

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA COMO
COMPONENTES DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE
MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Felipe Biondi Fernandes de Lima
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA COMO
COMPONENTES DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE
MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Ciência do Solo).

Felipe Biondi Fernandes de Lima
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2016

L732r Lima, Felipe Biondi Fernandes de
Resíduos da indústria sucroenergética como componentes de
substratos para produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar /
Felipe Biondi Fernandes de Lima. – – Jaboticabal, 2016
x, 56 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: José Eduardo Corá
Banca examinadora: Adolfo Valente Marcelo, Carolina Fernandes
Bibliografia

1. Torta de filtro. 2. Bagaço. 3. Cinza. 4. MPB. 5. *Saccharum* spp. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço
Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA COMO COMPONENTES DE
SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR

AUTOR: FELIPE BIONDI FERNANDES DE LIMA

ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO CORÁ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof.ª. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP / São José do Rio Preto/SP

Jaboticabal, 30 de agosto de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FELIPE BIONDI FERNANDES DE LIMA – Nascido dia 31 de julho de 1991, em Jaboticabal, SP, cursou toda a sua formação básica e média no Colégio Santo André, no período de 1997 a 2008. Em março de 2009, ingressou no Curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal, SP. Foi bolsista de iniciação científica pela FAPESP durante o período de agosto de 2011 a dezembro de 2013, e em fevereiro de 2014, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Iniciou em março de 2014 o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na mesma Universidade de formação. Em agosto de 2013 começou o estágio curricular no Condomínio Agrícola Santa Izabel, em Jaboticabal – SP, em janeiro de 2014 passou para o cargo de supervisor agrícola e em maio de 2016 passou a atuar na região de Frutal – MG como gerente de produção agrícola. No dia 30 de agosto de 2016, submeteu-se à banca para a defesa da Dissertação e obteve o título de Mestre em Agronomia

*“O maior inimigo do conhecimento não é a
ignorância, mas a ilusão do conhecimento”*

Stephen Hawking

OFEREÇO

Aos meus pais Valdecir e Maria Aparecida, à minha irmã Flavia, aos meus avós Edson, Santinha e Lina por seus exemplos de vida, perseverança e incentivos constantes ao meu trabalho e desenvolvimento profissional. Mas acima de tudo, agradeço por darem sentido à palavra família em minha vida.

À minha noiva Larissa Erikson que em todos os momentos, dos mais gloriosos até os mais sacrificantes, sempre esteve ao meu lado, me dando força, me apoiando e por muitas vezes contribuindo para que este trabalho chegasse a sua fase final.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** por tudo que aconteceu na minha vida até hoje e por toda saúde a mim proporcionada.

Ao **Prof. Dr. José Eduardo Corá** por sua orientação, dedicação, amizade e também por todas as oportunidades oferecidas para meu desenvolvimento intelectual, profissional e humano.

Ao amigo e parceiro **Prof. Dr. Adolfo Valente Marcelo**, que sempre esteve presente neste, e em todos os trabalhos por mim desenvolvidos, pelo apoio em diversas orientações, confiança e amizade.

À **Profª. Drª. Carolina Fernandes** pelos ensinamentos, orientação e participação direta neste trabalho.

À minha noiva **Larissa Erikson** que esteve presente e me acompanhou em todas as fases de desenvolvimento do projeto, com muita garra, amor e determinação.

À **Profª. Drª. Durvalina Maria** e **Sônia Carregari** pelo apoio, orientação, sugestões e disponibilização dos equipamentos necessários do Laboratório de Fisiologia Vegetal.

Ao Diretor **Paulo de Araújo Rodrigues** e ao Gerente de Produção Agrícola **Alysson Guilherme Strak** do Condomínio Agrícola Santa Izabel (CASI) pelos ensinamentos práticos com a cultura da cana-de-açúcar, amizade e permissão para realização deste trabalho.

Aos colaboradores do viveiro da **Fazenda Santa Izabel** que sempre foram muito prestativos e dedicados com a produção das Mudas Pré-Brotadas.

Aos amigos **Luiz Augusto (Venta)** e **Leonardo (Bitrem)** que contribuíram para o início do desenvolvimento do trabalho.

Enfim, a todos, que de alguma forma, contribuíram para esse acontecimento se concretizasse.

MUITO OBRIGADO!

Sumário

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Análises físico-químicas.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5. CONCLUSÕES	40
6. LITERATURA CITADA.....	41

RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA COMO COMPONENTES DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A utilização de resíduos da indústria sucroenergética como substrato para a formação de mudas pré-brotadas torna o processo de produção cana-de-açúcar sustentável, sendo os próprios resíduos utilizados para uma nova geração da cultura. O presente trabalho teve como objetivo obter um substrato, composto por resíduos da indústria sucroenergética, adequado para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três substratos isolados: torta de filtro, cinza e bagaço de cana-de-açúcar, os quais foram comparados a um substrato testemunha. Os tratamentos foram homogeneizados seguindo a proporção volume:volume e destas misturas foram realizadas as caracterizações físicas e químicas. Realizou-se o plantio dos minirrebolos em tubetes de 180 cm³, respeitando a densidade de cada material, e, então, os materiais foram levados para casa de vegetação por 90 dias. As mudas foram avaliadas quanto ao desenvolvimento da parte aérea, radicular, porcentagem de brotação e análise químicas das folhas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com dezoito repetições. Foi realizada a análise de variância e, quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; foi realizado análise de correlação entre todos os resultados. As mudas cultivadas no substrato T2/10-C2/10-B6/10 apresentaram maior desenvolvimento da parte aérea e radicular, maior facilidade para retirada do tubete, menor densidade e maior quantidade de nutrientes.

Palavras-Chave: Torta de filtro; bagaço; cinza; MPB; *Saccharum* spp.

SUGARCANE INDUSTRY WASTE AS SUBSTRATE COMPONENTS FOR PLANTS PRODUCTION OF PRE-SPROUTED CANE SUGAR

SUMMARY – The use of waste of sugarcane industry as substrate for the formation of pre-sprouted seedlings makes the process of sugarcane sustainable production, the waste itself used for a new generation of culture. This study aimed to obtain a substrate, composed of waste from sugarcane industry, suitable for the production of pre-sprouted of sugarcane seedlings. The treatments were a combination of three insulated substrates: filter cake, ash and bagasse sugarcane, which were compared to a control substrate. The treatments were homogenized following the ratio volume: volume mixtures of these and the physical and chemical characterizations were carried out. There was the planting of “minirrebolos” in tubes of 180 cm³, respecting the density of each material, and then the materials were taken to a greenhouse for 90 days. The seedlings were evaluated for the development of shoot, root, sprouting percentage and chemical analysis of the leaves. The experimental design was completely randomized, with eighteen repetitions. Analysis of variance was performed and, when significant, the means were compared by the Scott-Knott test at 5% probability; correlation analysis was performed between all results. Seedlings grown in substrate T2/10-C2/10-B6/10 presented further development of root and shoot, easier to remove the cartridge, lower density and higher amount of nutrients.

Keywords: Filter cake; bagasse; ash; MPB; *Saccharum* spp.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar tem por característica apresentar elevado grau de tecnologia aplicada ao sistema produtivo, como, por exemplo, utilização de piloto automático por GPS, controle biológico e químico de pragas, melhoramento genético, dentre outros. Porém, apresenta deficiência quanto ao sistema de plantio utilizado, que, nos últimos anos, teve uma grande evolução na mecanização e segurança aos trabalhadores, mas ainda apresenta problemas com uniformidade de brotação dos rebolos (nome dado, por convenção entre os pesquisadores, para o tolete de cana-de-açúcar), competição intraespecífica e consumo excessivo de 18 a 25 t ha⁻¹ de muda.

O sistema de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) foi desenvolvido buscando atender as deficiências do plantio convencional mecanizado. O uso de mudas com brotação padronizada diminui os problemas quanto à uniformidade do plantio; a distribuição espacial correta das mudas proporciona melhor aproveitamento dos recursos (hídricos e nutricionais), reduzindo a competição intraespecífica estabelecida em áreas de plantio mecanizado com excesso de mudas. Também permite a redução do volume de muda utilizado (1 a 2,5 t ha⁻¹), sendo o excedente destinado para moagem; maior controle na qualidade e vigor de brotação, resultando em canaviais com excelente padrão clonal e, portanto, com maior homogeneidade.

Devido às inúmeras vantagens apresentadas pelo sistema de MPB, o aumento no consumo de mudas plantadas tem levado à redução de matérias-primas tradicionais para composição dos substratos, bem como a crescente elevação dos custos. Deste entrave para a produção, surgiu a necessidade de desenvolvimento de novos substratos, com composições técnicas, econômicas e sustentáveis, utilizando os resíduos da própria indústria canavieira como fonte geradora de cana-de-açúcar. Portanto, considera-se a disponibilidade e o baixo custo dos resíduos gerados pela indústria sucroenergética, como torta de filtro, bagaço de cana e cinza de caldeira, na utilização de substrato para a produção de MPB.

A hipótese do trabalho é que a utilização de resíduos gerados pela indústria sucroenergética na forma de matéria-prima para produção de substrato para mudas pré-brotadas seja viável no desenvolvimento das mudas de forma comparável ao substrato testemunha.

O objetivo do trabalho foi obter um substrato composto por resíduos da indústria sucroenergética adequado para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

Muitos trabalhos utilizando substratos são desenvolvidos a partir de componentes gerados de resíduos agrícolas disponíveis em maior quantidade e menor custo nos seus locais de estudo. Assim, observam-se trabalhos com casca de arroz (FREITAS, 2013), bagaço de cana-de-açúcar (LONE et al., 2010; SANTOS JÚNIOR et al., 2014), composto orgânico (MENEZES et al., 2013), torta de filtro (BARROS et al., 2014; SANTANA et al., 2012), casca de amendoim (MELO et al., 2014), fibra da casca de coco (KRATZ et al., 2013), casca de pinus e vermiculita (LOPES et al., 2008).

Uma das dificuldades em utilizar resíduos agroindustriais como substratos é o desconhecimento de suas propriedades físico-químicas, e sabe-se que alguns casos são necessários a adição complementar de nutrientes.

Segundo Carrijo et al. (2004) a utilização de matérias-prima presentes em diferentes regiões do país é essencial para diminuir os custos de produção dos substratos. Portanto, consideram-se os resíduos da agroindústria canavieira com alto potencial para serem utilizados na composição de substratos para MPB na região de Jaboticabal - SP.

Avaliando as propriedades físicas e químicas de 41 tipos de substratos compostos por matérias-prima renováveis e de grande disponibilidade (fibra de coco, casca de arroz carbonizada em diferentes granulometrias, biossólido e casca de pinus semidecomposta), Kratz et al. (2013) concluíram que determinados resíduos agroindustriais podem ser utilizados como matéria-prima na produção de substratos para produção de mudas florestais, embora em alguns casos deva ser feita adubação complementar. Ainda, tendo em vista que as propriedades físicas são mais decisivas que as propriedades químicas na determinação do substrato, os autores concluíram que a fibra de coco e a casca de arroz carbonizada se mostraram mais eficientes para a produção de mudas florestais.

Serrano et al. (2006) avaliando subprodutos da agroindústria canavieira (bagaço de cana e torta de filtro) como substrato para produção de maracujazeiro-amarelo,

concluíram que estes materiais fertilizados com adubo de liberação lenta podem ser indicados para tal produção.

O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto fibroso resultante da extração do caldo de cana através da moagem. Atualmente, responde pelas necessidades energéticas do setor sucroenergético, como biomassa em processos de cogeração, e ainda gera um excedente passível de ser comercializado para concessionárias de energia ou outros pólos industriais (LORA et al., 2001). Pode apresentar outras formas de utilização e mesmo após a extração da sacarose e nutrientes, o bagaço ainda contém muita matéria orgânica (RABELO et al., 2008).

Silva et al. (2008) utilizando bagaço de cana-de-açúcar em diferentes períodos de compostagem e tamanho de partículas concluíram que, o bagaço apresenta boa estabilidade de partícula, mas valor de água disponível inferior a $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, (valor mínimo recomendado para substratos), necessitando irrigações mais frequentes.

Avaliando o desempenho de tomateiro cereja em substratos compostos por misturas de bagaço de cana, areia e casca de amendoim, presentes em alta disponibilidade na região de Jaboticabal – SP, Fernandes et al. (2006) concluíram que tais materiais podem ser usado neste cultivo, sendo a produtividade do tomateiro semelhante em todas os substratos testados. Segundo a autora, foram observadas diferenças significativas para os valores de água facilmente disponível e espaço de aeração. Tais valores estão relacionados à granulometria das partículas, que por sua vez, afeta a formação dos poros com variados tamanhos.

Avaliando substratos alternativos (bagaço de cana-de-açúcar, pínus, cerâmica e carvão) para substituição no uso de xaxim para produção de orquídea, Meurer et al. (2008) concluíram, devido as características de retenção de água, que o bagaço de cana-de-açúcar possa ser usado como matéria para a produção de orquídeas. Porém, tal material absorve muita água, o que pode afetar a umidade do ambiente.

A torta de filtro é um subproduto residual da filtração do caldo no filtro rotativo do processamento industrial da cana-de-açúcar. Apresenta de 1,2 a 1,8% de fósforo e cerca de 70% de umidade, é usado, principalmente, em plantios realizados em épocas

secas para garantir a brotação da cana em doses que variam de 10 a 20 t ha⁻¹ (ADORNA et al., 2013).

De modo geral, a torta de filtro é rica em minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica. Cerca de 50% do fósforo da torta está prontamente disponível para as plantas, o restante será mineralizado mais lentamente (SANTANA et al., 2012).

Devido aos efeitos benéficos do material orgânico, a qualidade física e nutricional, a alta disponibilidade e o baixo custo, acredita-se que a torta de filtro tenha potencial para ser utilizado como constituinte em substrato para a produção de MPB.

Santos et al. (2005) avaliando meios de enraizamento para mudas de hortaliças concluíram que a torta de filtro, após passar por compostagem e adubação de base, apresentou desenvolvimento favorável para as mudas de tomate, repolho e pepino. Segundo os autores, a torta de filtro pode ser usada isoladamente como matéria-prima para substrato, garantindo facilidades quanto a sua produção.

Serrano et al. (2006) avaliando substratos compostos por resíduos da agroindústria canavieira para produção de mudas de maracujá-amarelo apresentaram incremento de altura semelhantes dos tratamentos com torta de filtro + bagaço de cana, quando comparados com substrato comercial. Os autores destacam o alto teor de fósforo nos substratos compostos pelos resíduos agroindustriais, o que garantiu às mudas alto teor do macronutriente, mesmo não havendo adubação complementar.

A cinza de caldeira também é um resíduo da agroindústria canavieira, sendo formada durante a queima do bagaço de cana-de-açúcar nas fornalhas das caldeiras para co-geração de energia. É composto na sua maior parte de materiais inorgânicos e com aspecto grosseiro.

A cinza do bagaço de cana apresenta grande quantidade de dióxido de silício, superior a 60% (em massa). O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossílico (H₄SiO₄) e o acúmulo de silício entre a parede das células da epiderme e a cutícula forma uma espécie de barreira física à penetração de fungos patogênicos e reduz as perdas de água por transpiração (BARBOZA FILHO e PRABHU, 2002).

Usualmente, as usinas têm descartado este material junto com a aplicação de torta de filtro, mas sem critérios ambientais ou agronômicos. Devido aos poucos estudos e as altas quantidades produzidas, não se tem ao certo qual o melhor destino para a utilização da cinza. Acredita-se, pela alta disponibilidade e característica granulométrica, que a cinza em mistura com outras matérias-primas possa ser utilizada para a produção de substratos, sendo uma opção economicamente viável e agronomicamente recomendável.

2.1 Análises físico-químicas

Diversas matérias-prima podem ser utilizadas como substratos para o cultivo de plantas, porém, pela dificuldade de se encontrar todas as características desejáveis em apenas um material, torna-se necessário realizar misturas para atingir as melhores condições químicas e físicas para o crescimento das plantas em recipientes (SERRANO et al., 2006). No entanto, o resultado da mistura não é somente a soma de seus componentes, e sim, quais são as características que este meio irá apresentar.

A caracterização física e química é fundamental para que se possam padronizar os lotes dos substratos melhorando a qualidade da matéria-prima. Tais características permitem a adequação dos produtos quanto à formulação granulométrica, recomendação e uso de adubações complementares e controle exato do manejo de irrigação (ZORZETO, 2011).

A granulometria corresponde à distribuição do tamanho de partículas de um material, expresso pela porcentagem da massa de cada fração em relação à massa total seca ao ar. As propriedades dos substratos podem ser entendidas pelas múltiplas combinações e formas de organização das suas partículas. Desta forma, a análise granulométrica possibilita retratar a propriedade física do material e sua adequação para o cultivo, influenciando o volume de água e ar do substrato (ANSORENA et al., 1994).

Materiais que apresentam grande variação granulométrica podem causar estabilização das partículas durante sua movimentação, ou seja, as partículas de menor tamanho se encaixam entre os espaços deixados pelas partículas maiores (ANSORENA, 1994). Essa estruturação dentro do recipiente pode provocar redução na porosidade total e no espaço de aeração dos substratos (SPOMER, 1979). Por outro lado, pode provocar aumento na retenção de água com o aumento de poros de menor diâmetro (ANSORENA, 1994), citado por Fernandes et al. (2006)

De acordo com FERMINO (2003), substratos com partículas de tamanho menor que 1 mm provocam diminuição na porosidade e acréscimo na retenção de água. Segundo CADAHIA (1998), citado por Zorzeto (2011), em geral, o substrato mais recomendado apresenta poros entre 30 e 300 μm , promovendo equilíbrio entre a água disponível e a aeração do ambiente.

A densidade representa a relação entre a massa de partículas e o volume por elas ocupado (BUNT, 1983), citado por Fernandes (2005). A densidade do substrato pode variar conforme a força aplicada a ele, ou seja, a pressão exercida no material no momento de preencher o tubete, além da própria massa das partículas e de sua umidade atual (KÄMPF et al., 1999). Quanto maior a umidade, mais pesado fica o substrato e menor volume ele ocupa quando comparado à mesma massa com uma umidade menor (FERMINO, 2002), citado por Zorzeto (2011).

Substratos são caracterizados pela presença de poros preenchidos por ar e água (KÄMPF, 2001). Os poros permitem as trocas gasosas entre o substrato e a atmosfera, assim como são responsáveis pelo movimento da água no recipiente. Portanto, substratos que apresentam menor densidade, possuem maior porosidade, maior facilidade de drenagem e menor restrição às raízes (MAGGIONI et al., 2014).

Caldeira et al. (2013) avaliando lodo de esgoto, casca de arroz, palha de café e substrato comercial, em diferentes misturas, como meio para produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii* verificaram valores de densidade fora da faixa teórica ideal proposta por Gonçalves e Poggiani (1996), que citam valores entre 0,45 e 0,55 g cm^{-3} . Os autores ainda repelem o uso de lodo de esgoto isolado, devido a sua baixa

porosidade e alta densidade, o que provoca compactação do substrato. Porém, apresenta relativa fertilidade.

A metodologia mais usada em substratos para a avaliação da distribuição volumétrica de ar e água é a desenvolvida por DE BOODT & VERDONCK (1972). A curva de retenção de água é uma importante ferramenta que fornece informações sobre o volume de água presente nos substratos depois de aplicada diferentes tensões. A partir dos valores gerados pode-se calcular a porosidade total (PT), que compreende o volume de água retido na tensão 0 hPa (saturação); espaço de aeração (EA), volume que contém ar depois que o substrato foi saturado com água e deixado drenar com 10 hPa de tensão (FERNANDES, 2005). Esse ponto foi definido por De Boodt & Verdonck (1972) em função da altura entre 10 a 15 cm dos recipientes usados com substratos.

É possível obter ainda água disponível (AD), volume de água liberado entre 10 a 100 hPa de tensão; água facilmente disponível (AFD), volume de água liberado entre 10 a 50 hPa de tensão; água tamponante (AT), volume de água liberado entre 50 a 100 hPa de tensão; água remanescente (AR), volume de água que permanece nas amostras depois de aplicada a tensão de 100 hPa (DE BOODT & VERDONCK, 1972).

Kratz et al. (2013) avaliando substratos compostos por fibra de coco, casca de arroz carbonizada, biossólido e casca de pinus verificaram que os materiais com maior microporosidade, também obtiveram aumento na capacidade de retenção de água. Os autores citam resultados semelhantes encontrados por Guerrini e Trigueiro (2004) que, por sua vez, procederam à adição de biossólido à casca de arroz carbonizada e obtiveram aumento da microporosidade, e, conseqüentemente, aumento na capacidade de retenção de água. Porém, alertam para o uso de materiais com baixa capacidade de retenção, sendo necessário alto consumo de água para irrigação. Já Gonçalves et al. (2000) prezam para o controle de irrigação em substratos com altos valores de água facilmente disponível para evitar possíveis encharcamentos.

A condutividade elétrica e o pH são propriedade fundamentais para a caracterização química dos substratos (ARAÚJO, 2003).

A condutividade elétrica tem a capacidade de fornecer o conteúdo estimado de sais solúveis do substrato, com base corrente elétrica conduzida pelos íons dissolvidos na água. Este valor se torna importante devido a capacidade variável das plantas em suportar o estresse osmótico causado pelos altos níveis de salinidade (ANSORENA, 1994; KÄMPF, 2000), citado por Fernandes (2005).

O valor do pH é um atributo químico importantes para o cultivo de vegetais, pois influencia diretamente a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, principalmente os micronutrientes (KÄMPF, 2000). ARAÚJO (2003) cita para o ambiente radicular uma faixa adequada de pH (em água) entre 5,0 e 6,0, porém esses valores podem sofrer diferentes alterações dependendo da espécie cultivada.

A quantificação dos teores de nutrientes no substrato é necessária para auxiliar na recomendação das adubações. Em sua maior parte, a reposição se faz com o uso de fertilizantes químicos minerais, que apresentam alta concentração e alta solubilidade, podendo ser rapidamente absorvidos pelas plantas e/ou lixiviados com maior facilidade.

Os fatores ambientais podem influenciar diretamente as características morfológicas do sistema radicular (BÖHM, 1979), tendo destaque o diâmetro. A variação do diâmetro das raízes pode evidenciar algumas características do solo e/ou da planta. Quando as raízes encontram resistência mecânica elas tendem a apresentar um aumento no diâmetro (JIN et al., 2013). Raízes de plantas com diâmetros pequenos demonstram-se mais eficientes na extração de recursos e abrangência do solo do que as com diâmetros maiores. Entretanto, as raízes mais grossas podem apresentar maior eficiência no transporte de água em relação às raízes de diâmetros menores (BEYER et al., 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP. A altitude local é de 552 m; com latitude de 21°24'63" S e longitude 48°29'55" W. O clima, segundo a classificação de KÖEPPEN (1936), é do tipo Aw, tropical de inverno seco.

A casa de vegetação possui as características de construção em blocos perfurados de alvenaria, orientada no sentido leste-oeste, com dimensões de 4,60 m de largura por 11,60 m de comprimento, pé direito de 2,60 m e altura máxima de 3,60 m, coberta com vidro transparente, permanecendo com telas laterais antiofídicas durante todo o período do experimento.

Os substratos em estudo foram escolhidos de acordo com a sua disponibilidade nas usinas sucroenergéticas, sendo: torta de filtro decomposta e destorroada (T); bagaço de cana-de-açúcar passado em peneira de 6,3 mm de malha para retirada de materiais grosseiros (B) e cinza resultante da queima do bagaço (C). Os tratamentos foram definidos a partir destes materiais isolados e em misturas variando em 1/10 (proporção em volume) de cada matéria-prima (Tabela 1). Também foi avaliado um substrato testemunha, composto por 70% de (fibra de coco + vermiculita) e 30% de (casca de pínus + serragem + casca de arroz) para termos comparativos (Testemunha). A distribuição do tamanho de partículas dos substratos são apresentados na figura 2.

Tabela 1. Componentes dos substratos para produção de Mudanças Pré-Brotadas (MPB).

	Componentes/Substratos		
	Torta de filtro (%)	Cinza (%)	Bagaço de cana (%)
T10/10-C0/10-B0/10	100	-	-
T0/10-C10/10-B0/10	-	100	-
T0/10-C0/10-B10/10	-	-	100
T1/3-C1/3-B1/3	33	33	33
T2/10-C4/10-B4/10	20	40	40
T4/10-C2/10-B4/10	40	20	40
T4/10-C4/10-B2/10	40	40	20

T6/10-C2/10-B2/10	60	20	20
T2/10-C6/10-B2/10	20	60	20
T2/10-C2/10-B6/10	20	20	60
T8/10-C1/10-B1/10	80	10	10
T1/10-C8/10-B1/10	10	80	10
T1/10-C1/10-B8/10	10	10	80
T1/10-C9/10-B0/10	10	90	-
T2/10-C8/10-B0/10	20	80	-
T3/10-C7/10-B0/10	30	70	-
T4/10-C6/10-B0/10	40	60	-
T5/10-C5/10-B0/10	50	50	-
T6/10-C4/10-B0/10	60	40	-
T7/10-C3/10-B0/10	70	30	-
T8/10-C2/10-B0/10	80	20	-
T9/10-C1/10-B0/10	90	10	-
T1/10-C0/10-B9/10	10	-	90
T2/10-C0/10-B8/10	20	-	80
T3/10-C0/10-B7/10	30	-	70
T4/10-C0/10-B6/10	40	-	60
T5/10-C0/10-B5/10	50	-	50
T6/10-C0/10-B4/10	60	-	40
T7/10-C0/10-B3/10	70	-	30
T8/10-C0/10-B2/10	80	-	20
T9/10-C0/10-B1/10	90	-	10
T0/10-C1/10-B9/10	-	10	90
T0/10-C2/10-B8/10	-	20	80
T0/10-C3/10-B7/10	-	30	70
T0/10-C4/10-B6/10	-	40	60
T0/10-C5/10-B5/10	-	50	50
T0/10-C6/10-B4/10	-	60	40
T0/10-C7/10-B3/10	-	70	30
T0/10-C8/10-B2/10	-	80	20
T0/10-C9/10-B1/10	-	90	10

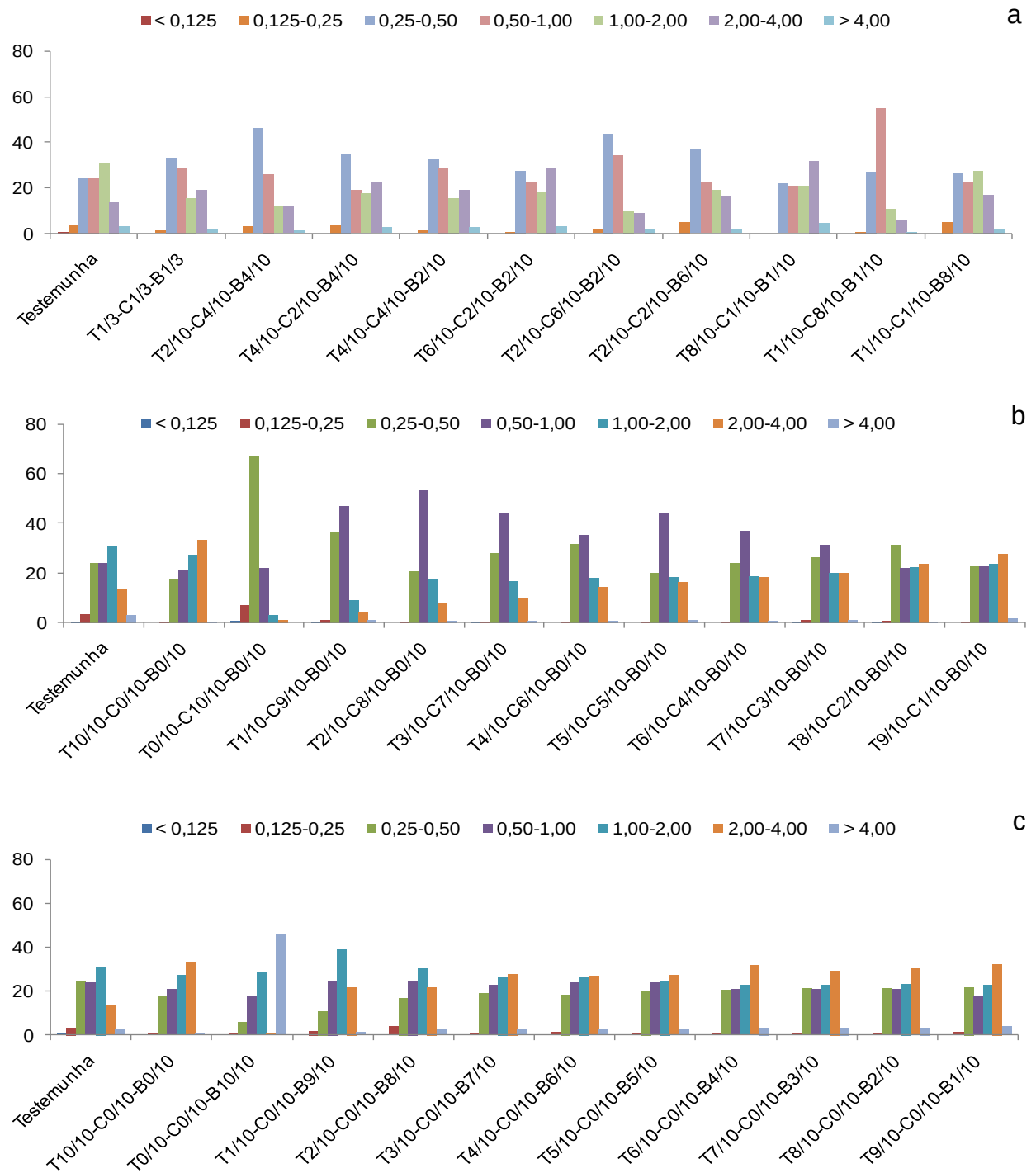


Figura 2. Distribuição do tamanho de partículas (% em peso) dos substratos utilizados no cultivo de Mudanças Pré-Brotadas (MPB) de cana-de-açúcar (a, b, c).

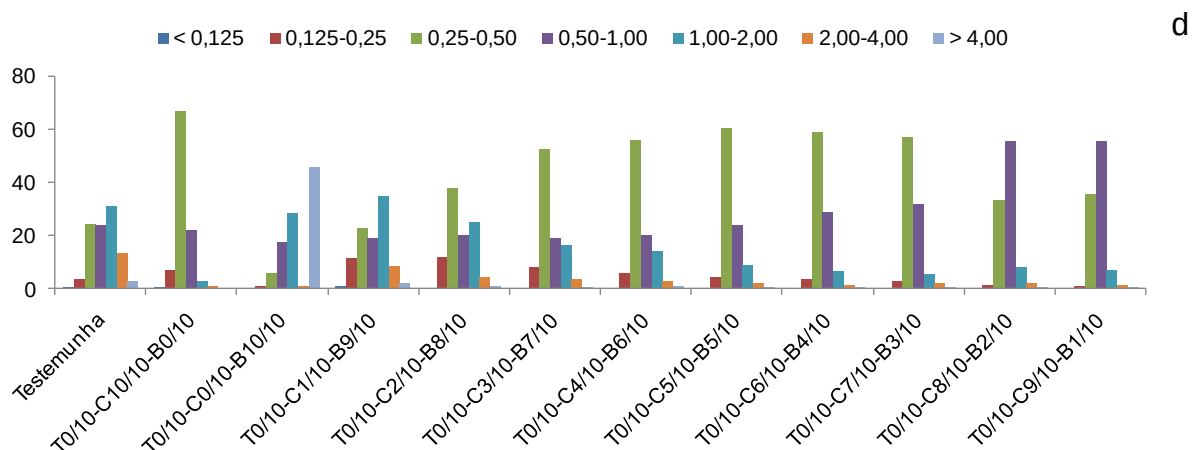


Figura 2. Distribuição do tamanho de partículas (% em peso) dos substratos utilizados no cultivo de Mudanças Pré-Brotadas (MPB) de cana-de-açúcar (d).

A densidade foi calculada pelo método da auto-compactação, segundo Hoffmann, descrito por BACKES (1988). O método consiste em preencher uma proveta plástica transparente e graduada com o substrato na umidade atual, até a marca de 250 cm³. A proveta então foi deixada cair sob ação do seu próprio peso, de uma altura de 10 cm, por dez vezes consecutivas. Com o auxílio de uma espátula, nivelou-se a superfície do material e o volume obtido lido. Por fim, pesou-se o material contido na proveta. Foram realizadas cinco repetições para cada tratamento.

Para avaliar a distribuição do tamanho de partículas (granulometria) utilizou-se um conjunto com peneiras de malha: 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm. Foi pesada uma alíquota de 100 g de substrato seco em estufa a 65 °C, colocada em agitador mecânico durante três minutos (FERMINO, 2003). Após a agitação, a fração contida em cada peneira foi pesada separadamente.

Para a determinação da capacidade de retenção de água foi vedado o fundo de anéis volumétricos, feitos a partir de cilindros de PVC de 285 cm³ (72 mm de diâmetro interno e 70 mm de altura), com tecido de nylon preso por um atilho de borracha. Os anéis foram preenchidos com os substratos, tomando o cuidado para que o material ocupasse de forma homogênea todo o espaço do anel, sendo a quantidade de material

utilizada calculada com base na densidade úmida dos materiais, previamente determinada.

Os anéis preenchidos com substrato foram colocados em bandejas de 10 cm de altura contendo água cerca de até 0,5 cm da borda superior do anel para saturação por 48 horas. Após esse tempo, os anéis foram pesados para obter o valor do estado de saturação (0 hPa). Posteriormente, os anéis foram transferidos para mesa de tensão e ajustada para a tensão de 10 hPa, 50 hPa e 100 hPa. Finalmente, as amostras foram secas em estufa a 65°C e pesadas para a determinação de massa seca. As curvas de retenção de água foram construídas com base nos valores de umidade volumétrica obtidos em cada tensão.

Após passar pela mesa de tensão, o substrato foi levado a estufa a temperatura de 65°C, devido possibilidade de haver líquidos voláteis distintos da água na matéria orgânica e ocorrer oxidações ou decomposições que modifiquem o seu peso, além de eventuais perdas por queima de material orgânico (BURÉS, 1997), citado por Zorzeto (2011).

Para a determinação do pH e condutividade elétrica foi utilizado o método descrito pelo MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através da Instrução Normativa nº 17 de 21 de maio de 2007 (MAPA, 2007). Foi usada solução de substrato extraída por diluição na proporção 1:5 (substrato:água) em volume. Com base na densidade volumétrica da amostra, tomou-se o equivalente a uma alíquota de 60 cm³. Transferindo essa amostra para um frasco, adicionaram-se 300 cm³ de água e agitou-se à rotação de 40 rpm por 1 hora, em agitador horizontal orbital. Após esse período, a amostra permaneceu em repouso por 30 minutos, sendo posteriormente peneirada e efetuada a leitura do pH e condutividade elétrica na solução resultante.

Para a extração de macro e micronutrientes foi utilizado extrato obtido pela diluição 1:1,5, com filtração das amostras (SONNEVELD et al., 1974), citado por Zorzeto (2011).

Para o plantio foi escolhida a variedade RB965902 que apresenta características de elevado teor de Açúcar Total Recuperável (ATR) e boa brotação de soqueira, sendo indicada para colheita em meio de safra para ambientes de produção B e C.

Os colmos de cana usados na produção das mudas foram retirados de viveiro pré-primário com 6 meses de idade e livres de pragas e doenças. Os colmos foram colhidos manualmente com o auxílio de podão. Destes, foram cortados, com auxílio de guilhotina de lâminas duplas (Figura 1), minirrebolos com 3,5 cm de comprimento que, posteriormente, foram mergulhados em 20 litros de calda para tratamento a base de fungicida (Fluazinam 0,05 L), inseticida (Fipronil 0,02 Kg) e promotor de enraizamento (Citocinina + Giberilina + Ácido Indolcanoico 0,1 L).



Figura 1. Corte dos minirrebolos com auxílio de uma guilhotina de lâminas duplas.

Os minirrebolos foram transferidos para tubetes de 180 cm³ contendo os substratos e levados para brotação na casa de vegetação. O período de brotação variou entre 10 e 15 dias. Os minirrebolos que não brotaram foram eliminados do processo. Após o plantio dos minirrebolos, a irrigação foi realizada diariamente, de acordo com a necessidade de cada substrato, calculada com base capacidade de retenção de água nas tensões de 10 e 50 hPa (Água Facilmente Disponível).

Durante o período de permanência na casa de vegetação, foram realizadas, com o auxílio de uma tesoura de poda, 6 desbastes para manutenção da parte aérea, com intervalo de 7 dias, sendo os cortes realizados acima da gema apical (Figura 2).



Figura 2. Desbaste de manutenção da parte aérea das mudas pré-brotadas.

Anteriormente à instalação do experimento na casa de vegetação todos os substratos foram enriquecidos com a proporção de $1,6 \text{ g L}^{-1}$ de fertilizante 15-04-15, formado por *pellets* envoltos por matéria-orgânica.

Após 20 dias do plantio dos minirrebolos, no início da brotação e abertura das primeiras folhas, iniciou-se a fertirrigação, dividida em duas etapas. Na primeira etapa foram utilizados Sulfato de Amônio (0,450 Kg); Fosfato Monopotássico MKP (1,050 Kg) e Sulfato de Magnésio (0,750 Kg), objetivando maior crescimento da parte aérea. Na segunda etapa foram utilizados Nitrato de Potássio (0,540 Kg); Ácido Fosfórico (0,480 Kg) e Sulfato de Magnésio (0,750 Kg), buscando maior rusticidade do sistema radicular. Ambas as caldas foram diluídas em 1000 L de água e intercaladas semanalmente.

Após a completa formação das mudas foi realizada avaliação das plantas. Foi determinado o número de plantas brotadas, de folhas e de brotos laterais; a altura da planta, da base até a folha +1 (Figura 3); o diâmetro do colmo à 5 cm de altura, para padronizar as plantas de alturas diferentes; e foi pesada a massa seca da parte aérea.

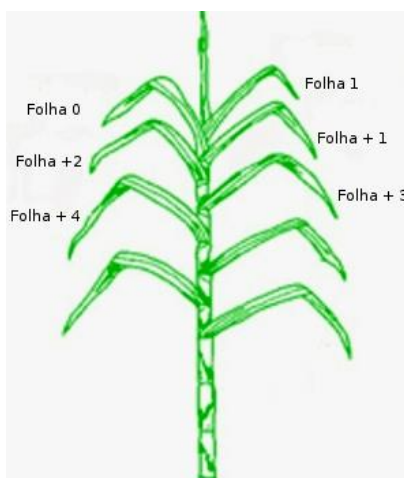


Figura 3. Esquema de numeração de folhas pelo sistema de Kuijper. Fonte: Dillewijn (1952), adaptado.

Pela importância prática, avaliou-se a facilidade com que as mudas foram retiradas do tubete. Foram atribuídas, empiricamente, notas de 5 a 10 para a retirada das mudas, sendo as maiores notas para as mudas que permaneceram com o torrão firme e se soltaram facilmente. Já as menores notas foram atribuídas às mudas que apresentaram dificuldade para saírem do tubete e/ou o torrão não saiu íntegro.

As amostras de raízes foram lavadas em água corrente sobre peneira de 2 mm para evitar perda de material. As raízes foram conservadas em solução aquosa de álcool a 20% e levadas ao refrigerador. Anteriormente à leitura das raízes por imagem foi necessária a coloração prévia com azul de metileno (Figuras 4a e 4b). As medidas de comprimento (mm), área (mm²), diâmetro médio (mm) e densidade (mm cm⁻³) foram obtidas pelo sistema de análise de imagem Delta-T Devices (Figuras 5a e 5b).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com quarenta e um tratamentos e três repetições, com dezoito plantas por parcela, totalizando 738 plantas.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knot a 5% de probabilidade. As variáveis foram comparadas entre si pelo teste de correlação.

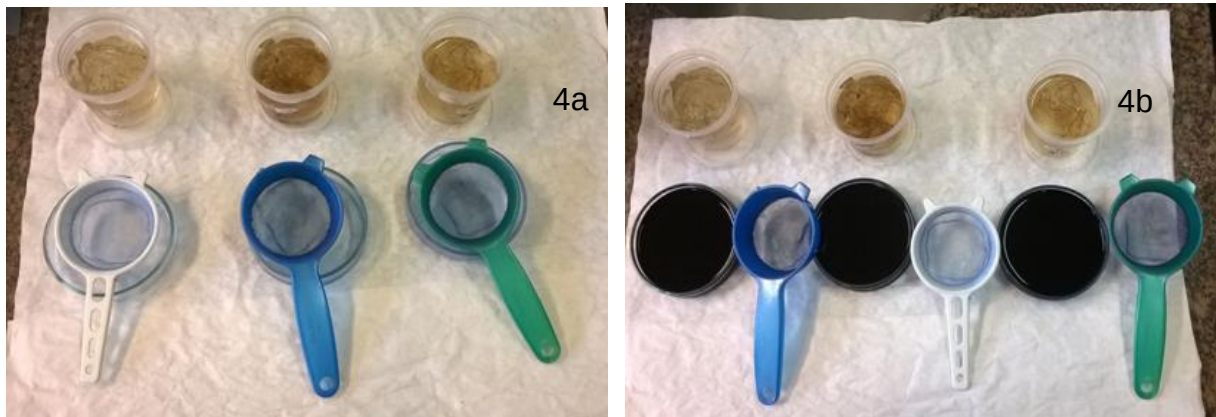


Figura 4. Coloração das amostras de raízes (a) com Azul de Metileno (b).

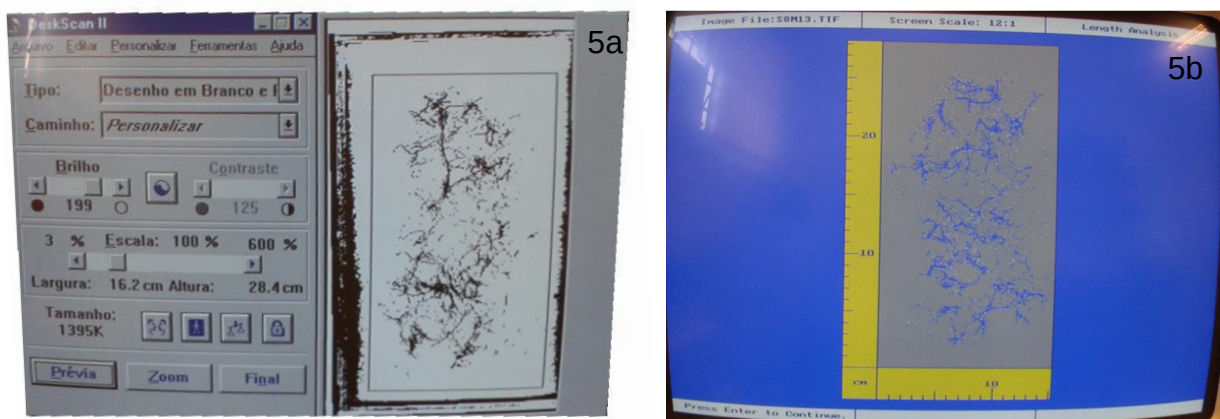


Figura 5. Quantificação e análise do sistema radicular pelo sistema de análise de imagem Delta-T Devices (a e b).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os substratos T2/10-C2/10-B6/10 e T1/10-C9/10-B0/10 apresentaram mudas com maior desenvolvimento da parte aérea, avaliado por número de folhas, diâmetro do caule, altura de planta e massa seca da parte aérea (Tabela 2).

Mudas cultivadas nos substratos com teores de bagaço maior ou igual a 8/10 apresentaram as menores quantidades de folhas (Tabela 2). O menor número de folhas, conseqüentemente, menor área fotossintética reflete no desenvolvimento aéreo, o que é confirmado pela correlação positiva com os baixos valores de diâmetro do caule, altura de planta e massa seca da parte aérea (Tabela 3).

Os substratos que condicionaram as mudas ao maior perfilhamento foram aqueles compostos por 6/10 de cinza em mistura com bagaço e/ou torta de filtro. Porém, os baixos perfilhamentos das mudas nos substratos com maior concentração de bagaço proporcionaram o menor desenvolvimento aéreo das mesmas (Tabela 3).

Na fase de produção das mudas pré-brotadas, a intensa brotação de perfilhos laterais pode prejudicar as mudas, pois quando transplantadas, estressam mais com a perda de água por transpiração devido à maior área foliar.

As mudas desenvolvidas nos substratos em mistura com 8/10 a 9/10 de bagaço e 1/10 a 2/10 de torta de filtro apresentaram os menores valores de diâmetro do caule (Tabela 2). Ainda apresentaram menor altura e menor massa seca da parte aérea (Tabela 3).

A faixa desejável de pH, segundo Abad et al. (1992) e Cavins et al. (2000), deve estar entre 5,2 e 6,3, para que não ocorra indisponibilidade ou toxidez de nutrientes às plantas. Segundo Kämpf (2000), o pH pode influenciar tanto na disponibilidade de nutrientes quanto na biologia dos microrganismos do substrato. A autora define a faixa de pH para substratos à base de componentes orgânicos em média 0,5 a 1,0 unidade menor que no solo mineral (5,5 a 7,0).

Tabela 2. Índice de desenvolvimento da parte aérea das mudas pré-brotadas.

Componentes/ Substrato	N folhas -	N brotos -	D caule mm	H planta cm	MS aérea g
Testemunha	5 c	2 a	8,3 a	23,0 a	8,4 b
T10/10-C0/10-B0/10	5 c	3 a	8,7 a	22,1 a	6,9 c
T0/10-C10/10-B0/10	5 b	2 a	8,2 a	20,1 b	5,6 d
T0/10-C0/10-B10/10	4 d	1 b	6,6 c	16,6 c	4,6 e
T1/3-C1/3-B1/3	5 c	3 a	9,4 a	22,7 a	7,0 c
T2/10-C4/10-B4/10	4 c	3 a	8,4 a	22,2 a	6,8 c
T4/10-C2/10-B4/10	4 c	2 a	8,7 a	22,1 a	6,7 c
T4/10-C4/10-B2/10	4 c	1 b	8,3 a	22,6 a	5,7 d
T6/10-C2/10-B2/10	4 d	2 a	7,8 b	22,1 a	5,5 d
T2/10-C6/10-B2/10	4 c	3 a	7,3 b	20,9 b	6,4 c
T2/10-C2/10-B6/10	5 b	2 a	8,6 a	22,7 a	9,4 a
T8/10-C1/10-B1/10	5 c	2 a	8,6 a	23,4 a	7,8 b
T1/10-C8/10-B1/10	5 c	1 b	7,1 b	20,4 b	5,3 d
T1/10-C1/10-B8/10	4 d	3 a	7,7 b	19,0 b	5,6 d
T1/10-C9/10-B0/10	5 b	2 a	8,7 a	22,5 a	10,0 a
T2/10-C8/10-B0/10	6 a	1 b	8,0 a	23,5 a	8,5 b
T3/10-C7/10-B0/10	6 b	1 b	7,7 b	22,3 a	5,1 e
T4/10-C6/10-B0/10	4 c	4 a	8,9 a	20,5 b	9,9 a
T5/10-C5/10-B0/10	4 c	3 a	8,0 a	21,8 a	7,3 c
T6/10-C4/10-B0/10	5 c	1 b	7,3 b	22,2 a	6,5 c
T7/10-C3/10-B0/10	5 c	2 a	8,1 a	20,3 b	5,8 d
T8/10-C2/10-B0/10	5 b	2 a	8,0 a	21,6 a	6,8 c
T9/10-C1/10-B0/10	5 c	1 b	8,6 a	23,4 a	5,0 e
T1/10-C0/10-B9/10	2 e	1 b	4,4 d	13,4 d	0,8 g
T2/10-C0/10-B8/10	3 d	0 b	4,7 d	13,3 d	0,8 g
T3/10-C0/10-B7/10	4 d	1 b	6,6 c	14,3 d	1,6 g
T4/10-C0/10-B6/10	4 c	2 a	7,2 b	16,1 c	3,0 e
T5/10-C0/10-B5/10	4 d	2 a	6,4 c	17,9 c	4,0 e
T6/10-C0/10-B4/10	5 c	2 a	7,4 b	19,7 b	2,4 f
T7/10-C0/10-B3/10	4 d	2 a	7,5 b	20,3 b	2,6 f
T8/10-C0/10-B2/10	5 c	2 a	8,3 a	21,8 a	4,1 e
T9/10-C0/10-B1/10	4 c	2 a	8,1 a	22,3 a	3,4 e
T0/10-C1/10-B9/10	4 d	2 a	7,0 b	18,1 c	2,1 f
T0/10-C2/10-B8/10	4 c	3 a	8,6 a	18,9 b	3,1 e
T0/10-C3/10-B7/10	5 b	2 a	8,3 a	20,7 b	3,6 e
T0/10-C4/10-B6/10	5 b	3 a	8,6 a	21,0 b	4,0 e
T0/10-C5/10-B5/10	6 a	2 a	8,6 a	21,6 a	3,7 e
T0/10-C6/10-B4/10	5 c	4 a	9,4 a	21,9 a	5,3 d
T0/10-C7/10-B3/10	6 a	2 a	7,8 b	23,5 a	3,8 e
T0/10-C8/10-B2/10	6 a	2 a	7,5 b	21,7 a	3,9 e
T0/10-C9/10-B1/10	6 a	1 b	7,5 b	22,0 a	2,7 f
Teste F	8,13**	3,43**	11,48**	15,65**	23,29**
CV(%)	10,17	37,88	6,79	5,66	16,30

** = significativo a 1% de probabilidade. Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Análise correlativa do número de folhas (N Folhas), número de brotos (N Brotos), diâmetro do caule (D Caule), altura de planta (H Planta), massa seca da parte aérea (MS aérea) das mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar

	N folhas	N brotos	D caule	H planta	MS aérea
Densidade	0,4174	0,0614	0,4151	0,6569	0,4761
EA	-0,5209	-0,1717	-0,4669	-0,6137	-0,3973
AFD	-0,4951	-0,0959	-0,3655	-0,6093	-0,4754
Nº Folhas	1,0000	0,0751	0,5169	0,6085	0,2248
Nº Brotos	0,0751	1,0000	0,5001	0,1645	0,2870
Diam Caule	0,5169	0,5001	1,0000	0,6926	0,5590
Altura Planta	0,6085	0,1645	0,6926	1,0000	0,5974
MS aérea	0,2248	0,2870	0,5590	0,5974	1,0000
MS raiz	0,0641	0,6370	0,5451	0,1779	0,3513
Área Raiz	0,0295	0,3310	0,2142	0,0045	-0,0089
Diam Raiz	0,0721	0,0705	0,1753	0,1337	0,3836
Comp Raiz	-0,0212	0,2233	0,0768	-0,0759	-0,1927
Den Raiz	-0,0771	0,1716	0,2223	0,1991	0,2941

Significativo a 1% de probabilidade
Significativo a 5% de probabilidade

Porém, as mudas com maior desenvolvimento da parte aérea, cultivadas nos substratos T2/10-C2/10-B6/10 e T1/10-C9/10-B0/10, tiveram valores de pH acima do citado pelos autores como ideal, pH 6,76 e 6,97, respectivamente. Tal constatação indica que diferentes matérias-primas para substratos podem apresentar valores de pH acima da faixa ideal, mas com excelente produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

Notaram-se maiores concentrações de cálcio e magnésio nos substratos compostos por torta de filtro em concentrações acima de 6/10 em mistura com bagaço e torta de filtro isolada (Tabela 4). Os substratos com os menores teores de Ca e Mg foram encontrados nos substratos com teores acima de 5/10 de cinza em mistura com bagaço (Tabela 3), fato ocorrido devido à baixa concentração dos materiais de origem.

O substrato Testemunha apresentou o maior teor de potássio devido à adição complementar pelo fabricante (Tabela 4). A utilização de torta de filtro em mistura com bagaço proporcionou as maiores concentrações de K no substrato, sendo à maior concentração do nutriente presente na torta de filtro isolada (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de pH, condutividade elétrica (C.E.), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) dos substratos para produção de Mudas Pré-Brotadas (MPB).

Componentes/ substratos	pH (água)	C.E. $\mu\text{S/cm}$	Ca mg/dm^3	Mg mg/dm^3	K mg/dm^3
Testemunha	5,28	1282,00	315	302	179
T10/10-C0/10-B0/10	6,77	2,72	804	573	141
T0/10-C10/10-B0/10	7,05	343,90	58	119	48
T0/10-C0/10-B10/10	5,74	267,00	37	42	80
T1/3-C1/3-B1/3	7,02	581,10	112	251	53
T2/10-C4/10-B4/10	7,03	282,80	56	100	41
T4/10-C2/10-B4/10	6,58	478,00	123	190	43
T4/10-C4/10-B2/10	7,13	372,50	86	146	37
T6/10-C2/10-B2/10	6,82	995,20	250	385	66
T2/10-C6/10-B2/10	7,08	267,70	43	95	36
T2/10-C2/10-B6/10	6,76	539,30	104	229	66
T8/10-C1/10-B1/10	6,29	888,80	228	340	56
T1/10-C8/10-B1/10	7,12	134,20	18	39	20
T1/10-C1/10-B8/10	6,41	453,20	65	133	96
T1/10-C9/10-B0/10	6,97	295,20	42	88	39
T2/10-C8/10-B0/10	7,09	289,10	42	98	37
T3/10-C7/10-B0/10	7,25	385,20	61	138	42
T4/10-C6/10-B0/10	7,10	396,60	74	142	40
T5/10-C5/10-B0/10	7,15	375,30	77	136	34
T6/10-C4/10-B0/10	7,06	687,30	143	275	50
T7/10-C3/10-B0/10	7,22	654,40	144	279	51
T8/10-C2/10-B0/10	6,72	750,90	177	284	52
T9/10-C1/10-B0/10	7,20	691,00	156	294	54
T1/10-C0/10-B9/10	6,02	493,40	95	158	92
T2/10-C0/10-B8/10	6,89	717,60	133	283	118
T3/10-C0/10-B7/10	6,09	1474,90	384	490	124
T4/10-C0/10-B6/10	7,08	1531,00	368	511	121
T5/10-C0/10-B5/10	6,70	867,40	184	344	70
T6/10-C0/10-B4/10	7,11	2,35	648	567	154
T7/10-C0/10-B3/10	6,14	2,10	634	514	119
T8/10-C0/10-B2/10	6,78	1406,00	405	483	78
T9/10-C0/10-B1/10	6,86	1766,00	559	525	97
T0/10-C1/10-B9/10	5,38	271,90	36	50	101
T0/10-C2/10-B8/10	7,14	157,40	18	23	74
T0/10-C3/10-B7/10	6,28	1101,80	10	14	42
T0/10-C4/10-B6/10	7,30	140,50	13	30	49
T0/10-C5/10-B5/10	6,26	96,09	10	17	33
T0/10-C6/10-B4/10	7,12	102,30	7	17	30
T0/10-C7/10-B3/10	6,70	84,00	10	14	26
T0/10-C8/10-B2/10	6,30	129,30	8	24	35
T0/10-C9/10-B1/10	7,17	103,70	5	10	29

Os substratos apresentaram valores de Sódio inferior a 13 mg dm^{-3} , com exceção da Testemunha (89 mg dm^{-3}) (Tabela 5). Este fato é associado à adição complementar de fertilizantes.

Não foi detectada a presença de Cobre nos substratos compostos por cinza em mistura com 3/10 a 9/10 com bagaço e 6/10 a 9/10 de torta de filtro (Tabela 5). A ausência desse elemento foi identificada, em sua maior parte, nos materiais com maiores concentrações de cinza.

Notou-se baixa ou nenhuma presença de Ferro nos substratos compostos por mais de 3/10 de cinza (Tabela 5). As maiores concentrações do elemento foram encontradas nos substratos em mistura de torta de filtro e bagaço, devido, principalmente, a presença do elemento na torta de filtro.

Foi observado Manganês apenas nos substratos com bagaço isolado (0,05) e o comercial (1,09), mas somente o segundo obteve valores satisfatórios entre 0,3 e $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (ABAD et al.,1992; CAVINS et al.,2000). Fato justificado pela adubação adicional com micronutrientes. Não foi detectada a presença deste elemento nos demais substratos (Tabela 5).

O Zinco foi observado nos substratos Testemunha (0,14), T7/10-C0/10-B3/10 (0,06), T3/10-C0/10-B7/10 (0,04) e T10/10-C0/10-B0/10 (0,01), mas nenhum considerado na faixa ideal de 0,3 a $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (ABAD et al.,1992; CAVINS et al.,2000) (Tabela 5).

Os menores valores de massa seca de raiz foram encontrados nas mudas cultivadas nos substratos compostos por bagaço (8/10 a 9/10) e torta de filtro (1/10 a 2/10) (Tabela 6). A massa seca de raiz está intimamente relacionada com o sistema aéreo das mudas. Desta forma, as maiores quantidades de raízes foram encontradas nas mudas que apresentaram maior desenvolvimento da parte aérea, em altura, diâmetro, número de brotos laterais e massa seca (Tabela 6).

As raízes com maior comprimento e área foram encontradas nos substratos com mistura de bagaço (5/10 a 8/10) e cinza (2/10 a 5/10). Já os piores desenvolvimentos radiculares ficaram nos substratos com mais de 8/10 de cinza (Tabela 6).

Tabela 5. Valores de sódio (Na), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) dos substratos para produção de Mudas Pré-Brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.

Componentes/ substratos	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
Testemunha	89	0,03	0,17	1,09	0,14
T10/10-C0/10-B0/10	11	0,16	1,00	0,00	0,01
T0/10-C10/10-B0/10	4	0,02	0,00	0,00	0,00
T0/10-C0/10-B10/10	5	0,06	0,59	0,05	0,00
T1/3-C1/3-B1/3	4	0,07	0,16	0,00	0,00
T2/10-C4/10-B4/10	5	0,03	0,26	0,00	0,00
T4/10-C2/10-B4/10	3	0,03	0,33	0,00	0,00
T4/10-C4/10-B2/10	3	0,03	0,96	0,00	0,00
T6/10-C2/10-B2/10	5	0,09	2,00	0,00	0,00
T2/10-C6/10-B2/10	3	0,01	0,00	0,00	0,00
T2/10-C2/10-B6/10	5	0,04	0,29	0,00	0,00
T8/10-C1/10-B1/10	3	0,05	0,18	0,00	0,00
T1/10-C8/10-B1/10	2	0,00	0,15	0,00	0,00
T1/10-C1/10-B8/10	7	0,04	0,24	0,00	0,00
T1/10-C9/10-B0/10	4	0,00	0,32	0,00	0,00
T2/10-C8/10-B0/10	3	0,00	0,00	0,00	0,00
T3/10-C7/10-B0/10	5	0,00	0,00	0,00	0,00
T4/10-C6/10-B0/10	3	0,00	0,03	0,00	0,00
T5/10-C5/10-B0/10	2	0,01	0,71	0,00	0,00
T6/10-C4/10-B0/10	4	0,01	0,27	0,00	0,00
T7/10-C3/10-B0/10	4	0,02	0,54	0,00	0,00
T8/10-C2/10-B0/10	3	0,02	1,33	0,00	0,00
T9/10-C1/10-B0/10	4	0,02	0,77	0,00	0,00
T1/10-C0/10-B9/10	5	0,04	1,65	0,00	0,00
T2/10-C0/10-B8/10	8	0,04	0,20	0,00	0,00
T3/10-C0/10-B7/10	10	0,15	1,04	0,00	0,04
T4/10-C0/10-B6/10	10	0,08	0,99	0,00	0,00
T5/10-C0/10-B5/10	5	0,03	1,31	0,00	0,00
T6/10-C0/10-B4/10	12	0,10	0,05	0,00	0,00
T7/10-C0/10-B3/10	11	0,11	2,63	0,00	0,06
T8/10-C0/10-B2/10	6	0,08	1,97	0,00	0,00
T9/10-C0/10-B1/10	7	0,09	0,00	0,00	0,00
T0/10-C1/10-B9/10	5	0,04	1,29	0,00	0,00
T0/10-C2/10-B8/10	5	0,02	0,82	0,00	0,00
T0/10-C3/10-B7/10	3	0,00	0,09	0,00	0,00
T0/10-C4/10-B6/10	4	0,00	0,07	0,00	0,00
T0/10-C5/10-B5/10	2	0,00	0,21	0,00	0,00
T0/10-C6/10-B4/10	2	0,00	0,05	0,00	0,00
T0/10-C7/10-B3/10	2	0,00	0,18	0,00	0,00
T0/10-C8/10-B2/10	3	0,00	0,00	0,00	0,00
T0/10-C9/10-B1/10	3	0,00	0,11	0,00	0,00

O comprimento e a área radicular correlacionaram positivamente com os substratos mais porosos e que apresentaram maior quantidade de água facilmente disponível. Ainda foram positivos para número de brotos laterais, diâmetro do caule e massa seca de raiz, confirmando a relação de importância do sistema radicular para a boa formação da parte aérea das plantas (Tabela 6).

Os maiores diâmetros de raízes foram encontrados em plantas cultivadas em substratos com maiores proporções de cinza (Tabela 6). Raízes mais grossas apresentam menor eficiência na extração de água e nutrientes, confirmando os resultados encontrados por BEYER, HERTEL E LEUSCHNER (2013). Devido a este fato, as mudas também não responderam quanto ao desenvolvimento da parte aérea em tais materiais (Tabela 7).

O comprimento das raízes apresenta correlação negativa com o diâmetro das mesmas. As raízes que possuíram maior diâmetro, em sua maior parte, apresentaram menor comprimento. Já as raízes mais finas, geralmente foram mais compridas. Observou-se também que os tratamentos com maior comprimento de raiz foram encontrados nos substratos mais porosos, com maior quantidade de água facilmente disponível e menor densidade (Tabela 7).

Os substratos compostos por cinza ou bagaço em proporções acima de 8/10 de cada material, independentemente da mistura, apresentaram os menores valores de densidade radicular (Tabela 6). Em tais tratamentos foram encontradas mudas com menor desenvolvimento da parte aérea. Além do sistema radicular menos denso apresentar raízes com menor área e comprimento radicular.

Os substratos que apresentaram os maiores valores de densidade volumétrica foram aqueles com maiores concentrações de cinza e torta de filtro. Por outro lado, a maior proporção de bagaço conferiu os menores valores de densidade (Tabela 8).

Na literatura são citadas algumas faixas ideais de densidade, como Abad et al. (1992) e Gonçalves & Poggiani (1996), citado por Lopes (2008), utilizando substratos para o cultivo de plantas, retratam valores ideais entre 0,45 e 0,55 g cm⁻³. Já ABAD et al. (1993) consideram um substrato ideal com densidade inferior a 0,4 g cm⁻³. Porém,

Fermino (2002) considera como referência 0,25 a 0,40 g cm⁻³ para cultivo em recipiente de até 15 cm de altura.

Os substratos compostos por bagaço isolado ou e proporções acima de 8/10 apresentaram densidade abaixo da recomendada com ideal pela literatura, corroborando com o baixo desenvolvimento das mudas pré-brotadas. Já os substratos compostos pela mistura de torta de filtro e cinza apresentaram valores de densidade acima da faixa ideal. Entretanto, alguns desses substratos apresentaram mudas com o mesmo desenvolvimento aéreo daquelas cultivadas em substrato com densidade dentro da faixa recomendada (Tabela 8). Esta constatação indica que o valor superior da faixa ideal de densidade deve ser revisto. Portanto, verifica-se a necessidade de mais estudos a respeito da densidade de materiais usados para a produção de substratos.

O aumento da densidade proporcionou diminuição do espaço de aeração. Ainda, observou-se nestes materiais menor quantidade de água facilmente disponível (Tabela 8). Porém, houve correlação positiva com o desenvolvimento das plantas, ou seja, ou substratos que apresentaram as maiores densidades, obtiveram os maiores valores para o crescimento aéreo das mudas (Tabela 9).

Devido às diferentes granulometrias das matérias-prima estudadas, ao se misturarem, as partículas menores ocupam os espaços vazios existentes entre as partículas maiores, reduzindo o espaço de aeração. Dessa forma, alguns substratos podem apresentar problemas quanto à dificuldade de drenagem e trocas gasosas, refletindo negativamente sobre o desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, a adição de partículas maiores de bagaço garantiu maiores valores de espaço de aeração ao substrato; benéfico para a aeração do ambiente radicular, mas ruim devido à baixa retenção de água facilmente disponível, já que os poros maiores não apresentam essa capacidade de retenção (Tabela 8).

Tabela 6. Avaliação radicular das mudas pré-brotadas.

Componentes/ Substrato	MS raiz g	A raiz mm ²	Diam raiz mm	C raiz mm	Den raiz mm/ml
Testemunha	0,5 b	3238,0 c	0,5 a	6599,7 c	34,8 b
T10/10-C0/10-B0/10	0,6 a	3640,0 b	0,5 a	7433,1 b	34,0 b
T0/10-C10/10-B0/10	0,4 b	3202,6 d	0,5 a	6316,5 d	32,8 b
T0/10-C0/10-B10/10	0,5 b	3762,4 b	0,5 a	7703,0 b	41,4 a
T1/3-C1/3-B1/3	0,5 b	3563,0 b	0,5 a	7418,3 b	35,3 b
T2/10-C4/10-B4/10	0,5 b	3683,5 b	0,5 b	7737,0 b	43,0 a
T4/10-C2/10-B4/10	0,6 a	3564,6 b	0,5 a	7148,3 c	37,2 a
T4/10-C4/10-B2/10	0,4 c	3572,5 b	0,5 a	7254,8 c	33,8 b
T6/10-C2/10-B2/10	0,5 b	3415,2 c	0,5 a	6959,6 c	34,0 b
T2/10-C6/10-B2/10	0,6 a	3440,2 b	0,5 a	6829,6 c	32,4 b
T2/10-C2/10-B6/10	0,6 a	3542,6 b	0,4 b	8033,4 b	31,9 b
T8/10-C1/10-B1/10	0,4 c	3652,7 b	0,5 a	7585,7 b	38,2 a
T1/10-C8/10-B1/10	0,3 c	3040,7 d	0,5 a	5851,5 d	27,7 c
T1/10-C1/10-B8/10	0,5 b	3637,4 b	0,5 a	7570,5 b	34,2 b
T1/10-C9/10-B0/10	0,5 b	2954,0 d	0,5 a	5691,0 d	25,0 c
T2/10-C8/10-B0/10	0,4 c	2942,4 d	0,5 a	5862,3 d	22,5 c
T3/10-C7/10-B0/10	0,3 c	3263,1 c	0,5 a	6644,4 c	32,1 b
T4/10-C6/10-B0/10	0,7 a	3498,4 b	0,5 a	6611,0 c	23,4 c
T5/10-C5/10-B0/10	0,5 b	3338,3 c	0,5 a	6992,0 c	23,3 c
T6/10-C4/10-B0/10	0,4 c	3468,6 b	0,5 b	7535,4 b	25,1 c
T7/10-C3/10-B0/10	0,5 b	4163,1 a	0,5 a	8563,9 a	28,5 c
T8/10-C2/10-B0/10	0,5 b	3827,5 b	0,5 a	7634,6 b	25,4 c
T9/10-C1/10-B0/10	0,5 b	3652,6 b	0,5 a	7566,7 b	25,2 c
T1/10-C0/10-B9/10	0,1 d	3393,1 c	0,5 b	7304,1 c	24,3 c
T2/10-C0/10-B8/10	0,2 c	3020,4 d	0,5 a	6087,4 d	20,2 c
T3/10-C0/10-B7/10	0,5 b	3610,4 b	0,4 b	8422,5 a	27,0 c
T4/10-C0/10-B6/10	0,5 b	3647,7 b	0,4 b	8151,3 b	27,2 c
T5/10-C0/10-B5/10	0,5 b	3679,6 b	0,4 b	8766,1 a	29,2 c
T6/10-C0/10-B4/10	0,5 b	3484,3 b	0,4 b	8083,8 b	26,9 c
T7/10-C0/10-B3/10	0,5 b	3274,9 c	0,5 b	7168,5 c	23,9 c
T8/10-C0/10-B2/10	0,6 a	3320,2 c	0,5 a	6997,7 c	23,3 c
T9/10-C0/10-B1/10	0,5 b	3363,7 c	0,5 b	7233,1 c	24,1 c
T0/10-C1/10-B9/10	0,4 c	2959,0 d	0,5 b	6345,2 d	21,2 c
T0/10-C2/10-B8/10	0,5 b	3632,1 b	0,4 b	8298,2 a	27,7 c
T0/10-C3/10-B7/10	0,4 b	4321,6 a	0,5 b	9234,3 a	30,8 b
T0/10-C4/10-B6/10	0,4 b	4276,3 a	0,5 b	9245,1 a	30,8 b
T0/10-C5/10-B5/10	0,4 c	3901,5 b	0,5 b	8508,3 a	28,4 c
T0/10-C6/10-B4/10	0,7 a	3657,1 b	0,5 a	7513,5 b	25,0 c
T0/10-C7/10-B3/10	0,5 b	3575,8 b	0,5 b	7943,6 b	26,5 c
T0/10-C8/10-B2/10	0,4 c	3515,7 b	0,5 a	6947,0 c	23,2 c
T0/10-C9/10-B1/10	0,3 c	2869,4 d	0,5 b	6179,3 d	20,6 c
Teste F	4,81**	5,17**	3,37**	6,19**	8,29**
CV(%)	18,77	7,22	5,26	8,36	11,79

** = significativo a 1% de probabilidade. Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Análise correlativa de massa seca de raiz (MS raiz), área radicular (Area raiz), Diâmetro radicular (Diam raiz), comprimento radicular (Comp raiz), densidade radicular (Den raiz) das mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar

	MS raiz	A raiz	Diam raiz	Compr raiz	Den raiz
Densidade	0,1148	-0,1572	0,3252	-0,2799	-0,1168
EA	-0,0880	0,1231	-0,2652	0,2210	0,1417
AFD	-0,0215	0,2231	-0,4268	0,3832	0,1380
Nº Folhas	0,0641	0,0295	0,0721	-0,0212	-0,0771
Nº Brotos	0,6370	0,3310	0,0705	0,2233	0,1716
Diam Caule	0,5451	0,2142	0,1753	0,0768	0,2223
Altura Planta	0,1779	0,0045	0,1337	-0,0759	0,1991
MS aérea	0,3513	-0,0089	0,3836	-0,1927	0,2941
MS raiz	1,0000	0,2189	0,1290	0,1069	0,1277
Área Raiz	0,2189	1,0000	-0,1660	0,8661	0,4018
Diam Raiz	0,1290	-0,1660	1,0000	-0,6265	-0,0303
Comp Raiz	0,1069	0,8661	-0,6265	1,0000	0,3264
Den Raiz	0,1277	0,4018	-0,0303	0,3264	1,0000

Significativo a 1% de probabilidade
 Significativo a 5% de probabilidade

Diferenças significativas foram notadas para os valores de espaço de aeração (Tabela 8), devido à granulometria dos substratos (Figura 2), e, conseqüentemente, a distribuição dos poros formados. Os poros responsáveis pelo armazenamento de ar são formados por partículas com diâmetro maior que 1,0 mm, corroborando com os resultados de Richards et al., (1986) e Abad et al. (2004), citado por Fernandes (2005).

O aumento das proporções de bagaço proporcionou aumento nos valores de espaço de aeração nos substratos com bagaço isolado e com 9/10 em mistura com torta de filtro (Tabela 8), devido ao aumento de partículas com diâmetro maior que 1,0 mm (Figura 2). Portanto, a utilização de bagaço de cana contribuiu para aumentar o volume do espaço de aeração dos substratos. Valores elevados de aeração podem ocasionar deficiências hídricas às plantas, principalmente com irrigações pouco frequentes (ZORZETO, 2011).

Tabela 8. Densidade (Dens), espaço de aeração (EA) e água facilmente disponível (AFD) dos substratos utilizados para produção de MPB.

Componentes/ Substrato	Dens (g ml ⁻¹)	EA (%)	AFD (%)
Testemunha	0,42 d	9 b	27 d
T10/10-C0/10-B0/10	0,80 a	3 d	18 f
T0/10-C10/10-B0/10	0,77 a	1 d	3 i
T0/10-C0/10-B10/10	0,10 f	21 a	48 a
T1/3-C1/3-B1/3	0,65 b	7 c	14 g
T2/10-C4/10-B4/10	0,60 b	7 c	15 g
T4/10-C2/10-B4/10	0,60 b	8 c	21 f
T4/10-C4/10-B2/10	0,73 a	6 c	12 g
T6/10-C2/10-B2/10	0,75 a	5 c	16 g
T2/10-C6/10-B2/10	0,72 a	6 c	7 h
T2/10-C2/10-B6/10	0,44 d	7 c	26 e
T8/10-C1/10-B1/10	0,80 a	4 d	18 f
T1/10-C8/10-B1/10	0,81 a	1 d	5 i
T1/10-C1/10-B8/10	0,28 e	8 c	35 c
T1/10-C9/10-B0/10	0,85 a	2 d	2 i
T2/10-C8/10-B0/10	0,84 a	2 d	3 i
T3/10-C7/10-B0/10	0,81 a	3 d	4 i
T4/10-C6/10-B0/10	0,83 a	4 d	5 i
T5/10-C5/10-B0/10	0,83 a	4 d	7 h
T6/10-C4/10-B0/10	0,84 a	3 d	10 h
T7/10-C3/10-B0/10	0,82 a	3 d	11 g
T8/10-C2/10-B0/10	0,81 a	3 d	14 g
T9/10-C1/10-B0/10	0,84 a	5 c	16 g
T1/10-C0/10-B9/10	0,17 f	17 a	36 c
T2/10-C0/10-B8/10	0,26 e	12 b	33 c
T3/10-C0/10-B7/10	0,35 d	11 b	33 c
T4/10-C0/10-B6/10	0,44 d	10 b	31 d
T5/10-C0/10-B5/10	0,54 c	9 b	29 d
T6/10-C0/10-B4/10	0,44 d	9 b	29 d
T7/10-C0/10-B3/10	0,69 b	5 c	24 e
T8/10-C0/10-B2/10	0,76 a	5 c	21 f
T9/10-C0/10-B1/10	0,80 a	4 d	14 g
T0/10-C1/10-B9/10	0,18 f	12 b	39 b
T0/10-C2/10-B8/10	0,27 e	9 b	38 b
T0/10-C3/10-B7/10	0,37 d	7 c	31 d
T0/10-C4/10-B6/10	0,45 d	6 c	23 e
T0/10-C5/10-B5/10	0,54 c	5 d	19 f
T0/10-C6/10-B4/10	0,61 b	6 c	14 g
T0/10-C7/10-B3/10	0,66 b	4 d	10h
T0/10-C8/10-B2/10	0,74 a	4 d	7 h
T0/10-C9/10-B1/10	0,78 a	2 d	4 i
Teste F	45,37**	7,36**	67,99**
CV (%)	9,45	40,95	13,19

** = significativo a 1% de probabilidade. Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se que os substratos constituídos com maiores proporções torta de filtro e, principalmente cinza, apresentaram menores valores de EA (Tabela 8), devido à maior porcentagem de partículas menores que 1,00 mm. Estes substratos podem causar falta de aeração para o desenvolvimento radicular em condições de altas lâminas de irrigação (ZORZETO, 2011).

Os menores valores de água facilmente disponível (AFD) foram observados nos substratos com maiores concentrações de cinza, principalmente em mistura com torta de filtro (Tabela 8). Tais materiais apresentaram as maiores porcentagens de partículas com diâmetro entre 0,25 e 1,0 mm (Figura 2), que corroboram com os resultados de Richards et al., (1986) e Abad et al. (2004), citado por Fernandes (2005).

Os substratos compostos por bagaço isolado e mistura acima 8/10 de bagaço com cinza apresentaram os maiores valores de AFD, correlacionados com os maiores valores de espaço de aeração (Tabela 8) e granulometria acima de 2,00 mm (Figura 2).

Tabela 9. Análise correlativa de densidade, espaço de aeração e água facilmente disponível (Água facilm. disp.) dos substratos para produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar

	Densidade g cm ⁻³	Espaço de aeração %	Água facilm. disp. %
Densidade	1,0000	-0,7646	-0,8827
Espaço de aeração	-0,7646	1,0000	0,7363
Água facilm. disp.	-0,8827	0,7363	1,0000
Número de folhas	0,4174	-0,5209	-0,4951
Número de brotos	0,0614	-0,1717	-0,0959
Diâmetro do caule	0,4151	-0,4669	-0,3655
Altura da planta	0,6569	-0,6137	-0,6093
Massa seca aérea	0,4761	-0,3973	-0,4754
Massa seca raiz	0,1148	-0,0880	-0,0215
Área raiz	-0,1572	0,1231	0,2231
Diâmetro raiz	0,3252	-0,2652	-0,4268
Comprimento raiz	-0,2799	0,2210	0,3832
Densidade raiz	-0,1168	0,1417	0,1380

Significativo a 1% de probabilidade
Significativo a 5% de probabilidade

Verificou-se que o substrato composto por bagaço isolado (T0/10-C0/10-B10/10) apresentou maior absorção de água no ponto de saturação (0 hPa). Porém, perdeu

água muito rapidamente e depois de aplicada a tensão de 100 hPa se tornou o substrato com menor teor de água retido (Figura 8).

As características de alta capacidade de absorção e baixa capacidade de retenção de água no ponto de saturação no substrato composto por bagaço isolado, também foram expressas nos substratos com maiores concentrações do material (Figura 8).

A cinza usada como matéria-prima isolada ou em mistura com os demais materiais, principalmente torta de filtro, proporcionou aos substratos menor absorção de água no ponto de saturação. Entretanto, tais materiais apresentaram liberação mais lenta e maior retenção de água depois de aplicada a tensão de 100 hPa (Figura 8).

Os substratos compostos pela mistura entre 3/10 a 6/10 de torta de filtro e 4/10 a 7/10 de bagaço apresentaram curva de retenção de água semelhante ao substrato comercial. Destaca-se ainda curva semelhante com o substrato T2/10-C2/10-B6/10, porém, este por sua vez absorveu mais água no ponto de saturação e demorou mais tempo para perdê-la. Já após aplicada a tensão de 100 hPa os substratos comercial e T2/10-C2/10-B6/10 apresentaram teor semelhante de água remanescente (Figura 8).

As mudas cultivadas nos substratos que apresentaram maior desenvolvimento da parte aérea, T2/10-C2/10-B6/10 e T1/10-C9/10-B0/10, também apresentaram os maiores teores de nutrientes acumulados (Tabela 10). Fato justificado pela maior absorção e matéria seca das mesmas.

As mudas com maiores concentrações de nitrogênio correlacionaram-se positivamente com o maior desenvolvimento da parte aérea, com maior diâmetro do caule e altura de planta. Este fato ocorre devido ao nutriente estar essencialmente ligado com o crescimento aéreo das plantas (Tabela 11).

A absorção de fósforo ocorre, principalmente, através de interceptação radicular, e os maiores teores acumulados de fósforo foliar estão associados ao sistema radicular mais desenvolvido das mudas.

Os maiores teores de potássio foliar foram correlacionados com menor volume de água facilmente disponível, possivelmente menores perdas por lixiviação e maior concentração do nutriente no substrato (Tabela 10).

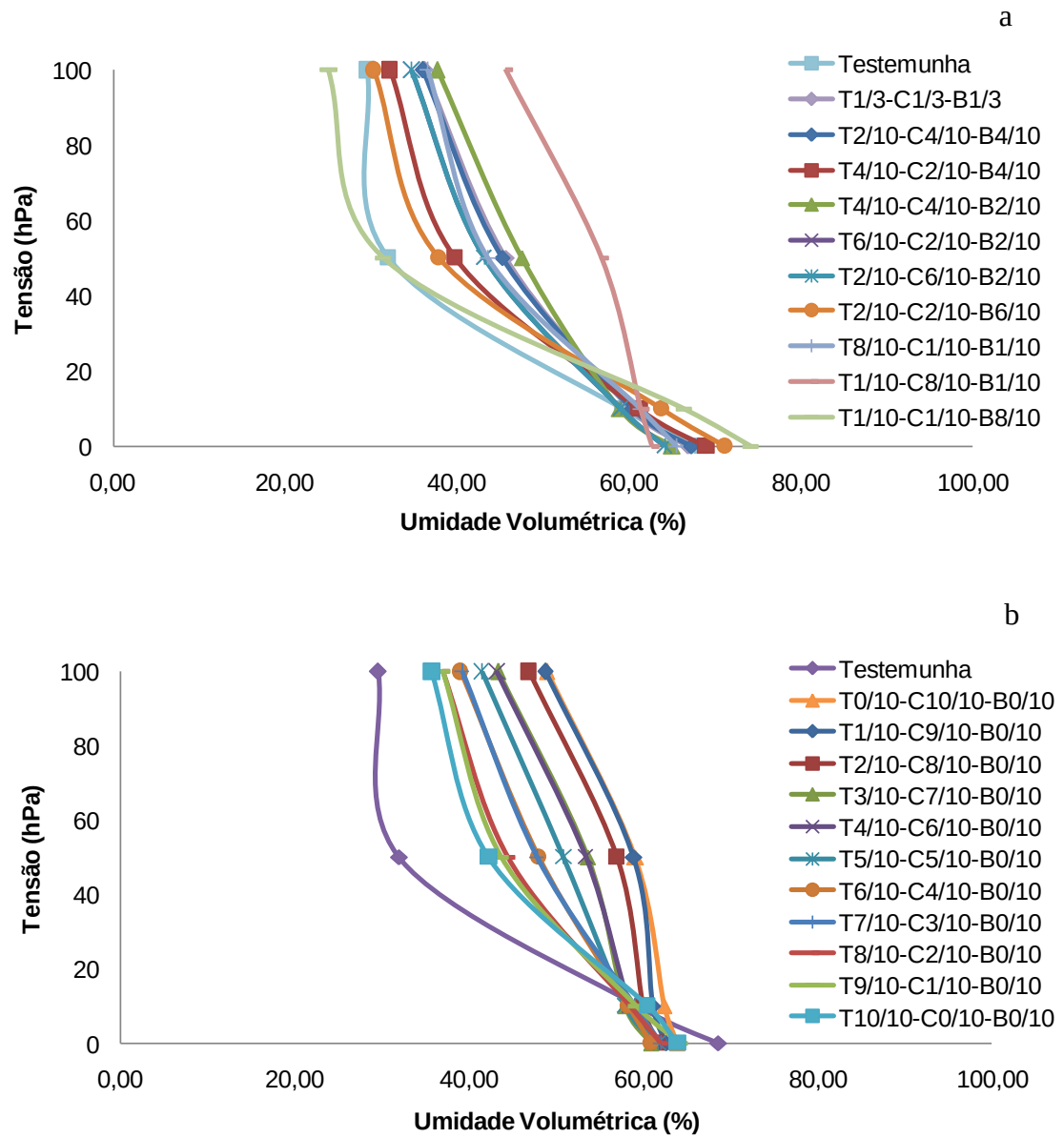


Figura 8. Curvas de retenção de água nos substratos para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (a, b).

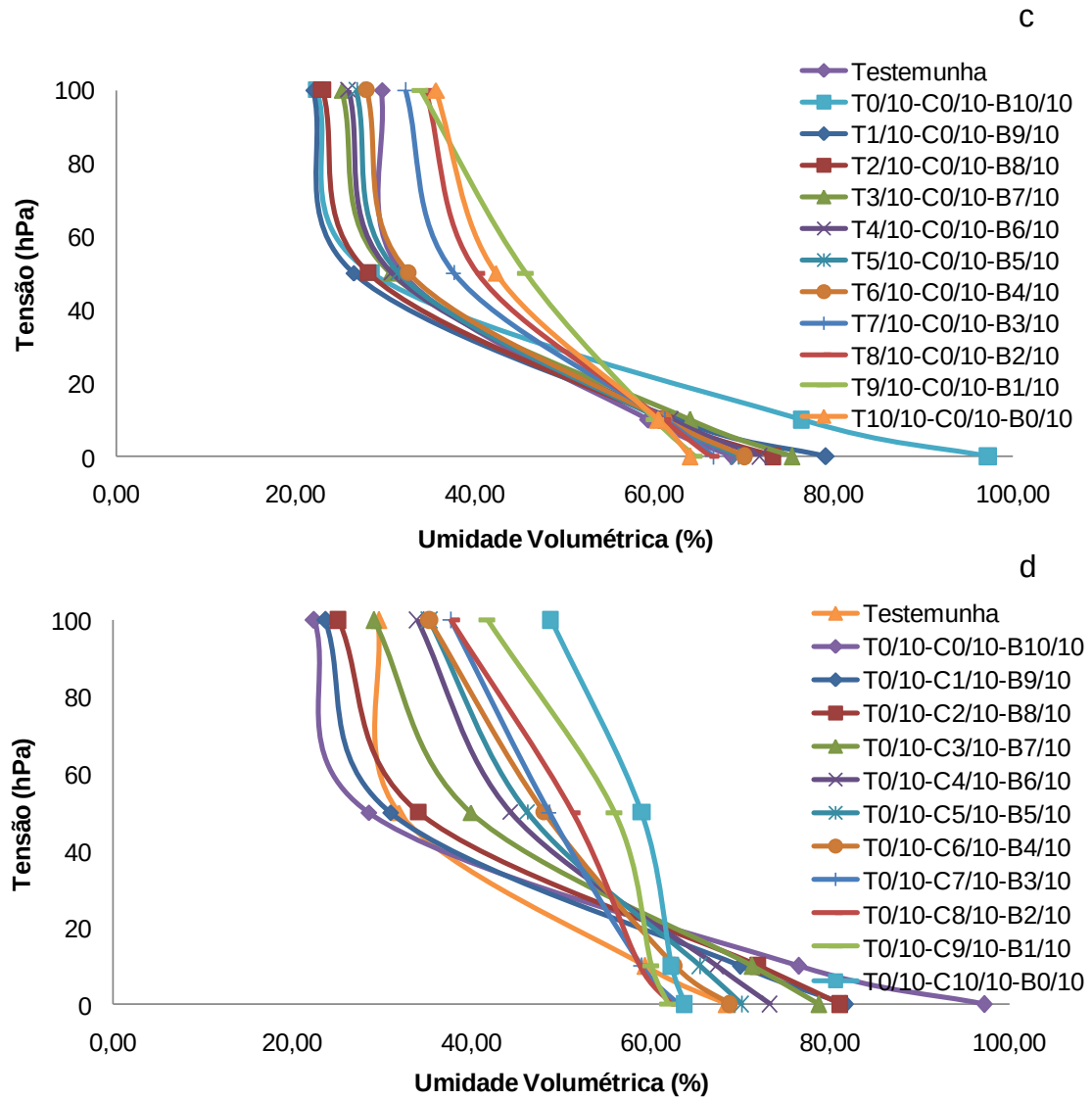


Figura 8. Curvas de retenção de água nos substratos para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (c, d).

Tabela 10. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) acumulados na parte aérea das mudas pré-brotadas (MPB).

Componentes/ substrato	N	P	K	Ca	Mg	S
	g planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹
Testemunha	0,17 b	0,10 a	0,23 c	0,02 e	0,02 b	0,02 b
T10/10-C0/10-B0/10	0,12 d	0,03 c	0,19 d	0,02 e	0,02 b	0,03 b
T0/10-C10/10-B0/10	0,10 f	0,03 c	0,14 f	0,01 f	0,01 c	0,01 d
T0/10-C0/10-B10/10	0,09 g	0,08 a	0,17 e	0,01 f	0,02 b	0,01 d
T1/3-C1/3-B1/3	0,13 c	0,03 c	0,22 d	0,02 e	0,02 b	0,02 b
T2/10-C4/10-B4/10	0,12 d	0,04 c	0,19 d	0,04 c	0,02 b	0,02 b
T4/10-C2/10-B4/10	0,13 d	0,04 c	0,19 d	0,05 b	0,02 b	0,02 b
T4/10-C4/10-B2/10	0,10 f	0,03 c	0,17 e	0,04 c	0,02 b	0,02 b
T6/10-C2/10-B2/10	0,10 f	0,03 c	0,16 e	0,04 d	0,02 b	0,02 b
T2/10-C6/10-B2/10	0,12 e	0,04 c	0,17 e	0,04 c	0,02 b	0,02 b
T2/10-C2/10-B6/10	0,17 b	0,07 a	0,28 b	0,07 a	0,03 a	0,03 a
T8/10-C1/10-B1/10	0,14 c	0,08 a	0,24 c	0,06 b	0,02 b	0,03 a
T1/10-C8/10-B1/10	0,11 e	0,03 c	0,17 e	0,03 d	0,02 b	0,02 b
T1/10-C1/10-B8/10	0,12 e	0,05 b	0,21 d	0,04 c	0,02 b	0,01 c
T1/10-C9/10-B0/10	0,19 a	0,09 a	0,28 b	0,06 b	0,03 a	0,02 b
T2/10-C8/10-B0/10	0,17 b	0,05 b	0,34 a	0,05 b	0,04 a	0,02 b
T3/10-C7/10-B0/10	0,10 g	0,03 c	0,19 d	0,03 d	0,02 b	0,02 c
T4/10-C6/10-B0/10	0,19 a	0,06 b	0,28 b	0,05 b	0,03 a	0,03 a
T5/10-C5/10-B0/10	0,14 c	0,08 a	0,20 d	0,04 c	0,02 b	0,02
T6/10-C4/10-B0/10	0,13 d	0,04 c	0,22 d	0,03 d	0,02 b	0,02 b
T7/10-C3/10-B0/10	0,11 f	0,04 c	0,19 d	0,03 d	0,02 b	0,02 b
T8/10-C2/10-B0/10	0,14 c	0,04 c	0,18 e	0,04 d	0,02 b	0,02 b
T9/10-C1/10-B0/10	0,09 g	0,03 c	0,16 e	0,02 e	0,02 b	0,01 c
T1/10-C0/10-B9/10	0,02 i	0,01 c	0,03 h	0,00 f	0,00 d	0,00 d
T2/10-C0/10-B8/10	0,02 i	0,01 c	0,03 h	0,00 f	0,00 d	0,00 d
T3/10-C0/10-B7/10	0,03 i	0,01 c	0,05 h	0,01 f	0,01 c	0,00 d
T4/10-C0/10-B6/10	0,06 h	0,02 c	0,09 g	0,01 f	0,01 c	0,01 c
T5/10-C0/10-B5/10	0,07 h	0,03 c	0,12 f	0,02 e	0,02 b	0,01 c
T6/10-C0/10-B4/10	0,05 h	0,02 c	0,07 h	0,01 f	0,01 c	0,01 c
T7/10-C0/10-B3/10	0,05 h	0,02 c	0,08 g	0,02 e	0,01 c	0,01 c
T8/10-C0/10-B2/10	0,08 h	0,02 c	0,14 f	0,02 e	0,02 b	0,01 c
T9/10-C0/10-B1/10	0,06 h	0,02 c	0,11 g	0,02 e	0,01 c	0,01 c
T0/10-C1/10-B9/10	0,04 i	0,03 c	0,09 g	0,01 f	0,01 c	0,00 d
T0/10-C2/10-B8/10	0,07 h	0,03 c	0,13 f	0,01 f	0,01 c	0,01 c
T0/10-C3/10-B7/10	0,07 h	0,03 c	0,15 e	0,01 f	0,01 b	0,01 d
T0/10-C4/10-B6/10	0,07 h	0,04 c	0,19 d	0,02 e	0,02 b	0,01 d
T0/10-C5/10-B5/10	0,07 h	0,04 c	0,21 d	0,01 f	0,02 b	0,01 d
T0/10-C6/10-B4/10	0,10 f	0,06 b	0,28 b	0,02 e	0,03 b	0,02 b
T0/10-C7/10-B3/10	0,07 h	0,04 c	0,25 c	0,02 e	0,02 b	0,01 b
T0/10-C8/10-B2/10	0,08 h	0,04 c	0,23 c	0,01 f	0,02 b	0,01 b
T0/10-C9/10-B1/10	0,05 h	0,03 c	0,15 e	0,01 f	0,02 b	0,01 d
Teste F	109,06**	6,08**	32,74**	26,49**	13,00**	9,04**
CV (%)	7,46	38,26	12,36	21,85	19,09	30,18

** = significativo a 1% de probabilidade.

Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Análise correlativa teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) acumulados na parte aérea das mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar

	N	P	K	Ca	Mg
Densidade	-0,3502	-0,4075	-0,1106	0,0637	-0,2101
Espaço de aeração	0,2673	0,3336	-0,0605	-0,0372	0,0500
Água facilm. dispon.	0,2871	0,3172	-0,0294	-0,0156	0,0817
N	1,0000	0,2062	0,0374	0,0291	0,2015
P	0,2062	1,0000	0,4468	-0,2354	0,3485
K	0,0374	0,4468	1,0000	-0,2592	0,8348
Ca	0,0291	-0,2354	-0,2592	1,0000	-0,0252
Mg	0,2015	0,3485	0,8348	-0,0252	1,0000
S	-0,1817	0,0626	0,4241	-0,0212	0,2657
B	0,2736	-0,2044	-0,3174	0,3437	-0,1690
Cu	0,1876	-0,0545	0,2880	0,0313	0,3845
Fe	0,0432	0,1673	0,7743	-0,0114	0,7229
Mn	0,0261	0,3487	0,8221	-0,2221	0,7099
Zn	0,1515	0,0265	0,4946	0,0026	0,5096
Número de folhas	-0,2268	0,0560	0,4388	-0,1927	0,2191
Número de brotos	-0,1560	0,0302	0,0047	-0,0758	-0,0731
Diâmetro do caule	-0,3371	-0,1068	0,0223	-0,0872	-0,2639
Altura da planta	-0,4498	-0,1295	0,1310	-0,0064	-0,2356
Massa seca aérea	-0,2582	-0,1110	-0,3250	0,1109	-0,5470
Massa seca raiz	-0,2306	-0,0677	-0,2333	-0,0488	-0,2677
Área raiz	-0,1597	0,0290	0,0743	-0,1740	-0,0277
Diâmetro raiz	0,0360	-0,0239	-0,1832	-0,0358	-0,2647
Comprimento raiz	-0,1434	0,0198	0,1313	-0,1195	0,1031
Densidade raiz	-0,2296	-0,0174	-0,2501	-0,0186	-0,4540

Significativo a 1% de probabilidade
Significativo a 5% de probabilidade

Os maiores teores de boro foliar foram encontrados nas mudas cultivadas nos substratos compostos pela mistura entre torta de filtro (1/10 e 4/10) e cinza (9/10 e 6/10), em diferentes concentrações (Tabela 12). Este fato pode ser explicado com o aumento da disponibilidade do elemento devido aos maiores valores de pH (Tabela 4) e, devido aos menores valores de água facilmente disponível, o que poderia causar lixiviação deste elemento absorvido por fluxo de massa (Tabela 8).

Para o cobre (Cu) os maiores teores foliares foram identificados nas mudas cultivadas nos substratos compostos por cinza (8/10 e 3/10) e torta de filtro (2/10 e 7/10) (Tabela 12).

Os menores teores acumulados de ferro e zinco foliar foram observados nas mudas presentes nos substratos compostos pela mistura de torta de filtro (1/10 a 3/10) e bagaço (7/10 a 9/10). Já o substrato T2/10-C2/10-B6/10 apresentou mudas com os maiores teores de ferro e manganês (Tabela 12).

Tabela 12. Teores de nutrientes acumulados na parte aérea das mudas pré-brotadas.

Componentes/ substrato	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹
Testemunha	0,06 e	0,04 c	0,39 d	1,05 b	0,34 a
T10/10-C0/10-B0/10	0,06 e	0,05 c	0,37 d	0,58 c	0,28 b
T0/10-C10/10-B0/10	0,04 f	0,03 c	0,23 e	0,77 c	0,07 e
T0/10-C0/10-B10/10	0,04 f	0,02 c	0,25 e	0,43 d	0,11 d
T1/3-C1/3-B1/3	0,07 d	0,06 c	0,90 a	0,76 c	0,28 b
T2/10-C4/10-B4/10	0,08 d	0,04 c	0,48 d	0,75 c	0,18 c
T4/10-C2/10-B4/10	0,06 e	0,04 c	0,56 c	0,57 c	0,19 c
T4/10-C4/10-B2/10	0,05 e	0,04 c	0,42 d	0,58 c	0,19 c
T6/10-C2/10-B2/10	0,05 e	0,04 c	0,39 d	0,61 c	0,20 c
T2/10-C6/10-B2/10	0,06 e	0,04 c	0,48 d	0,67 c	0,19 c
T2/10-C2/10-B6/10	0,06 e	0,07 c	0,85 a	1,74 a	0,29 b
T8/10-C1/10-B1/10	0,07 d	0,06 c	0,66 c	0,69 c	0,29 b
T1/10-C8/10-B1/10	0,07 e	0,05 c	0,44 d	0,71 c	0,18 c
T1/10-C1/10-B8/10	0,07 e	0,05 c	0,47 d	1,36 a	0,32 b
T1/10-C9/10-B0/10	0,13 a	0,08 c	0,71 b	1,16 b	0,31 b
T2/10-C8/10-B0/10	0,09 c	0,20 a	0,89 a	1,13 b	0,39 a
T3/10-C7/10-B0/10	0,07 d	0,06 c	0,53 c	0,83 c	0,27 b
T4/10-C6/10-B0/10	0,11 b	0,10 c	0,78 b	1,24 b	0,42 a
T5/10-C5/10-B0/10	0,09 c	0,07 c	0,56 c	0,69 c	0,25 b
T6/10-C4/10-B0/10	0,08 d	0,07 c	0,56 c	0,88 c	0,31 b
T7/10-C3/10-B0/10	0,07 d	0,13 b	0,51 c	0,67 c	0,27 b
T8/10-C2/10-B0/10	0,07 d	0,08 c	0,65 c	0,81 c	0,29 b
T9/10-C1/10-B0/10	0,04 f	0,06 c	0,42 d	0,49 c	0,26 b
T1/10-C0/10-B9/10	0,01 i	0,01 c	0,07 f	0,08 d	0,03 e
T2/10-C0/10-B8/10	0,01 i	0,01 c	0,06 f	0,06 d	0,03 e
T3/10-C0/10-B7/10	0,02 i	0,02 c	0,12 f	0,16 d	0,07 e
T4/10-C0/10-B6/10	0,03 h	0,03 c	0,22 e	0,34 d	0,14 c
T5/10-C0/10-B5/10	0,03 g	0,05 c	0,29 e	0,41 d	0,17 c
T6/10-C0/10-B4/10	0,02 h	0,03 c	0,18 e	0,24 d	0,11 d
T7/10-C0/10-B3/10	0,02 h	0,04 c	0,23 e	0,30 d	0,15 c
T8/10-C0/10-B2/10	0,03 g	0,09 c	0,36 d	0,57 c	0,29 b
T9/10-C0/10-B1/10	0,03 g	0,04 c	0,26 e	0,37 d	0,19 c
T0/10-C1/10-B9/10	0,02 h	0,02 c	0,19 e	0,33 d	0,10 d
T0/10-C2/10-B8/10	0,03 h	0,03 c	0,29 e	0,59 c	0,17 c
T0/10-C3/10-B7/10	0,03 h	0,04 c	0,38 d	0,64 c	0,18 c
T0/10-C4/10-B6/10	0,03 g	0,04 c	0,38 d	0,91 b	0,23 b
T0/10-C5/10-B5/10	0,03 g	0,05 c	0,46 d	0,79 c	0,19 c

T0/10-C6/10-B4/10	0,04 f	0,06 c	0,59 c	1,46 a	0,25 b
T0/10-C7/10-B3/10	0,02 h	0,05 c	0,59 c	1,19 b	0,19 c
T0/10-C8/10-B2/10	0,03 g	0,06 c	0,62 c	1,53 a	0,26 b
T0/10-C9/10-B1/10	0,02 i	0,04 c	0,38 d	1,00 b	0,13 d
Teste F	48,39**	3,65**	23,94**	13,89**	12,98**
CV (%)	14,13	57,42	16,91	24,78	20,57

** = significativo a 1% de probabilidade. Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 13. Análise correlativa dos teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foliar das mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar

	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Densidade	0,2773	0,1014	0,1899	0,1193	0,0102	0,0115
Espaço de aeração	-0,3134	-0,0456	-0,1781	-0,2364	-0,2075	-0,1000
Água facilim. dispon.	-0,2497	-0,1467	-0,1439	-0,2389	-0,1690	0,0828
N	-0,1817	0,2736	0,1876	0,0432	0,0261	0,1515
P	0,0626	-0,2044	-0,0545	0,1673	0,3487	0,0265
K	0,4241	-0,3174	0,2880	0,7743	0,8221	0,4946
Ca	-0,0212	0,3437	0,0313	-0,0114	-0,2221	0,0026
Mg	0,2657	-0,1690	0,3845	0,7229	0,7099	0,5096
S	1,0000	-0,3413	0,0942	0,4062	0,4174	0,2208
B	-0,3413	1,0000	-0,0113	-0,1652	-0,3331	-0,1046
Cu	0,0942	-0,0113	1,0000	0,3347	0,2557	0,5013
Fe	0,4062	-0,1652	0,3347	1,0000	0,7171	0,5036
Mn	0,4174	-0,3331	0,2557	0,7171	1,0000	0,5443
Zn	0,2208	-0,1046	0,5013	0,5036	0,5443	1,0000
Número de folhas	0,4444	-0,3116	0,2306	0,5175	0,4737	0,1551
Número de brotos	0,1706	-0,2422	-0,0481	0,0955	0,1854	0,0640
Diâmetro do caule	0,3051	-0,2377	-0,0079	0,1688	0,1513	0,0774
Altura da planta	0,4156	-0,1973	0,0490	0,2525	0,2036	0,0428
Massa seca aérea	0,0581	0,1459	-0,1952	-0,1456	-0,1369	-0,3025
Massa seca raiz	0,1413	-0,3040	-0,0958	-0,1194	-0,0463	0,0203
Área raiz	0,1334	-0,1482	-0,0390	0,0342	0,0112	0,0868
Diâmetro raiz	-0,0985	0,3021	-0,1348	-0,1101	-0,0781	-0,2432
Comprimento raiz	0,1316	-0,2554	0,0300	0,0623	0,0309	0,1711
Densidade raiz	0,1225	-0,0892	-0,4101	-0,2638	-0,2036	-0,3543

Significativo a 1% de probabilidade
Significativo a 5% de probabilidade

O substrato T2/10-C2/10-B6/10 apresentou brotação acima de 70%, considerada satisfatória (Tabela 14). Já o substrato T7/10-C0/0/B3/10 obteve 100% de brotação, conferindo boas condições iniciais, mas não permitiu as mesmas condições para o desenvolvimento das mudas.

Foram atribuídas notas quanto à facilidade ou dificuldade que as mudas apresentaram na saída dos tubetes. Foi considerado muito satisfatório os substratos que apresentaram nota 9 ou acima, sendo necessária pouca força para retirar a muda do tubete e o torrão permaneceu íntegro, assim como no substrato T7/10-C0/0/B3/10.

As mudas com maior massa seca radicular apresentaram maior facilidade para retirada do tubete. Já as mudas com menor massa de raiz não mantiveram o torrão íntegro. As menores notas foram atribuídas para os tratamentos com maior concentração de cinza, fato justificado pela aderência do material nas bordas do tubete, apesar de terem apresentado alta densidade radicular (Tabela 14).

Tabela 14. Brotação após 21 dias do plantio das Mudas Pré-Brotadas (MPB) e avaliação quanto à dificuldade de retirada das mudas do tubete.

Componentes/ Substratos	Brotação 21 DAP (%)	Retirada do tubete (nota)
Testemunha	72	9
T10/10-C0/10-B0/10	72	9
T0/10-C10/10-B0/10	78	5
T0/10-C0/10-B10/10	72	8
T1/3-C1/3-B1/3	78	9
T2/10-C4/10-B4/10	67	7
T4/10-C2/10-B4/10	61	8
T4/10-C4/10-B2/10	78	7
T6/10-C2/10-B2/10	72	7
T2/10-C6/10-B2/10	67	7
T2/10-C2/10-B6/10	72	9
T8/10-C1/10-B1/10	78	8
T1/10-C8/10-B1/10	83	6
T1/10-C1/10-B8/10	72	10
T1/10-C9/10-B0/10	61	7
T2/10-C8/10-B0/10	56	7
T3/10-C7/10-B0/10	83	7
T4/10-C6/10-B0/10	50	7
T5/10-C5/10-B0/10	83	6
T6/10-C4/10-B0/10	83	7

** = significativo a 1% de probabilidade. Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Continuação		
Componentes/ Substratos	Brotação 21 DAP (%)	Retirada do tubete (nota)
T7/10-C3/10-B0/10	61	7
T8/10-C2/10-B0/10	67	7
T9/10-C1/10-B0/10	89	7
T1/10-C0/10-B9/10	83	5
T2/10-C0/10-B8/10	94	5
T3/10-C0/10-B7/10	94	6
T4/10-C0/10-B6/10	72	6
T5/10-C0/10-B5/10	72	7
T6/10-C0/10-B4/10	78	7
T7/10-C0/10-B3/10	100	8
T8/10-C0/10-B2/10	72	9
T9/10-C0/10-B1/10	78	9
T0/10-C1/10-B9/10	89	7
T0/10-C2/10-B8/10	72	9
T0/10-C3/10-B7/10	83	8
T0/10-C4/10-B6/10	89	8
T0/10-C5/10-B5/10	78	8
T0/10-C6/10-B4/10	78	7
T0/10-C7/10-B3/10	83	7
T0/10-C8/10-B2/10	61	6
T0/10-C9/10-B1/10	67	6

** = significativo a 1% de probabilidade. Médias, seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

A hipótese do presente trabalho foi confirmada, ou seja, os resíduos gerados pela indústria sucroenergética podem ser usados para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar considerando o desenvolvimento das mudas no substrato testemunha. Portanto:

- O substrato T20-C20-B60 é a mistura mais indicada para a produção de MPB, pois as mudas apresentaram maior desenvolvimento da parte aérea e radicular, maior facilidade para retirada do tubete, menor densidade e maior quantidade de nutrientes.

6. LITERATURA CITADA

ABAD, M.; MARTINEZ, P. F.; MARTINEZ, J. Evaluación agronómica de los substratos de cultivo. *Actas de Horticultura, Villa viciosa, Espanha*, v. 11, p. 141- 154, 1993.

ABAD, M. B.; NOGUERA, P. M.; CARRIÓN, C. B. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: URRESTARAZU, M. G. (Ed.). *Tratado de cultivo sin suelo*. **MundiPrensa**, Madrid:, p. 113-158, 2004..

ADORNA, J. C.; Crusciol, C. A. C.; Rossato, O. B. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 649-657. 2013

ANSORENA, J. M. *Sustratos: propiedades y caracterizacion*. Madrid: **Mundi-Prensa**, 1994. 172 p.

ARAÚJO, W.P. **Manejo da fertirrigação em mudas de alface produzidas em substrato**. 2003. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo IAC, Campinas, 2003.

BACKES, M. A. **Composto de lixo urbano como substrato para plantas ornamentais**. 1988. 80 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

BARBOZA FILHO, M.P., PRABHU, A.S. **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz** – Circular Técnica 51, Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 4 p, 2002.

BARROS, P.C.S.; COSTA, A. R.; SILVA, P.C.; COSTA, R. A. Torta de filtro como biofertilizante para produção de mudas de tomate industrial em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 9: 265 - 270, 2014.

BEYER, F.; HERTEL, D.; LEUSCHNER, C. Fine root morphological and functional traits in *Fagus sylvatica* and *Fraxinus exlcelsior* saplings as dependent on species, root order and competition. **Plant and Soil**. v. 373, n. 1-2, p. 143-156, 2013.

BÖHM, W. Methods of Studying Root Systems. **Springer**, 1979.

BURÉS, S. Sustratos. **Madrid: Ediciones Agrotécnicas**, 1997. 341 p.

BUNT, A. C. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 150, p. 143-153, 1983.

CADAHIA, C. **Fertirrigacion – Cultivos hortícolas y ornamentales**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1998. 475 p.

CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler et al . Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013.

CARRIJO O. A.; VIDAL M. C.; REIS N. V. B.; SOUZA R. B.; MAKISHIMA N. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 05-09. 2004.

CAVINS, T. J.; GIBSON, J. L.; WHIPKER, B.E.; FONTENO, W.C. **pH and ec meters - tool for substrate analysis**. North Carolina State University, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento de Safra Brasileira Cana-de-açúcar 2014/15. Available at: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995.

DE BOODT M; VERDONCK O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, 26: 37-44.

DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p. DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 26, p. 37-44, 1972.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização de física de substratos**. 89f. 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.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; FURLANI, P.R., QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico, p.29-37. 2002.

FERNANDES C.; CORÁ J. E.; BRAZ L. T.. Alterações nas propriedades físicas de substratos para cultivo de tomate cereja, em função de sua reutilização. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 94-98. 2006

FERNANDES C. **Produtividade e qualidade dos frutos do tomateiro do grupo cereja cultivado em substratos à base de areia**. 2005. 85 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

FREITAS, G. A.; SILVA, R. S.; BARROS, H. B.; VAZ-DE-MELO, A.; ABRAHÃO, A. P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n.1, p. 159-166. 2013

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. CD ROM.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.309-350.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1069-1076, 2004.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 8.ed. Boston: Prentice-Hall, 2011. 915p.

HANDRECK, K.; BLACK, N. **Growing media for ornamental plants and turf**. Sydney: University of New South Wales Press, 1999. 448 p.

JIN, K. et al. How do roots elongate in a structured soil? **Journal of Experimental Botany**. v. 64, n. 15, p. 4761-4777, 2013.

KÄMPF, A. N.; HAMMER, P. A.; KIRK, T. Impedância mecânica em substratos hortícolas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2157-2161, 1999.

KÄMPF, A.N. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: **Agropecuária**, 2000. 254p.

KÄMPF, A.N. Substratos para plantas: um desafio para a ciência do solo. **Revista Opinião**, v.26, n.1, p.5-16, 2001.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K.; SIMON, M.A.; DIAS, S.T. **Metodologia para análise da retenção de água em substratos**. In: FURLANI, A.M.C., et al (Coord.). Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas. 1.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. p. 79. (Documentos IAC, 70).

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie**: handbuch der klimatologie. Berlim: Gebruder Borntrager, 1936. 44 p.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. de. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, vol.37, n.6, pp. 2013.

LONE, A. B.; Gilberto Souza, G. R. B.; Oliveira, K. S.; Takahashi, L. A. S.; Faria, R. T. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.3, p. 367-371, 2010

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**, 14:358-367, 2008.

LORA, E.S., ARRIETA, F.P., CARPIO, R.C. Eletricidade a partir do bagaço de cana. In: Mello, M. G. (ed), *Biomassa – Energia dos trópicos em Minas Gerais*, 1 ed. Belo Horizonte: **LabMídia**, pp. 59-81, 2001.

MAGGIONI, M.S. et al . Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2014.

MAPA-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. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17762>. Acesso em: 5 jun. 2015.

MARTÍNEZ, P.F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A.M.C., et al. (Coord.). **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. 1.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2002. p. 79. (Documentos IAC, 70)

MELO, D. M.; Charlo H. C. O.; Castoldi, R.; Braz, L. T. Dinâmica do crescimento do meloeiro rendilhado 'Fantasy' cultivado em substrato sob ambiente protegido. **Biotemas** v. 27, n. 2, p. 19-29, 2014..

MENEZES, A. S.; MOREIRA, F. J. C.; SOUZA, M. C. M. R.; SILVA, M.C.B. Efeito do substrato no processo de germinação em duas variedades de mamão. **Revista Agrogeoambiental** / Instituto Federal do Sul de Minas Gerais. – v. 5, n.3 (dez. 2013) Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, 2013.

MENEZES JÚNIOR, F.O.G.; FERNANDES, H.S.; MAUCH, C.R.; SILVA, J.B. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 164-170, 2.000

MESSA, C. A.; AMORINS, E. P. O. ; GUTERRES, R. P.; OLIVEIRA, R. A. A.; SOUZA, Cristiane Santos da Silva. PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE EUCALIPTO ATRAVÉS DE MINI ESTAQUIAS EM DIFERENTES SUBSTRATOS. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 12, p. 88-95, 2015.

MEURER, F. M.; BARBOSA, C.; ZONETTI, P. C.; MUNHOZ, R. E. F. Avaliação do uso de bagaço de cana-de-açúcar como substrato no cultivo de mudas de orquídeas. **Revista Saúde e Biologia**, Campo Mourão, v. 3, n. 2, p. 45-50, 2008.

MILNER, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. 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.45-51.

RABELO, M. M. A.; Pires, A. V.; Susin, I.; Mendes, C. Q; Oliveira Junior, R. C.; Ferreira, E. M. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.9, p.1696-1703, 2008

RICHARDS D; LANE M.; BEARDSELL D. V. The influence of particle-size distribution in pinebark:sand:brown coal potting mixes on water supply aeration and plant growth. **Scientia Horticulturae**, v. 29, p. 1-14. 1986

SANTANA, C. T. C.; SANTIS, A.; DALLACORT, R.; LUSTOSA, M.; MENEZES, C. B. Desempenho de cultivares de alface americana em resposta a diferentes doses de torta de filtro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 22-29, 2012

Santos, A. C. P.; Baldotto, P. V.; Marques, P. A. A.; Domingues, W. L.; Pereira, H. L. Utilização de torta de filtro como substrato para a produção de mudas de hortaliças. **Colloquium Agrariae**, v. 1, n.2, p. 1-5, 2005.

SANTOS JUNIOR, J. A.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Araujo, D. L.; Guedes Filho, D. H. Substratos e diferentes concentrações da solução nutritiva preparada em água residuária no crescimento do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 696-707, 2014.

SERRANO, L.A.P. et al. Sistemas de blocos prensados e doses do adubo de liberação lenta na formação do portaenxerto cítrico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 441-447, 2006.

SILVA, D. S.; et al. Características físicas do bagaço de cana-de-açúcar para uso como substrato para plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/683551.pdf> >. Acesso em: 19 jun 2015.

SONNEVELD, C.; ENDE, J. van den; DIJK, P. A. van. Analysis of growing media by means of a 1:1,5 volume extract. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 5, n. 3, p. 183-202, 1974.

SPOMER, L. A. Three simple demonstrations of the physical effects of soil amendment. **HortScience**, Alexandria, v. 14, n. 1, p. 75-77, 1979.

XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA M. P. **Fatores de desuniformidade e kit de pré-brotação IAC para sistemas de multiplicação de cana-de-açúcar – Mudanças pré-brotadas (MPB)**. 1. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. 22p. (Documentos IAC, 113)

ZORZETO, T. Q. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS E SUA AVALIAÇÃO NO RENDIMENTO DO MORANGUEIRO (*Fragaria x ananassa* Duch.)**, 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2011.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F. de; FERNANDES JUNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, vol.73, n.3, pp. 300-311, 2014