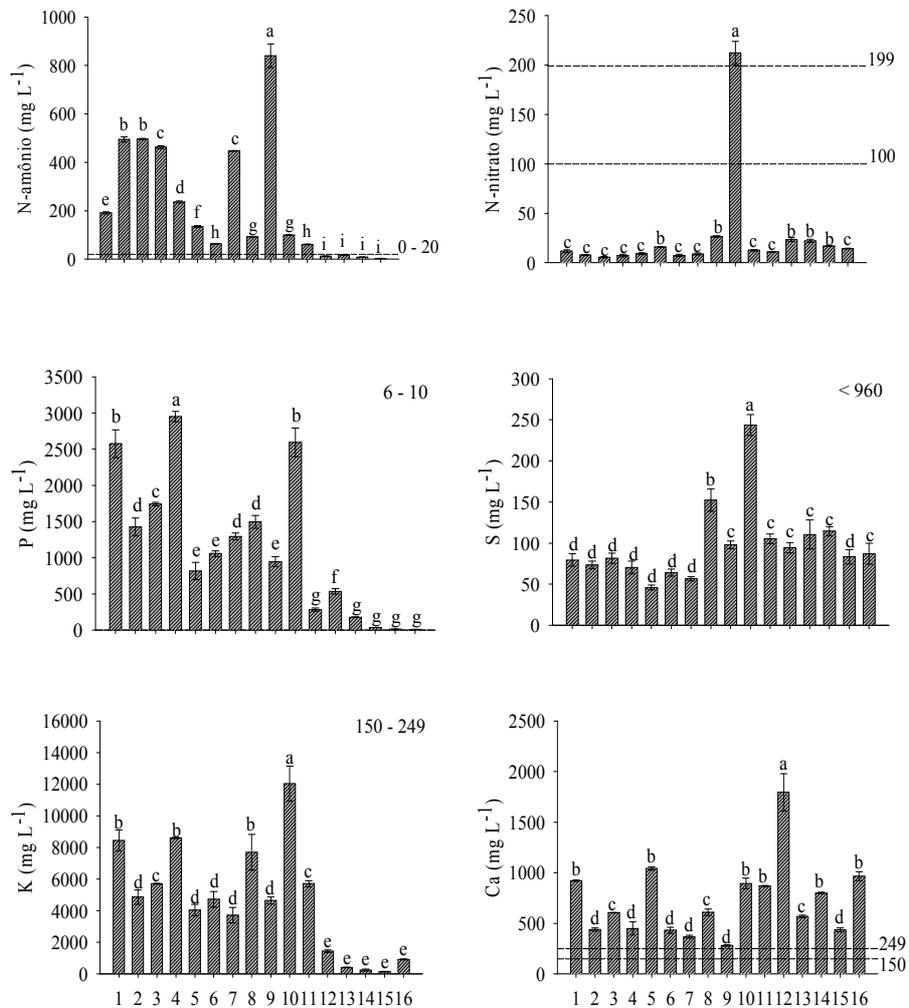


FIGURA 12 Teores disponíveis de N-amônio, N-nitrato, P, S, K e Ca dos substratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As linhas tracejadas representam os níveis ótimos considerados ideais para substratos para cultivo de plantas, segundo Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000) citados por Lopes et al. (2008) e segundo Garcia-Gomez et al. (2002).

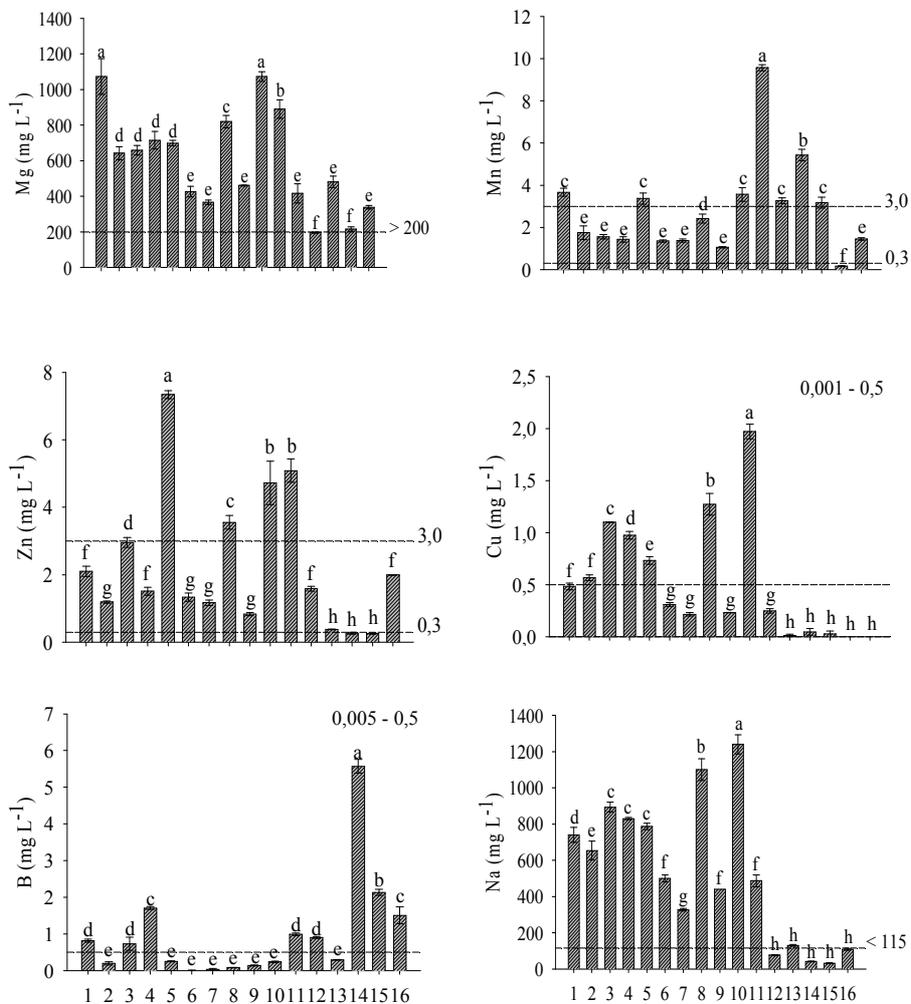


FIGURA 13 Teores disponíveis de Mg, Mn, Zn, Cu, B e Na dos substratos. Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam substratos de mesmos números, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As linhas tracejadas representam os níveis ótimos considerados ideais para substratos para cultivo de plantas, segundo Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000) citados por Lopes et al. (2008) e segundo Garcia-Gomez et al. (2002).

4 CONCLUSÕES

Os resíduos que apresentaram valores muito elevados de condutividade eletrolítica, os quais refletem suas composições químicas e os sistemas de produção dos resíduos, foram a casca de café, os esterco bovino e de galinha e o lodo de esgoto. Coincidentemente, esses são os materiais com maiores concentrações de nutrientes.

A maioria dos resíduos apresenta teores elevados de sódio e isso demanda maiores cuidados na fase de definição de proporções desses materiais para a produção de substratos.

Os teores totais de sódio são elevados nos substratos não comerciais, reflexo da grande presença desse elemento químico nos resíduos orgânicos. Em geral, os teores totais de N e K são cerca de duas vezes maiores nos substratos não comerciais em relação aos comerciais (substratos 12, 13, 14, 15 e 16); os teores de P, N-amônio e zinco também superam largamente os encontrados nos substratos comerciais.

Os substratos comerciais, basicamente, diferem dos substratos não comerciais em termos de baixa condutividade eletrolítica, menores teores de sódio, altos teores de N-nitrato, tendência de maior disponibilidade de B e, em geral, menor concentração de nutrientes.

Os teores disponíveis de K, P, N-amônio, Cu, Na, Zn e Mg, determinados para os materiais não comerciais, são superiores, em geral, aos verificados nos substratos comerciais.

Em geral, a disponibilidade de nutrientes nos substratos comerciais está mais próxima de valores considerados críticos pela literatura para o eucalipto, de modo que é possível adiantar possíveis problemas de excesso, toxidez ou desequilíbrios no fornecimento de nutrientes ao eucalipto, em função do emprego dos substratos não comerciais no cultivo de mudas dessa espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M.; NOGUERA, P.; BURÉS, S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 77, n. 2, p. 197-200, Apr. 2001.
- ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; BATAGLIA, O. C. Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2002. p. 17-28.
- ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; SARZI, I.; PADUA JUNIOR, A. L. Extratores aquosos para a caracterização química de substratos para plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 184-187, abr./jun. 2007.
- ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C.; FALCÃO, A. A. Protocolos de análises químicas. In: ANDRADE, J. C.; ABREU, M. F. (Org.). **Química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2006. p. 121-158.
- ANDRADE NETO, A. **Avaliação de substratos alternativos e tipos de adubação para a produção de mudas de cafeeiro (Coffea arábica L.) em tubetes**. 1998. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BARDHAN, S.; WATSON, M.; DICK, W. A. Plant growth response in experimental soilless mixes prepared from coal combustion products and organic waste materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 173, n. 7, p. 489-500, July 2008.
- BENITO, M.; MASAGUER, A.; ANTONIO, R. de; MOLINER, A. Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 96, n. 5, p. 597-603, Mar. 2005.
- BENITO, M.; MASAGUER, A.; MOLINER, A.; ARRIGO, N.; PALMA, R. M. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 37, n. 3, p. 184-189, Mar. 2003.

BERNAL, M. P.; PAREDES, C.; SANCHES-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 63, n. 1, p. 91-99, Jan. 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normas climatológicas: 1960-1990**. Brasília: MA/SNI/DNMET, 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 14, de 15 de dezembro de 2004. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas, constantes do anexo desta instrução normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 dez. 2004. Seção 1. p. 24. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=10433>>. Acesso em: 21 abr. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 maio. 2007. Seção 1. p. 8. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17762>>. Acesso em: 26 abr. 2009.

FERMINO, M. H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2002. p. 29-37.

FERREIRA, D. F. **SISVAR software: versão 4.6**. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

GARCIA-GOMEZ, A.; BERNAL, M. P.; ROIG, A. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 83, n. 2, p. 81-87, June 2002.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostados por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1067-1076, nov./dez. 2004.

HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; GASCÓ, A. M.; GASCÓ, J. M.; GERRERO, F. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 96, n. 1, p. 125-131, Jan. 2005.

JÚNIOR, A. W.; NEGREIROS, J. R. S.; ALEXANDRE, R. S.; PIMENTEL, L. D.; MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H. Substratos no desenvolvimento inicial de quatro cultivares de pessegueiro e uma nectarineira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1322-1328, jul./ago. 2008.

KÖPPEN, W. **Roteiro para classificação climática**. [S.l.: s.n.], 1970. 6 p. Mimeografado.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Atributos químicos e físicos de dois substratos para produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 358-367, out./dez. 2008.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Nutrição mineral de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e substratos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 713-722, jul./ago. 2007.

MELO, L. C. A. **Caracterização físico-química e comparação de métodos de digestão de resíduos orgânicos**. 2007. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.. Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 556-561, Mar. 2008.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 101-110, jan./fev. 2008.

MILLER, J. H.; JONES, N. **Organic and compost-Based growing media for tree seedling nurseries**. Washington: World Bank, 1995. 264 p. Disponível em: <<http://nzdl.sadl.uleth.ca/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0hdl--00-0--0-10-0---0---0prompt-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00&a=d&c=hdl&cl=CL1.13&d=HASH0125c7ae3684058b292ddb3c>>. Acesso em: 06 jun. 2009.

SCHMITZ, J. A.; SOUZA, P. V. D.; KÄMPF, A. N. 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, dez. 2002.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M. **Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 5 p. (Comunicado Técnico, 278).

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 2, n. 64, p. 150-162, dez. 2003.