

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar



Tese

**Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de
cana-de-açúcar**

Mariana Teixeira da Silva

Pelotas, 2018

MARIANA TEIXEIRA DA SILVA

Gestora Ambiental
Mestre em Agronomia

**Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de
cana-de-açúcar**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Pesq. Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva

Co-orientadora: Pesq.^a Dr.^a Rosane Martinazzo

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Tânia B. Gamboa Araújo Morselli

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586s Silva, Mariana Teixeira da

Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar / Mariana Teixeira da Silva ; Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, orientador ; Rosane Martinazzo, Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli, coorientadoras. — Pelotas, 2018.

100 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Biossólido. 2. Mudas pré-brotadas. 3. Insumo alternativo. I. Silva, Sérgio Delmar dos Anjos e, orient. II. Martinazzo, Rosane, coorient. III. Morselli, Tânia Beatriz Gamboa Araújo, coorient. IV. Título.

CDD : 633.61

Mariana Teixeira da Silva

Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar

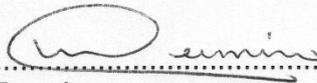
Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 13/04/2018

Banca examinadora:



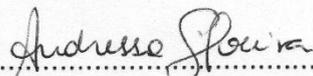
.....
Dr. Sergio Delmar dos Anjos e Silva (Orientador)
Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



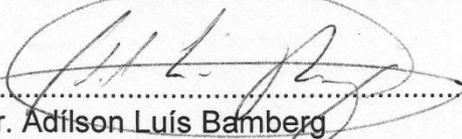
.....
Dr^a. Maria Helena Fermino
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



.....
Dr. Paulo Roberto Grolli
Doutor em Fitotecnia pela Università di Pisa.



.....
Prof. Dr^a Andressa de Oliveira Silveira
Doutora em ciências do solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



.....
Dr. Adilson Luís Bamberg
Doutor em agronomia/solos pela Universidade Federal de Pelotas.

Ao meu pai, Generson, pedreiro que me ensinou o valor do trabalho, levava-me consigo nas obras, fazendo-me enxergar o quão necessário era o estudo.

*A minha mãe, Neusa, que com o famoso bordão até hoje me fala:
"Podem te tirar tudo, menos o estudo".
Teu esforço, tuas brigas, teu amor; valeu à pena!*

Ao meu par, Jeferson, "... O melhor lugar do mundo é dentro de um abraço"; sempre com apoio e incentivo a qualquer passo...

Dedico este título.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial, que iluminou o meu caminho durante esta caminhada, para conseguir chegar até este momento.

Aos meus pais, que nunca mediram esforços à minha educação. Aos meus “manos” gêmeos, Generson e Ricardo, presente que desejei por 15 anos; que me fazem ser cada dia melhor para poder lhes dar orgulho e lutar por um futuro melhor; é aquele ditado: “a caneta é mais leve que a pá”.

Ao meu amor, meu melhor amigo Jeferson Buss; ao teu lado pude iniciar e concluir a graduação, com teu incentivo fazer mestrado e concluir o doutorado; e durante todas estas etapas, a conversa diária de como foi o dia acompanhada de chimarrão, o auxílio nas tarefas, a janta enquanto até tarde ficava estudando, a manutenção do carro para o deslocamento entre cidades, o recurso arranjado além do orçamento para congressos, a compreensão do isolamento nesta etapa da escrita, aliada a pescarias enquanto no carro ou na barraca eu “teseava”. Enfim, foram muitos esforços para o nosso bem, assim é a vida de casal!

Aos meus avós “in memoriam”, Nadir (materna) e Onécimo (paterno) que me deram grandes lições de vida, ensinaram durante esta etapa da tese o valor da persistência; se pode cair, mas nunca desistir. Ao meu avô João Maria, que não imagina o quanto sua vida influenciou na minha profissão; primeiro agricultor da minha vida, ensinou o valor da terra! Imagine uma criança “da cidade”, que nas férias ia visitar os avós no interior, era curiosidade para todo lado, era conhecimento! E que com meu bisavô me deu a cana-doce aos seis anos de idade, somente vindo a reviver o sabor através das oportunidades dada ao meu orientador.

Por falar em orientador, agradeço ao meu primo Ângelo, funcionário da Embrapa que eu, ao pedir a ele, que me recomendasse estágio com alguém que eu sáísse do trabalho entre paredes, me fizesse conhecer o trabalho no campo (...), aí então entra o Dr. Sérgio na minha vida profissional...

Ao meu orientador Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, agradeço a oportunidade de inserção no grupo da Agroenergia da CPACT, e não somente pela orientação profissional, mas também pelas conversas que me fizeram andar para frente como pessoa, pelo seu exemplo de determinação e coragem de abraçar tudo e provar que é possível.

A minha co-orientadora, amiga, mulher que (após minha mãe) foi a que mais me estendeu a mão; foram muitos conselhos ao longo desses três anos, quando eu estava triste tinha uma palavra amável, quando estava “jururu” tinha uma palavra motivadora e quando estava feliz vibrava comigo! Não teve uma fase do presente estudo que não acompanhou, inclusive nesta etapa final teve dose dupla na correção, vêm bebê aí... Rosane Martinazzo, não há palavras que bastem a expressar minha gratidão.

Ao Adilson Bamberg, coordenador do projeto Lodos, pelo convite e oportunidade de fazer pesquisa neste grandioso projeto. Também ao pós-doc do projeto, Ivan Pereira pela coleta e preparo dos materiais a mim fornecido.

Elis Simon, amiga de todas as horas, companheira de um doce e de pós, de planos e anseios, de instalação e finalização de experimentos.... Permanecemos na amizade desde o início do mestrado e tenho a certeza que vai além do mundo chamado Embrapa.

Ester Matoso, após turbulências (risos) te encontrei! Além da amizade, e tudo igual ao mencionado na Elis; num momento delicado, esta amiga foi essencial na retirada dos entraves, com sua história e seu exemplo de garra.

Thais Kohler, que concluiu seu estágio de graduação nos experimentos com lodo, me auxiliando em todos os momentos, e me salvando também (risos). Agradeço pela dedicação ao trabalho; suamos muito, mas também nos divertimos muito; e meu coração enche de orgulho ao ver os caminhos floridos que percorres.

Ricardo Valgas, estatístico da Embrapa, pelo auxílio nas análises estatísticas de todos os seis experimentos. Gratidão imensa!

Agradeço ao pessoal da central analítica da Embrapa a realização pelas análises de tecido vegetal; em especial a Simoni Becker e Ana Paula Camargo.

A Maria Helena Fermino, pela oportunidade de estreitar o tema e realizar análises no laboratório de substratos, e oportunizado vivenciar a Fepagro/POA.

Aos colegas da agroenergia, por toda ajuda na condução dos experimentos: Luize, Adilson, Frâncis, Thainã, Edenara, Lucas, e em especial Willian Antunes.

Aos colegas de lab. Física do solo, pela ajuda nas avaliações dos experimentos e pelo preparo dos materiais no laboratório: Roberta Kunde, João Loeck, e Paulo Ferreira. Inclusive finalizando as raízes quando estava em POA. Em especial ao Paulo (Paulão), pela amizade, pelas longas conversas e gargalhadas.

Ao Vilmar Gonçalves, amigo que me acolheu no setor, meu paizão. Eder e Rérinton, amigos sempre presentes.

A Cândida Monteiro, pelas conversas em geral e apoio.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da UFPel, em especial o Paulo Grolli, por todo o conhecimento adquirido na disciplina de ornamentais, logo substratos, principalmente nas saídas; e a Tânia Morselli, que também co-orienta este trabalho, por todo conhecimento adquirido na área de insumos alternativos e primeiros contatos com a docência.

A UFPel e PPGSPAF pelas portas que abriram oportunizando este título.

A Embrapa Clima Temperado pela infraestrutura para realização deste trabalho; sala de estudos, casa de vegetação, e laboratórios. Também pela disponibilidade de carros, motoristas, e materiais de segurança no trabalho.

A Corsan pela matéria-prima principal deste trabalho e confiança na pesquisa que dê retornos a empresa, também por demais recursos necessários neste projeto.

A Capes pela bolsa concedida.

GRATIDÃO, sem vocês não haveria a conclusão!

*Segura as pontas
que você dá conta, mulher
você não cogitou ir tão longe
e mesmo assim conseguiu
é arrebatador
traçar o próprio roteiro*

(Ryane Leão, no livro “Tudo nela brilha e queima”)

RESUMO

SILVA, Mariana Teixeira. **Substratos a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar**. 2018. 100 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2018.

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar, sendo a cultura, um dos pilares da economia do país. Diante dessa importância, são necessárias melhorias e inovações contínuas no setor, a começar pelo plantio, pois o sistema convencional envolve grande quantidade de material botânico por unidade de área. Uma alternativa é o sistema de produção de mudas de cana-de-açúcar via minitoletes, mas esse requer quantidade significativa de substrato. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi determinar o potencial de lodo de estação de tratamento de esgoto na elaboração de substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. O lodo de esgoto foi caracterizado conforme sua aptidão sanitária e ambiental e, posteriormente, junto às demais matérias-primas caracterizado quanto ao seu potencial fertilizante. A partir da mistura de diferentes proporções de lodo de esgoto com cinza de casca de arroz, vermiculita, casca de arroz carbonizada e lodo de estação de tratamento de água foram estabelecidas as formulações dos substratos, nos quais foram avaliados os parâmetros físico-hídricos. Das misturas avaliadas foram selecionados cinco substratos a base de cinco concentrações de lodo de esgoto de Passo Fundo/RS complementados com vermiculita e cinza de casca de arroz, além de um substrato comercial. Utilizou-se os genótipos RB867515 e RB966928 de cana-de-açúcar para avaliação da eficiência agrônômica dos substratos, através das variáveis brotação, número de folhas, diâmetro do colo, altura da parte aérea, comprimento de raiz, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz, e índice de qualidade de Dickson. Os resultados obtidos indicaram que o lodo de esgoto avaliado é apto a utilização na agricultura de acordo com os limites máximos de metais pesados e agentes patogênicos estabelecidos na legislação vigente; os tratamentos propostos apresentam teores de nutrientes e características físico-hídricas satisfatórias, refletindo no desenvolvimento das mudas, em que os substratos a base de lodo apresentaram repostas agrônômicas iguais ou superiores ao substrato comercial, sendo o tratamento com 33% LETE + 33% vermiculita + 33% cinza de casca de arroz, seguido pelo tratamento com 50% LETE + 25% vermiculita + 25% cinza de casca de arroz os que apresentaram melhor potencial como substrato.

Palavras-chave: Biossólido. Mudas pré-brotadas. Insumo alternativo.

ABSTRACT

SILVA, Mariana Teixeira. **Substrates based on production of sewage in sugarcane seedlings.** 2018. 100f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2018.

Brazil is the main producer of sugarcane, and culture is one of the pillars of the country's economy. Given this importance, continuous improvements and innovations in the sector are necessary, starting with planting, since the conventional system involves a large amount of botanical material per unit area. An alternative is the system of production of sugarcane seedlings via minitoletes, but this requires a significant amount of substrate, which entails an additional cost to the producer, with the purchase of commercial products. In this sense, the objective of the work was to determine the potential of sewage treatment plant sludge in the elaboration of substrate for the production of sugarcane seedlings. The sewage sludge was characterized according to its sanitary and environmental suitability, after it and the other raw materials were characterized according to the nutritional content; determining the so-called substrate formulations, and then the chemical and physical-water parameters of the formulations were characterized. Substrates were tested based on five concentrations of sewage sludge from Passo Fundo/RS supplemented with vermiculite and ash from carbonized rice husk, in addition to a commercially available substrate. The genotypes RB867515 and RB966928 of sugarcane were used, and the agronomic efficiency of the seedlings was evaluated through the following variables: sprout, number of leaves, neck diameter, shoot height, root length, fresh mass and dry shoot, fresh and dry root mass, and Dickson quality index). The results indicated that the sewage sludge from Passo Fundo is suitable for use in agriculture in accordance with the maximum limits of heavy metals and pathogens established in current legislation, the proposed treatments present good nutritional contents and satisfactory physical and water characteristics, reflecting in the development of the seedlings, where the substrates based on sludge presented as a carrier medium equal to or higher than the commercial substrate, treatment with 33% LETE + 33% vermiculite + 33% ash of charred rice husk, followed by treatment with 50% LETE + 25% vermiculite + 25% charcoal rice hull ash, which presented the best potential as a substrate.

Keywords: Biosolid. Pre-sprouted. Alternative input.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Disposição das amostras de LETE para secagem (a), e armazenamento em estufa agrícola na Embrapa Clima Temperado.37
- Figura 2. Matérias-primas utilizadas em formulações de substratos: Casca de arroz carbonizada (a); cinza de casca de arroz (b); vermiculita (c); lodo de esgoto (d).37
- Figura 3. Teste de incubação para adequação do pH do lodo de esgoto de Passo Fundo: Pesagem das doses de calcário (a); Alocação do lodo nos recipientes (b); Doses de calcário juntamente ao lodo (c); Lodo de esgoto/Passo Fundo + calcário + água (d); Determinação do pH (e); Alocação das unidades experimentais (f).40
- Figura 4. Cilindro sendo preenchido de acordo com densidade do material (a), materiais postos a saturar imersos em água a 1/3 da altura do cilindro (b), material saturado por 48h (c).42
- Figura 5. Cilindros alocados em mesa de tensão (a), conjunto de amostras sobre mesas de tensão em triplicata (b), sistema de vasos comunicantes da mesa de tensão (c).42
- Figura 6. Umidade adequada para determinação da densidade - a amostra ao ser comprimida se mantém aglutinada sem formar torrão (a), amostra alocada no suporte para proveta a 10 cm de altura (b), pesagem da amostra em balança de precisão (c).43
- Figura 7. Agitador tipo Wagner com amostras em recipientes (a), amostras sendo filtradas em funis com o descarte de 10 ml ao fundo (b), equipamento de leitura de CE (c).44
- Figura 8. pH do lodo da ETE de Passo Fundo durante 135 dias de incubação com doses crescentes de calcário dolomítico.53
- Figura 9. Densidade úmida (DU) e seca (DS) em substratos a base de lodo de esgoto (LETE) de Passo Fundo e demais matérias-primas.54
- Figura 10. Porosidade Total (a), Espaço de Aeração (b) e Água Facilmente Disponível (c) e Água Tamponante (d) em substratos a base de lodo de esgoto e demais matérias-primas.55
- Figura 11. Curva de retenção de água (CRA) em substratos a base de lodo de esgoto da ETE Passo Fundo (PF) e demais matérias-primas.57
- Figura 12. Preparo dos minitoletes de cana-de-açúcar para produção de mudas sob sistema de mudas pré-brotadas. Gema do genótipo RB867515 (a); Gema do genótipo RB966928 (b); minitoletes dispostos individualmente em tubetes (c).61
- Figura 13. Avaliações agrônômicas realizadas nas mudas de cana-de-açúcar cultivadas em substratos a base de lodo de esgoto. Avaliação da data de início e percentagem de brotação (a); diâmetro do colo (b); altura da parte aérea (c); comprimento de raiz (d); tubetes com os toletes dos acoplados à bandeja experimental (e); linhas centrais de cada genótipo avaliadas nos experimentos (f)..63

Figura 14. Seleção das gemas para produção das mudas de cana-de-açúcar, sendo as gemas alocadas nas respectivas repetições (R) de acordo com sua posição no colmo da planta.	66
Figura 15. Vista frontal da parte aérea de mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT para os substratos avaliados.	68
Figura 16. Comportamento das raízes de mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT de acordo com os substratos avaliados.	69
Figura 17. Início de brotação em mudas de cana-de-açúcar sob substratos a base de LETE	74
Figura 18. Vista lateral de uma repetição do experimento de outono/inverno com mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT em diferentes substratos a base de lodo de esgoto Passo Fundo.	82
Figura 19. Vista lateral de uma repetição do experimento de verão com mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT em diferentes substratos a base de lodo de esgoto Passo Fundo.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Panorama da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.....	18
Tabela 2. Limites de contaminantes admitidos em substratos na IN 07/2016.....	25
Tabela 3. Concentração máxima permitida de metais pesados pelo CONAMA 375/2006 no lodo de esgoto.....	32
Tabela 4. Concentração máxima permitida de patógenos no lodo de esgoto de acordo com a Resolução do CONAMA N° 375/2006.	32
Tabela 5. Composição dos substratos propostos a base de lodo de estação de tratamento de esgoto de Passo Fundo..	38
Tabela 6. Substrato comercial, matérias-primas e formulações selecionadas para avaliação físico-química no laboratório de análises de substratos para plantas da Fepagro.....	41
Tabela 7. Elementos-traço em lodo da Estação de Tratamento de esgoto de Passo Fundo/RS e limites máximos permitidos pelas legislações vigentes.....	45
Tabela 8. Agentes patogênicos em lodos de esgoto de Passo Fundo/RS e limites máximos permitidos pelas legislações vigentes.....	45
Tabela 9. Caracterização química de LETE Passo Fundo/RS e LETA Santa Maria/RS, vermiculita (Vm), cinza de casca de arroz (CCA) utilizados como matéria-prima para produção de substratos e tratamentos propostos.	46
Tabela 10. Capacidade de retenção de água (CRA), densidade e granulometria de substratos a base de LETE Passo Fundo.	52
Tabela 11. Capacidade de retenção de água (v/v) (0 a 10 cm, 10 a 50 cm, e 50 a 100 cm da coluna d'água) em substratos a base de lodo de esgoto e demais matérias-primas.....	57
Tabela 12. Composição dos substratos a base de lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE) avaliados no período outono/inverno para produção de mudas de cana-de-açúcar.	64
Tabela 13. Composição dos substratos dos experimentos de verão a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar..	65
Tabela 14. Dias para brotar após o plantio do tolete (DAPT), porcentagem de brotação (% Brot.), número de folhas (N° F.), diâmetro do colo (Θ do colo), altura da parte aérea (Al. PA), comprimento de raiz (C. R.), massa fresca da parte aérea por planta (MFPA), massa seca da parte aérea por planta (MSPA), massa fresca da raiz por planta (MFR), massa seca da raiz por planta (MSR), e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT no período de outono/inverno em diferentes substratos a base de lodo da Estação de Tratamento de esgoto de Passo Fundo.....	70

Tabela 15. Acumulado de macronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período outono/inverno.	72
Tabela 16. Acumulado de micronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período outono/inverno.	73
Tabela 17. Dias para brotar após o plantio do tolete (DAPT), porcentagem de brotação (% Brot.), número de folhas (N° F.), diâmetro do colo (Θ do colo), altura da parte aérea (Al. PA), comprimento de raiz (C. R.), massa fresca da parte aérea por planta (MFPA), massa seca da parte aérea por planta (MSPA), massa fresca da raiz por planta (MFR), massa seca da raiz por planta (MSR), e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT no período de verão em diferentes substratos a base de lodo da Estação de Tratamento de esgoto de Passo Fundo.	76
Tabela 18. Acumulado de macronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período de verão.	78
Tabela 19. Acumulado de micronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período de verão.	79

Sumário

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1. Sistema de produção da cana-de-açúcar.....	18
2.1.1. Sistema de mudas a partir de minitoletes	20
2.2. Substratos para plantas	22
2.3. Potencial agrícola dos lodos de estações de tratamento de esgoto	27
3. CAPÍTULO I - APTIDÃO DE LODOS DE ESGOTO COMO MATÉRIA-PRIMA NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS	34
3.1. Introdução	34
3.2. Material e métodos.....	35
3.2.1. Caracterização das matérias-primas.....	35
3.2.2. Ensaios preliminares	37
3.2.2.1. Definição da composição dos substratos a base de lodo de esgoto	37
3.2.2.2. Adequação do pH do lodo da ETE de Passo Fundo.....	39
3.2.3. Caracterização dos substratos selecionados	41
3.3. Resultados e discussão	44
3.3.1. Caracterização das matérias-primas.....	44
3.3.2. Ensaios preliminares	49
3.3.2.1. Definição da composição dos substratos a base de lodo de esgoto	49
3.3.2.2. Adequação do pH do lodo da ETE de Passo Fundo.....	52
3.3.3. Caracterização dos substratos selecionados	53
3.4. Conclusões	58
4. CAPÍTULO II - DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MUDAS DE CANA-DE- AÇÚCAR CONDUZIDAS EM SUBSTRATOS A BASE DE LODO DE ESGOTO..	59
4.1. Introdução	59
4.2. Materiais e métodos.....	60
4.2.1. Experimento do período outono/inverno	64
4.2.2. Experimento do período verão	65
4.3. Resultados e discussão	66
4.3.1. Experimento do período outono/inverno	66
4.3.2. Experimento no período de verão	74
4.4. Conclusões	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil lidera a produção mundial de cana-de-açúcar (BRASIL, 2014; FAO, 2014), presente em 192.931 estabelecimentos rurais no Brasil. Deste, 45.546 encontram-se no RS, e desse total, 94,1% são propriedades com menos de 50 ha, o que caracteriza a agricultura familiar (IBGE, 2006), com 18.587 hectares de plantio e 730.192 toneladas colhidas na safra de 2017 (IBGE, 2018).

A cana-de-açúcar é um dos pilares da economia brasileira, o qual partir dela, vários produtos podem ser gerados, sendo o álcool e o açúcar os mais importantes (FIGUEIREDO, 2010), tendo também destaque o melado, o açúcar mascavo, a rapadura e a cachaça/aguardente (SILVA et. al., 2016). A cultura assume grande importância no sistema de produção da agricultura familiar gaúcha, no qual mais de 45 mil propriedades a cultivam de forma diversificada e/ou como única forma de renda (IBGE, 2006).

Tradicionalmente, o sistema convencional de multiplicação envolve grande quantidade de material botânico por unidade de área (SEGATO et al., 2006), onde para o plantio convencional de um hectare de cana-de-açúcar, o consumo de colmos varia entre 18 a 20 toneladas (GOMES, 2013). Entretanto em 2012, o Programa Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) desenvolveu um método de propagação com o objetivo de incorporar ganhos produtivos. O sistema de produção de mudas de cana-de-açúcar via minitoletes, o qual permite a redução do volume de mudas e o melhor controle na qualidade e vigor, resultando em canaviais de excelente padrão clonal e, portanto, com maior homogeneidade (LANDELL et al. 2012). No entanto, este sistema requer quantidade significativa de substrato, o que acarreta em um custo adicional ao produtor.

O substrato é um dos fatores que influencia significativamente no crescimento das mudas (KRATZ, 2011). Ele deve reunir características físico-hídricas e químicas, de modo que atendam às necessidades da muda (CUNHA et al., 2006), e proporcionar melhor sobrevivência das mudas nos canaviais.

A utilização agrícola do lodo de esgoto como substrato pode atender à necessidade de alternativas viáveis para a cultura sob o ponto de vista social, econômico e ambiental, devido a sua capacidade nutricional e a disponibilidade do resíduo. Esta prática seria vantajosa aos agricultores, na medida em que poderia reduzir os custos de produção e posteriormente manter a produtividade da lavoura (TRANNIN et al., 2005).

O reaproveitamento de lodos de tratamento de esgoto é uma oportunidade potencialmente viável, tanto para as empresas de saneamento, por promover destinação adequada e nobre, quanto para o setor agrícola no Rio Grande do Sul, por ser uma possível fonte de nutrientes para os cultivos. Contudo, esse resíduo deve ser inócuo ao meio ambiente, atendendo aos limites propostos pela legislação vigente, especialmente no que refere à presença de organismos patogênicos e metais pesados.

Este trabalho tem como objetivo geral determinar o potencial de lodo de estação de tratamento de esgoto na elaboração de substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. E como específicos: (i) caracterizar o lodo de esgoto de Passo Fundo/RS, visando a aptidão sanitária e o potencial para uso como matéria-prima na elaboração de substratos; (ii) testar formulações de substratos a base de lodo de esgoto, buscando características físico/hídricas adequadas para o desenvolvimento de mudas; (iii) avaliar a eficiência agrônômica dos substratos selecionados na produção de mudas de cana.

Os resultados apresentados nesta tese corroboram no projeto “Pesquisa e desenvolvimento do potencial do uso agrícola de lodos de estações de tratamento de água e de esgoto”, sendo parte integrante do Termo de Cooperação firmado entre a Embrapa Clima Temperado, a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e a Fundação de Apoio à Pesquisa Edmundo Gastal (FAPEG), e ainda cadastrado pela autora na Universidade Federal de Pelotas sob o registro do COCEPE nº7271.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema de produção da cana-de-açúcar

O Brasil lidera a produção mundial de cana-de-açúcar (BRASIL, 2014; FAO, 2014), assumindo grande importância também na agricultura familiar, uma vez que está presente em 192.931 estabelecimentos rurais no Brasil, sendo 45.546 no RS, onde desse total, 94,1% sob estratificação de módulos com menos de 50 ha (Tabela 1) representando para muitas famílias a única ou a principal fonte de renda (IBGE, 2006), com 18.587 hectares de plantio e 730.192 toneladas colhidas na safra de 2017 (IBGE, 2018).

Tabela 1 – Panorama da cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.

Cana-de-açúcar	Nº de estabelecimentos	Produção colhida (t)	Área colhida (ha)
	45.546	724.890	29.772
Estratificação	Percentual sobre o total		
Menos de 10 ha	38,9	24,6	26,7
10 a menos de 50 ha	55,2	55,3	59,0
50 a menos de 100 ha	3,6	6,7	6,4
100 a menos de 1000 ha	1,6	6,1	5,2
1000 a menos de 2500 ha	0,0	6,8	2,2
2500 ha e mais	0,0	-	-
Produtor sem área	0,5	0,5	0,4

Fonte IBGE – Censo Agropecuário 2006

A cana-de-açúcar é um dos pilares da economia brasileira, e a partir dela vários produtos podem ser gerados, sendo o álcool e o açúcar os mais importantes, sendo inclusive a responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo (FIGUEIREDO, 2010), tendo também destaque o melado, o açúcar mascavo, a rapadura, e a cachaça/aguardente (SILVA et al., 2016). Durante o processamento da cana são gerados resíduos, que podem ser reaproveitados; como a vinhaça, subproduto aquoso da produção do álcool que pode ser utilizado como fertilizante (ANDREOTTI et al., 2015), e o bagaço, resultante do esmagamento dos colmos que

pode ser utilizado na alimentação animal (SILVA, et al., 2015) e para bioenergia (COELHO et al., 2016), como componente de substratos (KOHLENER et al., 2017; MONTEIRO et al., 2017), dentre outros.

A produção de cana-de-açúcar no RS, como já mencionado, tem grande importância para a agricultura familiar, que a mantém associada às demais atividades desenvolvidas na propriedade, como a produção em pequena escala e de forma artesanal de produtos para a comercialização informal, sendo mais uma alternativa de renda dentro da propriedade, contribuindo para a manutenção das famílias no campo; sendo também muito utilizada na alimentação animal, principalmente em épocas de estiagem (SEPLAG, 2014). O estado do Rio Grande do Sul apresenta potencial para ampliação da sua produção, tanto em área como em produtividade (SILVA et al., 2016).

Entretanto, a disponibilidade de área para expansão da cultura está cada vez mais escassa e a situação econômica do país induz à procura de sistemas com custos mais baixos de produção e canaviais mais produtivos (WIEDENFELD & ENCISO, 2008). De acordo com Segato et al. (2006), a lavoura canieira é dentre as demais culturas, a que provavelmente utiliza o maior peso de material botânico por unidade de área para sua propagação. Para o plantio de um hectare de cana-de-açúcar, o consumo de colmos varia entre 18 a 20 toneladas no plantio convencional (GOMES, 2013).

A partir do ano de 2006, o plantio mecanizado começou a substituir o plantio manual, e com isso, houve o aumento significativo da quantidade dos toletes necessários para o plantio de um hectare de cana-de-açúcar. Isso porque as gemas presentes nos toletes são muito sensíveis, fáceis de sofrer danos, o que ocorre frequentemente durante o processo.

Tradicionalmente, o plantio convencional envolve quatro etapas principais, iniciando-se pela coleta dos colmos em local distinto das áreas de plantio; o transporte; a picagem dos colmos em aproximadamente 25 cm de comprimento com três gemas (para quebrar a dominância apical), distribuição do material nos sulcos e, por último, é feita a adubação e a cobertura dos sulcos (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

2.1.1. Sistema de mudas a partir de minitoletes

Em 1952, Dillewijn discorreu sobre a possibilidade de uma alternativa para melhorar a qualidade dos colmos e reduzir o material vegetal no momento de plantio, utilizando pequenos segmentos de colmos contendo apenas uma gema ou mesmo fragmentos da região do colmo que contem a gema isolada. A utilização de gemas únicas na propagação da cana partia da premissa de que um pequeno volume de tecido e um único primórdio radicular aderido à gema seriam suficientes para garantir a emergência da cana-de-açúcar. Mesmo assim o plantio convencional de cana corrida estendeu-se até o ano de 2012, onde Landell et al. (2012) através do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) desenvolveram um método inovador de multiplicação da cultura. Cabe salientar que a multiplicação sob forma convencional ainda é comumente adotada.

Desta forma, o Programa Cana do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) desenvolveu métodos para reduzir o volume de material, com o objetivo de incorporar ganhos produtivos. O sistema de produção de mudas de cana-de-açúcar por minitoletes permite melhorar o controle na qualidade e vigor, redundando em canaviais de excelente padrão clonal e, portanto, com maior homogeneidade (LANDELL et al. 2012). Além disso, esse sistema é uma tecnologia de multiplicação, que proporciona redução de custos e melhor ganho direto ao produtor (CANAONLINE, 2017).

Neste sistema, a necessidade de colmos passa para duas toneladas de cana utilizadas para preparo de mudas, uma economia em torno de 18 toneladas em comparação ao sistema de plantio convencional. Fraga Jr. (2015) explica que no plantio convencional utiliza-se de 30 a 35 gemas por metro de sulco, enquanto, que no novo sistema cai drasticamente para três gemas por metro de sulco. Esta alternativa mais simplificada de plantio por meio de minitoletes contendo duas a três gemas no sulco de plantio, consiste na multiplicação de plantas a partir de uma única gema (SILVA et al., 2016).

Essas 18 toneladas que seriam enterradas como mudas passam a destinar-se para a indústria, gerando ganhos diretos e indiretos para a cadeia produtiva canavieira (GOMES, 2013), ou mesmo ao pequeno agricultor como subprodutos de processos derivados da cana.

O sistema de mudas via minitoletes traz algumas vantagens comparado ao plantio convencional. A principal refere-se ao volume de material de cana necessário para multiplicação, o que implica em sobra de cana para o uso final do agricultor, bem como possibilidade de aumentar suas áreas quando há pouco material de cana disponível (SILVA et al., 2016). Outra vantagem trata-se da qualidade, pois as gemas podem ser escolhidas cuidadosamente, eliminando as danificadas e com presença de patógenos, o que garante a redução do volume de colmos e o melhor controle na qualidade de vigor, resultando em canaviais de excelente padrão e, portanto, com maior homogeneidade, confirmam Xavier et al. (2014).

O setor sucroalcooleiro vem constantemente buscando alternativas para melhorar o sistema de produção da cana-de-açúcar e verificou que o sistema de mudas pré-brotadas de cana pode ser uma nova alternativa de multiplicação de mudas sadias (GOMES, 2013). Para isto, a produção via minitoletes constitui-se uma fase importante do processo produtivo, pois o transplante de mudas sadias pode aumentar a produtividade da cultura de 10 a 30% e a longevidade dos canaviais em 30% (LEE et al., 2007).

Os parâmetros agrônômicos/biométricos de mudas de cana-de-açúcar produzidas a partir de minitoletes está em pesquisa por diversos autores, uma vez que ainda não se tem um modelo de qualidade para as mudas, pois este sistema de produção é recente. Mas, sabe-se que o potencial de acúmulo de sacarose por plantas de cana-de-açúcar está mais relacionado às medidas de dimensões lineares, como a altura e o diâmetro do colmo (MARAFON et al., 2012), sendo igualmente na fase de muda; quanto a sobrevivência da muda no campo, a variável de diâmetro do colo é a mais indicada como avaliação de vigor da muda (CARNEIRO, 1995).

A brotação da cana-de-açúcar tem reflexos tanto na economia de substratos com mudas viáveis, quanto na qualidade do perfilhamento da cana-planta que advém de uma boa brotação dos toletes (LANDELL, 2013). De acordo com Aude (1993), a brotação da cana-de-açúcar é o principal processo e requer maior atenção no sistema de produção, pois é nessa fase que acontece a determinação da futura população de plantas no campo.

Entretanto, através das avaliações de altura de parte aérea, comprimento de raiz, diâmetro do colo e matéria seca, pode-se chegar em um índice de qualidade,

chamado Índice de Qualidade de Dickson (DICKSON, 1960). Este índice, segundo Fonseca et al. (2002), é um importante indicador da qualidade das mudas em geral, pois no seu cálculo são considerados a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de vários parâmetros importantes, empregados para avaliação da qualidade. Com base em alguns estudos, é possível observar este índice além da razão de cada espécie, pode variar em função do manejo peculiar das mudas no viveiro, do tipo e proporção do substrato, do volume do recipiente e, principalmente, de acordo com a idade em que a muda foi avaliada (GOMES et al., 2002; CALDEIRA et al., 2008a,b). Entretanto, há inúmeros resultados para florestais (BINOTTO, 2007; CABREIRA et al., 2017; CALDEIRA et al., 2013), grãos (MARANA et al., 2008), oleaginosas (BOECHAT et al., 2014), hortaliças (SANTOS et al., 2016; FERREIRA et al., 2017; TRECHA, 2017), mas não se encontra referências sobre qualidade de mudas para cana-de-açúcar produzidas a partir de minitoletes.

A disponibilidade de nutrientes também está diretamente ligada ao desenvolvimento das mudas, confirmando a importância do substrato com certas propriedades nutricionais para as mudas. Para isto, justifica-se a importância de condução de pesquisas visando à qualidade de substrato para a produção de mudas mais vigorosas, que possam refletir na homogeneidade do canavial.

2.2. Substratos para produção de mudas

O substrato é um dos fatores que influencia significativamente no crescimento das mudas (KRATZ, 2011), tendo por finalidade garantir o desenvolvimento de plantas saudáveis, em curto período, e com baixo custo (ABREU et al., 2005). Este interfere diretamente na arquitetura do sistema radicular e no estado nutricional das mudas, refletindo, por conseguinte a qualidade das plantas (CALDEIRA et al., 2011).

De acordo com Moraes (1996), a utilização de um substrato que promova rápido crescimento inicial das mudas é fundamental para melhorar a tecnologia de produção na fase de viveiro. Carneiro (1995) discorreu que altos índices de sobrevivência e desenvolvimento inicial pós-plantio podem ser proporcionados pela utilização de mudas com alto padrão de qualidade, que reduzem ainda a necessidade de limpezas em povoamentos recém implantados.

De acordo com Kratz et al. (2013), a demanda por substratos é crescente, visto a sua utilização em diversas áreas agrícolas, além de existir uma concorrência

no mercado pelos materiais utilizados para a formulação destes, a exemplo da casca de pinus empregada na geração de energia e a casca de arroz utilizada para esse mesmo fim e na formação da cama de aviário. Os autores ainda comentam que a disponibilidade dos produtos é outro fator a ser levado em consideração, visto que ele deve ser abundante para conseguir atender à demanda de mercado. A maioria dos produtos utilizados no mercado atualmente apresenta grande oferta em locais específicos no país, aumentando, dessa forma, o seu custo quando transportados para regiões mais distantes.

Existem características que são consideradas essenciais para a obtenção de um bom substrato:

- Boa estrutura e consistência;
- Porosidade adequada para permitir boa drenagem do excesso de água e aeração que facilita o desenvolvimento do sistema radicular;
- Boa capacidade de reter água, de modo a evitar irrigações frequentes;
- Não devem contrair ou expandir em excesso com as oscilações de umidade;
- Devem ser isentos de substâncias tóxicas, serem inócuos a doenças e livres de plantas invasoras (HARTMANN et al., 2011);
- Devem ser prontamente disponíveis e ter custos economicamente viáveis;
- Devem ser padronizados, com características físicas e químicas pouco variáveis de lote para lote;
- Devem apresentar boa homogeneidade de partículas (CARNEIRO, 1995) e;
- Devem ter facilidade no transporte (SILVA et al., 2001).

Os substratos comerciais convencionais, em geral, são desuniformes e, na maioria das vezes, são enriquecidos com adubos químicos não permitidos pelas normas da agricultura orgânica. Conforme Fermino (2014), grande parte dos que estão disponíveis no mercado utilizam a turfa como componente principal (pela sua excelente qualidade). Entretanto, a exaustão de suas fontes, por ser um recurso natural não renovável, têm sido pauta na área ambiental pela substituição da sua exploração (GRUSZYNSKI, 2002). Assim, são procuradas alternativas ambientalmente corretas, de boa qualidade e baixo custo para produção de substratos nas propriedades agrícolas (LÜDKE et al., 2008).

Como alternativa, há a possibilidade de confeccionar substratos a partir de diferentes matérias-primas; sejam elas de origem mineral, sintética ou orgânica

(KLEIN, 2015), de um só material ou diversos materiais em misturas (ABREU et al., 2002; CALDEIRA et al., 2014).

A exemplo de matéria-prima mineral temos a vermiculita, um produto estéril devido ao processo de expansão, realizado a temperaturas altíssimas que beiram 900°C. Dentre as vantagens de utilização como substrato estão; a fácil obtenção, a porosidade, a capacidade hídrica e a baixa densidade (MARTINS; BOVI & SPIERING, 2009). Como sintética, a espuma fenólica é utilizada como substrato para germinação, visto pela praticidade e por ser inerte, o que não interfere na nutrição das sementes (NETO et al., 2009). Diversas pesquisas têm estudado composições de substratos sob fonte orgânica para a produção de mudas (TRIGUEIRO & GUERRINI, 2003; CUNHA et al., 2006; FAUSTINO et al., 2005), utilizando resíduos como fibra de coco, cascas de arroz, casca/acícula de pinus, composto orgânico, bagaços/resíduos de colheita da cana, tortas de mamona e de tungue, húmus de minhoca (MORSELLI, 2009; NASCIMENTO et al., 2012), bio-sólido (KLEIN, 2015), etc.

Na confecção de substratos, para Caldeira et al. (2014), deve-se considerar o fato de alguns materiais estarem concentrados em regiões específicas do país; sendo necessário identificar matérias-primas regionais e de baixo valor econômico que, conforme Duarte et al. (2002), possibilitem a redução de custos, o aumento da rentabilidade e a independência do agricultor na produção de mudas. No caso do Rio Grande do Sul, assim como no restante do país, existem fontes orgânicas com potencial de aproveitamento (MARTINAZZO et al., 2015), como os coprodutos da cadeia produtiva do arroz, tanto a casca de arroz carbonizada (MEDEIROS et al., 2008), quanto a cinza de casca de arroz (GUERRINI & TRIGUEIRO, 2004); e os resíduos gerados no tratamento de água e esgoto, que em diversos países vêm sendo utilizado como insumo agrícola (TRANNIN et al., 2005).

O reaproveitamento agrícola do lodo de água torna-se interessante devido à presença de matéria orgânica, macro e micronutrientes. Além de possuírem potencial de elevar a fertilidade, verificada pelos índices de saturação de bases, indicando que possui alta capacidade de troca de cátions (CTC), conferindo grande potencial como aditivo agrícola (BOTERO, 2009). Este tipo de lodo, é o resíduo gerado no processo de tratamento de águas, onde que, o material sólido é separado do líquido.

Segundo Trigueiro & Guerrini (2003), o uso de resíduos de estações de tratamento de esgoto como componente de substratos para produção de mudas representa uma alternativa viável para a disposição final, refletindo em economia de insumos ao agricultor e benefícios ambientais.

As características dos substratos são muito variáveis, contudo, ele deve reunir características físicas e químicas que promovam a retenção de umidade e a disponibilidade de nutrientes, de modo que atendam às necessidades da muda (CUNHA et al., 2006). As matérias-primas utilizadas devem ser de baixo custo, ter boa disponibilidade e serem inócuas às plantas, ao meio ambiente e às pessoas que as utilizam.

O MAPA, através da instrução normativa IN nº07 de 2016, dispõe sobre os limites de contaminantes admitidos em substrato para plantas (Tabela 2).

Tabela 2 - Limites de contaminantes admitidos em substratos na IN 07/2016.

Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cromo	Mercúrio	Níquel	Selênio
mg kg ⁻¹						
20	3	150	2	1	70	80
Coliformes Termotolerantes		Ovos viáveis de helmintos			Salmonella sp.	
NMP/g de MS		nº em 4g ST			p/10g de ST	
1000		1			ausência	

2.2.1. Características físicas

A qualidade física do substrato é extremamente importante, por ser utilizado num estágio de desenvolvimento em que a planta é muito suscetível ao ataque por microrganismos e pouco tolerante ao déficit hídrico (CUNHA et al., 2006). Entre as propriedades físicas mais importantes, encontram-se a densidade do substrato, a porosidade e a retenção de água (FERMINO, 2014). Cabe salientar que, ao contrário das propriedades químicas, as propriedades físicas do substrato dificilmente podem ser modificadas após o plantio da muda, por isso a importância da utilização de substratos com adequada estrutura física.

A densidade expressa a relação entre a massa e o volume do substrato e, onde, a densidade seca é utilizada como principal parâmetro de avaliação, pois a densidade úmida varia muito conforme o teor de água do material no momento da análise; Fermino & Kämpf (2012) complementam que a densidade é importante na análise de nutrientes (através da massa) e também auxilia na escolha do recipiente a ser utilizado. De acordo com Bellé (1995), materiais muito leves (densidade baixa)

fornece pouca estabilidade em plantas de vaso, e materiais muito pesados (densidade alta) possuem pouca porosidade, prejudicando o crescimento radicular.

Os parâmetros da densidade em substratos são estipulados conforme cada tipo de recipiente para produção de mudas; Kampf (2005) afere para utilização em bandejas de células entre 100 e 300 kg m⁻³, para recipientes até 15 cm de altura densidade entre 250 e 400 kg m⁻³, para recipientes de 20 a 30 cm entre 300 e 500 kg m⁻³, e para recipientes com mais de 30 cm densidade entre 500 a 800 kg m⁻³. Entretanto Bellé (1995) afirma que em geral, o ideal é uma densidade 400 kg m⁻³, e para Martinez (2002) citado por Fermino (2003) como parâmetro de densidade para a produção de mudas em recipiente sob ar livre (culturas mais rústicas) dispõe entre 500 a 750 kg m⁻³, e para produção de mudas em estufas de no máximo 150 kg m⁻³.

A porosidade expressa o volume de substrato não ocupado por partículas, sendo definida como a diferença entre o volume total e o volume de sólidos de uma amostra, mas devido à acomodação das partículas, os poros podem variar com o tempo de cultivo (ZORZETTO, 2011; FERMINO, 2014). A soma de materiais a compor um substrato gera a mistura de partículas de diversos tamanhos e isto pode diminuir a porosidade, devido ao efeito cimentante que ocorre quando partículas de menor tamanho se encaixam nos espaços livres formados entre as partículas de maior tamanho (ZORZETTO, 2011). Portanto, a importância da porosidade total está no estabelecimento da capacidade de regular o fornecimento de água e de ar às plantas, através da dimensão dos seus poros. Nesta porosidade total há uma subdivisão por tamanhos, onde os macroporos são que não retêm água após saturação e livre drenagem, portanto é o volume ocupado por ar denominado espaço de aeração; os mesoporos equivalem ao conteúdo de água disponível; e os microporos concentram as reservas de água para as plantas.

Conhecer a capacidade hídrica do substrato é de suma importância, pois permite ao produtor programar o manejo mais adequado da irrigação, podendo definir a quantidade de água a ser aplicada para uma espécie vegetal específica, cultivada em determinado recipiente (FERMINO, 2002). Segundo Boedt & Verdonck (1972), a capacidade de retenção de água se divide entre: água facilmente disponível, considerada acessível às plantas, onde o volume de água é liberado entre 10 a 50 cm de tensão, tendo como referência valores entre 20 e 30%; água tamponante, considerada a água de reserva às plantas, onde o volume de água é

liberado entre 50 a 100 cm de tensão, tendo como referência valores entre 4 a 10%; e água remanescente, considerada não acessível para às plantas, onde o volume de água é liberado acima de 100 cm de tensão.

2.2.1. Características químicas

Dentre as características químicas de mais importância em substratos destacam-se o potencial hidrogeniônico (pH) (SILVEIRA et al., 2012), a capacidade de troca de cátions (CTC) e condutividade elétrica (CE) (SCHMITZ et al., 2002; KÄMPF, 2005).

O pH se relaciona diretamente com a disponibilidade de nutrientes, e também com as propriedades fisiológicas das plantas (KÄMPF, 2005). A acidez e a deficiência ou o excesso de nutrientes estão entre as características químicas que mais influenciam o desenvolvimento das raízes (ALMEIDA, 2005). Valores ácidos de pH também podem afetar a planta no que compete a absorção de elementos tóxicos, como alumínio e manganês (FERMINO, 2014).

A capacidade de troca de cátions (CTC) é um indicativo da capacidade de manutenção dos nutrientes e também valiosa informação do potencial de fertilidade contida no substrato, considerando que muitos cátions presentes no substrato são nutrientes (ALMEIDA, 2005). A condutividade elétrica (CE) indica a concentração de sais contidos na solução. A salinidade pode ser considerada como uma problemática na nutrição de plantas, chegando a limitar o poder nutritivo de um meio de cultivo. A resposta das plantas varia de acordo com diversos fatores, como a cultivar e a espécie, a idade e o desenvolvimento vegetativo, as condições ambientais e as práticas de cultivo (SCHAFER et al., 2008).

Quanto aos nutrientes, as plantas retiram da solução do substrato o que necessitam para crescer, sendo estes essenciais ao metabolismo vegetal, principalmente na participação do processo da fotossíntese. Os nutrientes absorvidos em maiores quantidades são o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês e zinco (FERMINO & BELLÉ, 1995).

2.3. Potencial agrícola dos lodos de estações de tratamento de esgoto (LETE)

O tratamento de esgotos resulta na produção de um residual rico em nutrientes e matéria orgânica, chamado lodo de esgoto (GRAY, 2005). Este lodo contempla na sua composição, nutrientes e elementos benéficos necessários para o

desenvolvimento e produção de diversas espécies vegetais (MELO & MARQUES, 2000).

As características quantitativas e qualitativas do lodo estão relacionadas com a densidade populacional, tipo de urbanização, hábitos sanitários, condições ambientais e climatológicas, perfil da saúde da população atendida que gera o lodo, e o tipo de sistema existente em cada Estação de Tratamento de Esgoto (PROSAB, 1999). A composição média do esgoto é de 99,9% de líquidos e 0,1% de sólidos, sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras) e 30% inorgânicos (partículas minerais, sais e metais) (GRAY, 2005).

Na produção do esgoto doméstico inclui-se a coleta de dejetos líquidos residenciais, comerciais e públicos, esgoto de pequenas indústrias, bem como quantidades de água de subsolo que se infiltram nas redes de esgoto (SOBRINHO, 2002), o qual compõem-se essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes, enfim; tudo que flui por canalizações (JORDÃO & PESSÔA, 2017).

Para Jordão & Pessôa (2017), os processos de tratamento de esgotos podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos, mas eles não atuam de forma isolada. Os processos físicos se aliam à remoção de substâncias fisicamente separáveis dos líquidos, como remoção de sólidos grosseiros, sedimentáveis e flutuantes. Processos químicos são os que têm adição de produtos químicos, sendo indicado somente quando os processos físicos e biológicos não atuam eficientemente. Por exemplo, a sedimentação torna-se mais eficiente com adição de coagulantes, ou quando o pH do meio se mantém ácido e necessita de correção. Os processos biológicos são os que dependem da ação de microrganismos presentes no próprio esgoto, onde através da alimentação ocorrem transformações do meio complexo para simples. Os principais processos biológicos estão na oxidação e digestão. A oxidação pode ser aeróbia, como lodos ativados e lagoas de estabilização, e pode ser anaeróbia, como reatores tipo Ralf, lagoas anaeróbias e tanques sépticos. Estes processos de tratamento dos esgotos sob fase líquida geram subprodutos que são sólidos grosseiros, areia, espuma e lodo.

Apesar do lodo não ser o único subproduto gerado em uma estação de tratamento de esgotos, ele tem importância maior por ser um resíduo de difícil

tratamento e disposição final, onde os custos podem representar em torno de 20 a 60% do total gasto com a operação (TSUTIYA et al., 2001).

O tratamento do lodo (fase sólida dos esgotos) é baseado nas etapas de adensamento, estabilização e desidratação (COPASA, 2014). O adensamento é um processo físico de concentração de sólidos no lodo que visa reduzir a umidade e o volume do lodo. Na etapa da estabilização biológica, o objetivo é atenuar o inconveniente de maus odores no tratamento do lodo. A redução de odores é obtida através da remoção da matéria orgânica biodegradável presente no lodo. Um dos métodos empregados para estabilizar o lodo é a digestão anaeróbia, o qual o lodo bruto é encaminhado para o interior de digestores biológicos totalmente fechados, fazendo com que bactérias anaeróbias e facultativas estabilizem a matéria orgânica produzindo gás carbônico, metano, massa celular e outros micronutrientes (ANDREOLI et al., 2001). O desaguamento do lodo pode ser realizado através de métodos naturais ou mecânicos. Nesta fase o objetivo é remover a água e reduzir ainda mais o volume, desaguando o residual em leito de secagem (CORSAN, 2014).

No Brasil, do total de esgotos sanitários produzidos, somente 43,2% são coletados via canalizações, e deste valor coletado, somente 34,6% passa por processos de tratamento adequado (JORDÃO & PESSÔA, 2017). Entretanto, na Agenda 21, documento assinado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, estabeleceu-se a meta de 100% de atendimento da população brasileira com saneamento básico até o ano de 2025, para tal, haverá um crescimento proporcional dos resíduos gerados pelas estações de tratamento de esgoto.

Atualmente, algumas alternativas de destinação do lodo estão sendo testadas, tanto para uso na indústria cerâmica (SILVA et al., 2015) e geração de energia (COELHO et al., 2006), quanto na agricultura (BETTIOL & CAMARGO, 2006; SILVA, 2015; SCHIRMER, 2010; SCHEER et al., 2010; ROCHA et al., 2013). Alguns destes estudos demonstraram a viabilidade de uso do lodo de esgoto como matéria-prima na formulação de substratos para mudas florestais (SCHEER et al., 2010; SCHIRMER, 2010; ROCHA et al., 2013; SANTOS et al., 2014), porém há falta de informações quanto às possibilidades de misturas de matérias-primas alternativas que poderiam ser utilizadas, considerando especialmente os resíduos regionais, no intuito de produzir substratos eficientes e de baixo custo.

A disposição do lodo de esgoto na agricultura foi normatizada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Instrução Normativa Federal Nº 375, de 29 de agosto de 2006, que trata dos requisitos mínimos sanitários do lodo de esgoto, as formas de aplicação, carga acumulada teórica, as condições de uso e manejo, e as culturas permissíveis. Para tanto, pela permissibilidade da normativa, pesquisas acerca das culturas agroenergéticas com o lodo vêm sendo desenvolvidos, como pinhão manso (LIMA et al., 2009), mamona (SILVA, 2015; CHIARADIA et al., 2009), e cana-de-açúcar (MARQUES et al., 2007).

Alguns componentes do lodo conferem características de interesse para a agricultura, entretanto outras conferem riscos sanitários e ambientais, sendo indesejáveis no âmbito ambiental, Silva et al. (2014) descrevem como principais riscos os metais pesados e agentes patogênicos.

Na agricultura, os metais pesados ou elementos traço podem conferir elementos tóxicos às culturas vegetais (fitotoxicidade), podendo diminuir a produtividade agrícola. Do ponto de vista ambiental, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferecem risco a saúde humana e ao meio ambiente. Entretanto, alguns desses elementos no lodo advêm de baixas concentrações encontradas naturalmente em todos ambientes; e alguns de fatores externos como compostos de detergentes, cosméticos, fertilizantes, resíduos de combustíveis, cimento, produtos farmacêuticos, tintas, etc.

Os agentes patogênicos presentes no lodo têm procedência humana ou animal, sendo bactérias, vírus e ovos de helmintos. Estes apresentam riscos devido à alta frequência de parasitismo disponível, ao longo tempo de sobrevivência ao meio externo e à dose infectante. Estes variam de acordo com as características locais já mencionadas, sofrendo dependência pelos métodos de tratamento que o esgoto foi submetido. Como indicadores no processo de aptidão agrícola, os organismos comumente usados para análises são os coliformes termotolerantes (fecais), a *salmonella sp.*, vírus entéricos, e ovos viáveis de helmintos.

Os lodos para fins de uso na agricultura devem ser submetidos a processos que os torne estáveis e que reduzam a concentração de patógenos e de atratividade de vetores (TSUTIYA et al., 2002; COSTA & COSTA, 2011; ANDREOLI, SPERLING & FERNANDES, 2014; JORDÃO & PACHECO, 2017). Pinto (2014) e demais

referências citadas acima definem os principais mecanismos utilizados como higienização, podendo ser através de via térmica, química, biológica e radiação.

Através da via térmica, são combinadas duas variáveis de controle, relacionadas ao tempo de permanência do lodo a uma elevada temperatura. A via química utiliza um produto alcalinizante para elevar o pH do lodo e alterar a natureza dos organismos patogênicos, produzindo um ambiente inóspito de sobrevivência. A via biológica ainda é incipiente, mas através do uso da vermicultura, as minhocas consomem os resíduos orgânicos com os microrganismos presentes no lodo, e através da atividade gástrica, os patógenos são inativados, e o bolo fecal (coprólitos) excretado sob forma de húmus de fácil assimilação aos vegetais; entretanto esta tecnologia ainda se encontra em pesquisa. Quanto à radiação, os raios ultravioletas são conhecidos pelo seu poder bactericida. Muitas pesquisas reportam a inativação de organismos patogênicos quando o lodo é exposto a radiação solar, chamando-o de lodo solarizado. Segundo Monteiro et al. (2017), a secagem de LETE em ambientes protegidos com cobertura plástica, também conhecido como solarização, tem o potencial de proporcionar a desinfecção deste LETE.

O lodo quando submetido a simples secagem natural por leito de secagem, apresenta características satisfatórias, pois além de sua simplicidade operacional e baixo valor de investimento, o mesmo pode promover uma remoção considerável de organismos patogênicos, devido a exposição prolongada ao sol, havendo higienização pela elevada temperatura do lodo (GONÇALVES, LUDUVICE & SPERLING, 2014).

Para uso na agricultura o LETE deve atender os parâmetros estabelecidos pelo o CONAMA, que através da Resolução 375/2006 estabeleceu limites de metais pesados e de patógenos (Tabela 3 e 4).

Quando se trata de substratos, além de ter características de aptidão ambiental, ele deve apresentar eficiência agrônômica satisfatória para as culturas a que se destina, e um fator de extrema importância a ser avaliado na qualidade das mudas é o enraizamento destas, pois no transplante as plantas com sistema radicular insatisfatório exibem menor crescimento e, geralmente, em épocas de estiagem são levadas à morte em consequência da má formação de raízes. Os danos variam normalmente com a espécie, com o genótipo, com a idade da planta e com a disponibilidade de água e nutrientes no meio. Além disso, plantas com

sistema radicular pouco desenvolvido tornam-se mais vulneráveis aos efeitos de oscilação de temperatura e demandam maior disponibilidade de água e nutrientes no solo logo nos meses subsequentes ao plantio. Ademais, plantas com o sistema radicular superficial tornam-se mais propícias à queda pelo vento (ALFENAS et al., 2004). Para tal, as avaliações de raiz, especificamente massa seca, têm sido reconhecidas por diferentes autores como uma característica para se estimar a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no campo (CALDEIRA et al., 2008).

Tabela 3 – Concentração máxima permitida de metais pesados pelo CONAMA 375/2006 no lodo de esgoto

Arsênio	Bário	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Níquel	Selênio	Zinco
mg kg ⁻¹ (base seca)									
41	1300	39	300	1500	1000	17	420	100	2800

Tabela 4 – Concentração máxima permitida de patógenos no lodo de esgotode acordo com a Resolução do CONAMA Nº 375/2006.

Colifórmes termotolerantes	Ovos viáveis de helmintos	<i>Salmonella</i>	Vírus
<10 ³ NMP / g de ST	< 0,25 ovo / g de ST	ausência em 10 g de ST	< 0,25 UFP ou UFF / g de ST

ST - Sólidos totais

Gomes et al. (2002) citam que a altura da parte aérea, quando avaliada isoladamente pode ser utilizada para expressar a qualidade das mudas, estabelecendo excelente estimativa da predição do crescimento inicial das mudas no campo. Assim como o diâmetro do colo, que segundo Souza et al. (2006) mudas de maior incremento em diâmetro possuem maior capacidade de formação e de crescimento de novas raízes quando transplantadas a um novo ambiente. Efeitos do lodo de esgoto, na composição com demais resíduos em substratos para mudas de angico, demonstraram suficientes para a formação de plantas com boa qualidade refletidas em resultados satisfatórios de crescimento da parte aérea, diâmetro de colo e biomassa (SCHEER et al., 2010).

Na cultura da cana-de-açúcar diversos trabalhos foram realizados com a utilização do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para adubação na lavoura, como Chiba et al. (2008) que utilizaram doses de LETE (14 t ha⁻¹ no 1º ano e 16 t ha⁻¹ no 2º ano) diretamente na lavoura canavieira. Silva et al. (2010) concluiu que a adição de LETE ao solo para a cultura da cana-de-açúcar, promoveu o incremento de produção de biomassa de colmos, o que ocasionou aumento proporcional de

produtividade de açúcar e não alterou as variáveis tecnológicas. Entretanto o uso do lodo como matéria-prima para a formulação de substratos para a cultura ainda é incipiente. É importante salientar que o sistema de mudas para a cultura é recente e está em expansão, conseqüentemente a demanda por substratos será crescente e o desenvolvimento de substratos alternativos para este sistema é oportuno.

3. CAPITULO I

APTIDÃO DE LODOS DE ESGOTO COMO MATÉRIA-PRIMA NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS

3.1. Introdução

Com o crescimento populacional continuado aumentam as dificuldades no tratamento e, principalmente, destinação dos resíduos urbanos, em especial dos efluentes que são gerados dos processos de captação e tratamento de esgoto e de água. Atualmente, algumas alternativas de destinação do lodo estão sendo testadas, tanto para uso na indústria cerâmica (SILVA et al., 2015) e geração de energia (COELHO et al., 2006), quanto na agricultura (BETTIOL & CAMARGO, 2006; SILVA, 2015; SCHIRMER, 2010; SCHEER et al., 2010; ROCHA et al., 2013).

Alguns destes estudos demonstraram a viabilidade de uso do lodo de esgoto como matéria-prima na formulação de substratos para mudas (SCHEER et al., 2010; SCHIRMER, 2010; ROCHA et al., 2013; SANTOS et al., 2014). Para Trigueiro & Guerrini (2003), o uso de resíduos de estações de tratamento de esgoto como componente de substratos para produção de mudas representa uma alternativa viável para a disposição final, refletindo em economia de insumos ao agricultor e benefícios ambientais.

Para isso, este resíduo quando utilizado para disposição direta na agricultura, deve apresentar concentrações de agentes patogênicos e de metais pesados abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006). Enquanto utilizado em composição de substrato deve atender também às especificações da Instrução Normativa nº 7/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O substrato é obtido através da manipulação e combinação de dois ou mais materiais com um determinado objetivo (KAMPF, 2005; KLEIN, 2015), devendo este atingir propriedades físicas e químicas desejáveis (FERMINO, 2014). Considerando

materiais a somar na composição de substratos, Martinazzo et. al. (2015) discorrem sobre os resíduos regionais, citando especialmente no Sul do Brasil os coprodutos gerados da cadeia produtiva do arroz como alternativa promissora, no intuito de produzir substratos com baixo custo e eficiência satisfatória.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de uso do lodo da estação de tratamento de esgoto de Passo Fundo/Rio Grande do Sul como matéria-prima na formulação de substratos para produção de mudas de cana-de-açúcar. Para tal considerou-se o seu enquadramento na legislação ambiental vigente e as características químicas e físico-hídricas das matérias-primas e dos substratos propostos.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Caracterização das matérias-primas

Para a confecção dos substratos foram utilizadas diferentes proporções das seguintes matérias-primas: lodo de estação de tratamento anaeróbio de esgoto (LETE) e de água (LETA), casca de arroz carbonizada, cinza da casca de arroz e vermiculita. Todos os materiais foram caracterizados quanto às suas propriedades químicas pelo laboratório de análises de solos da UFRGS utilizando digestão nítrico-perclórica e quantificação por ICP-OES. No caso dos lodos, também foram realizadas análises de patogenicidade, especificamente coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, salmonela, e vírus entéricos; e análises dos teores de elementos-traço, especificamente arsênio, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e selênio. Essas análises foram realizadas pelo laboratório Eco System Preservação do Meio Ambiente Ltda.

Nos testes iniciais de caracterização física, foram adquiridos três substratos comerciais amplamente utilizados no RS, sendo neste estudo denominados de comercial 1, comercial 2 e comercial 3. O comercial 1 possui em sua composição turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola, e traços de fertilizante (não informado tipo e proporção na embalagem); o comercial 2 possui turfa catarinense, casca de arroz carbonizada, 0,04% de N; 0,04% de P_2O_5 ; 0,05% de K_2O e calcário calcítico a 1,5%; o comercial 3 possui em sua composição casca de pinus compostada, vermiculita e adubação de base (não informado na embalagem).

A casca de arroz (utilizada somente no ensaio preliminar) e a cinza da casca de arroz foram adquiridas da empresa 'Arrozeira Pelotense'. A casca de arroz foi carbonizada em uma propriedade situada próxima a Embrapa onde o proprietário adquire a casca in natura na mesma arrozeira citada e utiliza o material em componente de substratos para produção local. A vermiculita expandida foi adquirida do fornecedor Carolina e possui granulometria média (~96% das partículas entre 4,76 - 2,00 mm) com pH de 6,5.

O lodo de água foi coletado no município de Santa Maria em 23/06/2015. O lodo de esgoto foi coletado na ETE de Passo Fundo em 09 de julho de 2015. Foram coletadas amostras compostas, que consistem na soma de subamostras do resíduo a ser estudado, obtidas em pontos e profundidades diferentes. Desta forma, foram coletadas no mínimo 10 subamostras em cada local e estação do ano. Estas subamostras foram misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea e representativa de cada material.

Na amostragem em leitos de secagem, a área do leito onde o lodo estava disposto foi dividida em quadrículas imaginárias, das quais foram retiradas subamostras que compreendem toda a sua altura (superfície até o fundo do leito), utilizando-se de pá-de-corte. Na estação de tratamento de água Santa Maria, que utiliza centrífugas, o lodo fica armazenado em caçambas coletoras. Neste caso, foram coletadas subamostras do topo, do meio e da base, sendo que, em cada seção, foram coletadas no mínimo 10 subamostras.

Durante a amostragem e para o transporte, as amostras foram armazenadas em baldes plásticos com tampa (capacidade 20 litros) e encaminhadas à Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, onde foram secas em estufa agrícola em temperatura ambiente, com revolvimento diário, até atingir a umidade adequada (Figura 1). Tendo em vista o elevado teor de umidade apresentado pelas amostras (>70%), foram necessários pelo menos 30 dias até que os mesmos atingissem condição adequada de umidade (<20%) a fim de possibilitar o processamento.

Após a secagem, as amostras foram homogeneizadas, maceradas, peneiradas (granulometria <9,0mm, conforme NBR 10005:2004) e, posteriormente encaminhadas aos laboratórios acima mencionados.



Figura 1 – Disposição das amostras de LETE para secagem (a), e armazenamento em estufa agrícola na Embrapa Clima Temperado.

Fotos: Adilson L. Bamberg

3.2.2. Ensaios preliminares

3.2.2.1. Definição da composição dos substratos a base de lodo de esgoto

Neste ensaio buscou-se avaliar misturas de diferentes matérias-primas de ocorrência regional, como a casca de arroz carbonizada (Figura 2a) e a cinza de casca de arroz (Figura 2b), ou normalmente utilizadas em substratos, como a vermiculita (Figura 2c), sob diferentes proporções com o lodo da ETE de Passo Fundo (Figura 2d) peneirado em malha 4 mm, a fim de selecionar misturas com características similares a substratos comerciais (1, 2 e 3) (Tabela 5).



Figura 2 – Matérias-primas utilizadas em formulações de substratos: Casca de arroz carbonizada (a); cinza de casca de arroz (b); vermiculita (c); lodo de esgoto (d).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva

Tabela 5 - Composição dos substratos propostos a base de lodo de estação de tratamento de esgoto de Passo Fundo, Pelotas, 2016.

Tratamento	LE PF	Casca de arroz carbonizada	----- % -----			LA SM
			Vermiculita	Cinza de casca de arroz		
T1	25,0	75,0	--	--	--	
T2	50,0	50,0	--	--	--	
T3	75,0	25,0	--	--	--	
T4	100,0	--	--	--	--	
T5	Substrato comercial - 1					
T6	33,0	--	33,0	33,0	--	
T7	50,0	--	25,0	25,0	--	
T8	75,0	--	12,5	12,5	--	
T9	87,5	--	6,25	6,25	--	
T10	--	--	100,0	--	--	
T11	--	--	--	100,0	--	
T12	Substrato comercial - 2					
T13	33,0	--	--	33,0	33,0	
T14	50,0	--	--	25,0	25,0	
T15	75,0	--	--	12,5	12,5	
T16	87,5	--	--	6,25	6,25	
T17	--	--	--	50,0	50,0	
T18	--	--	--	--	100,0	
T19	50,0	--	--	--	50,0	
T20	Substrato comercial - 3					

Como os substratos comerciais demonstraram diferenças significativas nas características físico/químicas quando comparados entre si, selecionou-se o substrato 2 como padrão de referência para as misturas desenvolvidas neste estudo, pois o mesmo apresenta ampla utilização no RS, e é indicado para diversas espécies vegetais.

O lodo de estação de tratamento de água utilizado foi selecionado por ser proveniente de sistema de deságue com centrífuga e apresentar elevada retenção de água (umidade residual pós-centrifuga em torno de 70%) e, portanto, buscou-se testar a hipótese de que esta matéria-prima poderia ser utilizada para incrementar a capacidade de retenção de água dos substratos.

Realizou-se a determinação da granulometria pela metodologia adaptada de Fermio (2014), da densidade e da capacidade de retenção de água a 10 cm de coluna d'água (CRA₁₀) dos tratamentos avaliados, conforme metodologia descrita na Instrução Normativa nº 17 de 21 de maio de 2007 (BRASIL, 2007). As análises foram realizadas no laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperado.

Para a análise de granulometria, 100 gramas de cada tratamento, com três repetições, foram passadas nas peneiras de malha 4,76, 2,00, 1,00, 0,50, e <0,50 mm, sob agitação manual durante 3 minutos. Após a agitação, o material retido em cada peneira foi pesado, sendo calculado o valor percentual relativo ao peso total da amostra.

Para a determinação da densidade de volume (g cm^{-3}) por auto compactação descrito na Instrução Normativa nº17 (BRASIL, 2007). Para esta avaliação utilizou-se uma proveta de 500 ml, que foi preenchida até o volume de 300 ml para cada tratamento com 3 repetições, sob a umidade original; em seguida com o auxílio de um suporte universal a proveta foi deixada cair, sob a ação de sua própria massa, de uma altura de 10 cm, por dez vezes consecutivas.

Os valores da capacidade de retenção de água a 10 cm de coluna d'água foram obtidos através do método da mesa de tensão (BRASIL, 2007). Para saber a quantidade de amostra a ser colocada no anel, calculou-se o volume do anel. Conhecendo-se o volume de cada anel, adicionou-se a massa da amostra no anel com o fundo previamente vedado com tecido e atilhos e posto a saturar em recipiente com água por 24 horas, com uma lâmina de água localizada a 0,5 cm abaixo da borda dos cilindros (anéis). Após o período de saturação, os mesmos foram pesados e logo em seguida postos em mesa de tensão a 10 cm de coluna d'água até atingir o equilíbrio, quando cessou a drenagem (cerca de 24 horas). Posteriormente, as amostras foram retiradas da mesa, pesadas novamente e em seguida colocadas para secar em estufa a 65°C até atingir massa constante (cerca de 48 horas).

3.2.2.2. Adequação do pH do lodo da ETE de Passo Fundo

Através da caracterização química dos lodos, observou-se que o potencial hidrogeniônico (pH) do LETE Passo Fundo apresentou valor muito baixo (3,4) para meio de cultivos. Em geral, as principais culturas agrícolas desenvolvem-se adequadamente na faixa de pH entre 5,5 e 6,5. Sendo assim, realizou-se a incubação desse lodo com doses crescentes de calcário agrícola dolomítico extrafino peneirado em malha 0,3 mm (PRNT 84,6%) para definição da necessidade de calcário para atingir pH 6,0.

As unidades experimentais constaram de porções de 500 gramas de LETE (base seca) acondicionadas em sacos de polietileno de cinco litros e os tratamentos

avaliados consistiram de sete doses de calcário: 0%; 0,125%; 0,25%; 0,5%; 1,0%; 2,0% e 4,0% (m/m). O delineamento experimental deste teste foi o inteiramente casualizado com três repetições.

Cada unidade experimental foi umedecida a 90% da capacidade de retenção de água e, para evitar a perda de umidade, os recipientes tinham sua parte superior parcialmente fechada, permitindo a troca gasosa com o ambiente externo somente através de canudos plásticos, conforme metodologia descrita por Kaminski et al. (2002) (Figura 3). A determinação da capacidade de retenção de água foi realizada previamente no laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperado de acordo com a metodologia estabelecida pela Instrução Normativa SDA Nº 17 (BRASIL, 2007), conforme item 5.3.3. (Tabela 6).



Figura 3 - Teste de incubação para adequação do pH do lodo de esgoto de Passo Fundo: Pesagem das doses de calcário (a); Alocação do lodo nos recipientes (b); Doses de calcário juntamente ao lodo (c); Lodo de esgoto/Passo Fundo + calcário + água (d); Determinação do pH (e); Alocação das unidades experimentais (f).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva

Semanalmente as amostras foram revolvidas para acelerar a reação e retirada do excesso de CO_2 e, sempre que necessário, adicionou-se água para manter a umidade a 90% da capacidade de retenção de água, durante todo o período do experimento. Amostras do material incubado foram retiradas semanalmente a partir do 6º dia até o 137º dia de incubação para determinação do pH, a qual foi realizada utilizando-se a proporção amostra:água de 1:5, conforme metodologia de Fermino (2014).

3.2.3. Caracterização dos substratos selecionados

Os substratos selecionados e as matérias-primas (Tabela 6) foram caracterizados quanto aos atributos químicos pelo Laboratório de Análises de Solos da UFRGS utilizando as seguintes metodologias: método da combustão úmida/Walkey Black para carbono, Kjeldahl para nitrogênio, potenciometria para determinação do pH (relação amostra:água 1:5), digestão úmida nítrico-perclórica e quantificação por ICP-OES para os demais elementos.

Foram avaliadas nove amostras, das quais uma amostra de substrato comercial, três amostras das matérias-primas utilizadas na formulação dos substratos e cinco amostras de substratos formulados a base de lodo de esgoto (Tabela 6).

Adicionalmente, os substratos selecionados para os testes agrônômicos foram caracterizados conforme suas propriedades físico-hídricas no Laboratório de substratos (LabSub) da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (Fepagro - Unidade Porto Alegre) levando em consideração a Instrução Normativa Nº 17, de 21 de maio de 2007 (MAPA, 2007). A condutividade elétrica, que faz parte da caracterização química, também foi determinada no laboratório da Fepagro acima citado.

Tabela 6 - Substrato comercial, matérias-primas e formulações selecionadas para avaliação físico-química no laboratório de análises de substratos para plantas da Fepagro.

Legenda	Descrição do substrato
T1	Substrato comercial
T2	87,5% Lodo de esgoto Passo Fundo + 6,25% Cinza + 6,25% Vermiculita
T3	75% Lodo de esgoto Passo Fundo + 12,5% Cinza + 12,5% Vermiculita
T4	50% Lodo de esgoto Passo Fundo + 25% Cinza + 25% Vermiculita
T5	33% Lodo de esgoto Passo Fundo + 33% Cinza + 33% Vermiculita
T6	75% Lodo de esgoto Passo Fundo + 12,5% Cinza + 12,5% Lodo de água SM
LETE	Lodo de esgoto da ETE Passo Fundo/RS
VERM	Vermiculita fina
CCA	Cinza de casca de arroz

Os substratos foram caracterizados fisicamente quanto ao seu teor de umidade (para cálculo nas demais análises), densidade úmida e seca, porosidade total, espaço de aeração e disponibilidade de água, com detalhamento a seguir:

O teor de umidade inicial foi determinado de acordo com a Instrução Normativa nº17, de 21 de maio de 2007 (MAPA 2007), onde pesou-se 100 g da

massa úmida e posteriormente foi levada a estufa para secagem a 65°C por 48 horas ou até a massa constante.

A determinação da porosidade total, espaço de aeração e da disponibilidade de água foi realizada nas tensões de 0, 10, 50, e 100 cm de altura da coluna de água, o que corresponde as tensões de 0, 10, 50, e 100 hPa, onde que de acordo com a Instrução Normativa SDA N° 17, de 21 de maio de 2007, utilizou-se a metodologia da mesa de tensão, descrita por Kiehl (1979). Preenchidos os cilindros conforme a densidade já determinada (Figura 4a), estes foram colocados para saturar por 48h (Figura 4b), e após este período (Figura 4c) os cilindros foram submetidos a mesa de tensão (Figura 5a,b) nas diferentes alturas de coluna d'água (tensão) (Figura 5c).

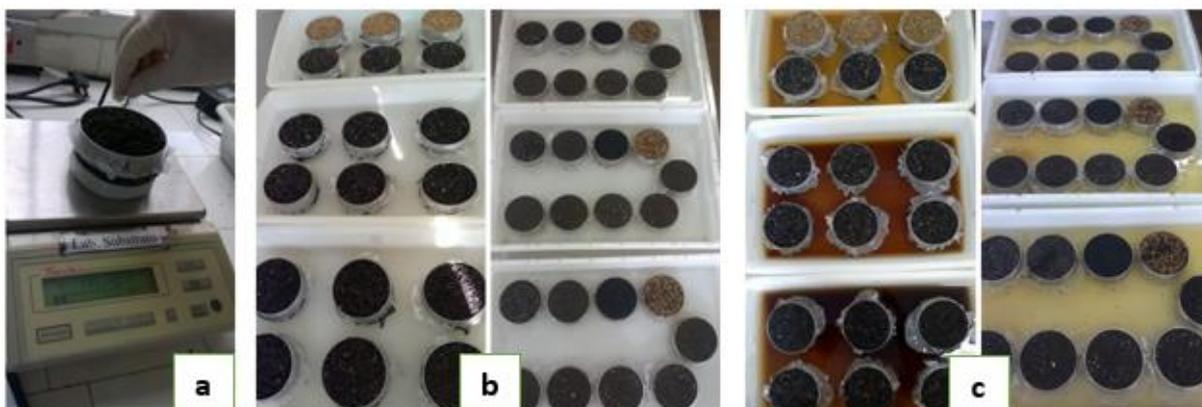


Figura 4 - Cilindro sendo preenchido de acordo com densidade do material (a), materiais postos a saturar imersos em água a 1/3 da altura do cilindro (b), material saturado por 48h (c).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva.



Figura 5 - Cilindros alocados em mesa de tensão (a), conjunto de amostras sobre mesas de tensão em triplicata (b), sistema de vasos comunicantes da mesa de tensão (c).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva.

A densidade de volume expressa a relação entre a massa e o volume de uma amostra de substrato. Sabe-se que, quanto menor o recipiente for, menor deve ser a densidade do substrato nele utilizado. Para determinação da densidade úmida

utilizou-se o método da auto-compactação (MAPA, 2007). O método consiste em preencher uma proveta plástica transparente e graduada de 500 mL até 300 mL, com substrato, a uma umidade próxima a 50% (quando a amostra ao ser comprimida entre os dedos se mantém aglutinada, sem formar torrão) (Figura 6a). A proveta é alocada em um suporte (Figura 6b) e deixada cair sob ação do seu próprio peso, a uma altura de 10 cm, por 10 vezes consecutivas. Com o auxílio de uma espátula nivela-se a superfície levemente, lê-se o volume obtido, e pesa-se o material em balança de precisão (Figura 6c).

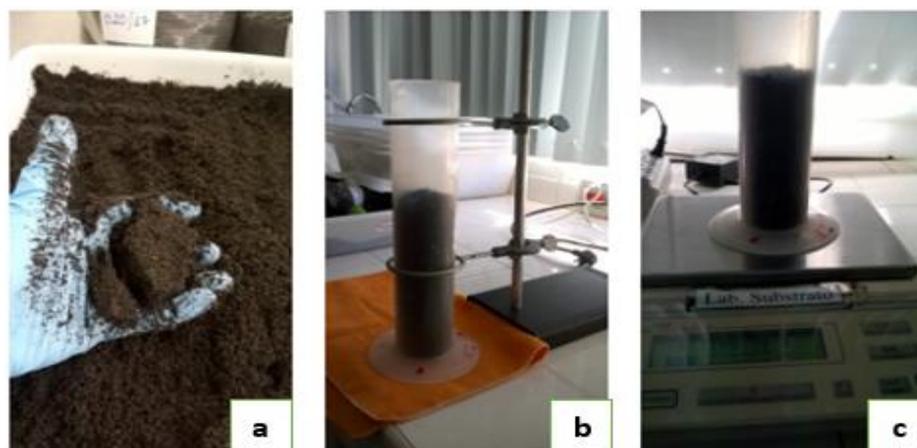


Figura 6 - Umidade adequada para determinação da densidade - a amostra ao ser comprimida se mantém aglutinada sem formar torrão (a), amostra alocada no suporte para proveta a 10 cm de altura (b), pesagem da amostra em balança de precisão (c).
Fotos: Mariana Teixeira da Silva.

Para obtenção da densidade seca os substratos foram secos em estufa a 65°C, por 48 horas. O valor da densidade úmida foi obtido através da multiplicação da densidade úmida pela matéria seca, divididos por 100.

A retenção de água nos substratos foi determinada pelo método da mesa de tensão (KIEHL, 1979). A curva de retenção de água nos substratos foi construída com os percentuais de água retida dos valores de umidade volumétrica em cada tensão (0, 10, 50 e 100 cm de coluna de água).

Através da curva de retenção de água, foi possível obter os seguintes valores (FERMINO, 2014):

- Porosidade total (PT); que corresponde a umidade volumétrica presente nas amostras saturadas a 0 cm da coluna d'água.
- Espaço de aeração (EA); que corresponde à diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão de 10 cm.

- Água facilmente disponível (AFD); que corresponde ao volume de água encontrado entre os pontos 10 e 50 cm de tensão.
- Água tamponante (AT); que corresponde ao volume de água encontrado entre os pontos 50 e 100 cm de tensão.

Para análise de CE utilizou-se o método padrão da norma brasileira, e recomendado pela Sociedade Internacional de Ciências Hortícolas, que considera uma suspensão de substrato:água deionizada na proporção 1:5 (volume:volume). Nesta suspensão foi colocada 60 mL de amostra (calculada segundo a densidade) e 300 ml de água em recipiente com capacidade de 500 ml e tampa rosqueável (para evitar vazamentos). Com o auxílio de um agitador mecânico tipo Wagner com rotação de 40 rpm, a amostra foi homogeneizada durante 60 minutos (Figura 7a). Após, o material foi filtrado, descartando-se os primeiros 10 mL (Figura 7b) e foi realizada a leitura dos valores de CE e pH em leitor digital com ajuste automático de temperatura (Figura 7c).



Figura 7 - Agitador tipo Wagner com amostras em recipientes (a), amostras sendo filtradas em funis com o descarte de 10 ml ao fundo (b), equipamento de leitura de CE (c).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva.

Os resultados obtidos da caracterização físico-hídrica foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e em caso de significância estatística, comparou-se o efeito dos tratamentos (substratos) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística foi desenvolvida com o auxílio do software SAS.

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Caracterização das matérias-primas

As concentrações dos elementos-traço avaliados no LETE Passo Fundo se encontra abaixo dos limites máximos permitidos para utilização na agricultura conforme a Resolução do CONAMA N° 375/2006 (CONAMA, 2006) e para utilização como matéria-prima em substratos para plantas, de acordo com a Instrução Normativa N° 07/2016 (BRASIL, 2016), (Tabela 7 e 8). Portanto, as características

de elementos-traço e agentes patogênicos não constituem fator impeditivo para o uso agrícola do lodo avaliado neste estudo como matéria-prima para composição de substratos para plantas.

Tabela 7 - Elementos-traço em lodo da Estação de Tratamento de esgoto de Passo Fundo/RS e limites máximos permitidos pelas legislações vigentes.

	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Hg	Mo	Se	Pb
	----- mg kg ⁻¹ -----								
LETE PF/RS	<0,5	61,7	<0,03	7,97	1,4	<0,02	<3,0	<0,2	4,9
CONAMA 375/2006 ¹	41	1300	39	1500	1000	17	50	100	300
IN 7/2016 ²	20	--	3,0	--	2,0	1,0	--	80	150

Fonte: ¹CONAMA (2006); ²BRASIL (2016).

Tabela 8 - Agentes patogênicos em lodos de esgoto de Passo Fundo/RS e limites máximos permitidos pelas legislações vigentes.

	Coliformes termotolerantes	Ovos de helmintos	Salmonella	Vírus
	NMPg ⁻¹ ST	Ovosg ⁻¹ ST	NMP10g ⁻¹	UFPg ⁻¹ ST
LETE PF/RS	45	<0,25	Ausência	Ausência
CONAMA 375/06	<1000	<0,25	Ausência	<0,25
IN 7/2016	<1000	<0,25	Ausência	--

Fonte: ¹BRASIL (2016); ²CONAMA (2006).

Cabe salientar que o LETE utilizado passou por processo de estabilização em leito de secagem na estação de tratamento e, adicionalmente, pelo processo de solarização em estufa agrícola atingindo, ao final do período o teor de umidade residual de 8%.

Avaliando a higienização de lodo anaeróbio em leitos de secagem cobertos com estufas plásticas, semelhante aos procedimentos aqui citados, Andreoli e Bonnet (2000), concluíram que um tempo de exposição a cerca de 50°C por um período de 48 horas, 60°C por um período de seis horas e 80°C por um período de cinco minutos, mostraram ser eficientes na redução do número de ovos de helmintos.

Esta redução da umidade e a própria incidência dos raios solares que ocorre na estufa agrícola pode ter sido os fatores responsáveis pela conformidade do LETE quanto à ausência de agentes patogênicos, pois o LETE desta forma é considerado solarizado, e esta é uma forma de higienização reconhecida por TSUTIYA et al. (2002); COSTA & COSTA (2011); ANDREOLI, SPERLING & FERNANDES (2014); e por JORDÃO & PACHECO (2017).

Silva et al. (2014) afirmam que os raios solares incidindo diretamente sobre os microorganismos produzem dessecação e diminuem o tempo de sobrevivência, assim

no verão, o tempo de vida de protozoários e ovos de helmintos é mais curto do que no inverno, desta maneira Pinto (2014) conclui que a radiação solar por si só, tem o poder bactericida.

As caracterizações químicas das matérias-primas estão apresentadas na Tabela 9, juntamente com a caracterização dos tratamentos formulados com estes materiais.

Tabela 9 - Caracterização química de LETE Passo Fundo/RS e LETA Santa Maria/RS, vermiculita (Vm), cinza de casca de arroz (CCA) utilizados como matéria-prima para produção de substratos e tratamentos propostos.

Parâmetros	LETE*	LETA	VM	CCA	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Umidade %	31	24	27	31	48	29	53	56	52	.
pH**	5,6	6,0	6,4	8,9	6,1	5,6	5,6	5,5	5,7	5,7
Nitrogênio % (m/m)	2,90	1,20	1,80	0,14	4,00	3,70	3,00	2,20	3,10	.
Fósforo % (m/m)	1,80	0,31	1,10	1,50	2,40	1,90	2,00	1,50	2,00	.
Potássio % (m/m)	0,34	0,08	0,40	0,25	0,31	0,31	0,28	0,35	0,22	.
Cálcio % (m/m)	1,20	0,14	0,77	0,91	1,90	1,70	1,50	1,20	1,30	.
Magnésio % (m/m)	0,67	0,22	2,70	1,00	0,82	1,30	1,90	2,30	0,44	.
Enxofre % (m/m)	0,51	0,32	0,27	0,41	0,64	0,44	0,42	0,38	0,49	.
Ferro % (m/m)	2,60	4,00	2,50	3,10	2,30	1,70	2,10	2,00	2,60	.
Cobre mg kg ⁻¹	120	42	76	101	157	148	131	110	126	.
Zinco mg kg ⁻¹	601	81	445	546	1100	1000	867	695	834	.
Manganês mg kg ⁻¹	100	2600	767	1400	417	325	397	364	743	.
Sódio mg kg ⁻¹	602	161	721	480	549	500	541	537	497	.
Boro mg kg ⁻¹	20	25	8	14	29	22	33	15	15	.
CTC mmol/kg ⁻¹	377	562	333	528	575	560	515	503	593	.
CE** dS m ⁻¹	4,91	.	0,03	1,14	0,95	4,63	4,50	3,73	2,67	4,13

* Com correção da acidez utilizando 4% (m/m) de calcário dolomítico.

**Análises realizadas no laboratório de substratos da Fepagro.

Quanto ao potencial hidrogeniônico, o lodo de água apresentou valor adequado para a maioria das culturas (6,0). Já o LETE de Passo Fundo que inicialmente apresentava apenas 3,4 de pH e indicava que, para o aproveitamento agrícola, seria obrigatoriamente necessária sua correção, após incubação com 4% de calcário passou a 5,6. A vermiculita também apresenta o pH dentro da média, apesar de ser acima do que é mencionado pelo fabricante. Por outro lado, a cinza de casca de arroz com pH 8,9 poderia, em princípio, ser utilizada como corretivo de pH, mas sabe-se que cada matéria-prima quando somada a outras, não correspondem a caracterização inicial. Observou-se nos resultados que os tratamentos que possuem maior proporção de CCA, em média não diferiram dos que possuem menor dosagem, apresentando pH entre 5,5 a 5,7 nos tratamentos propostos.

Nota-se que há uma diferença na caracterização do substrato comercial entre as duas épocas, sendo evidente nos macro e micronutrientes. Apesar de nas duas épocas ter-se utilizado amostras de uma mesma marca comercial, armazenada no mesmo local, estes podem ser oriundos de lotes diferentes, o que não é esperado em certificação sob padrão de qualidade. Por conseguinte, o substrato comercial utilizado na segunda época (Apêndice B) tem mais carga nutricional do que na primeira época (Apêndice A).

O LETE e o LETA apresentaram bons teores de nitrogênio (2,9 e 1,2%, respectivamente), similares a outros materiais orgânicos largamente utilizados na agricultura, como os esterco (MORSELLI, 2009; MARTINAZZO et al., 2015). O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das espécies vegetais (MALAVOLTA, 2006) e, normalmente o lodo de esgoto apresenta teores significativos de N, sendo utilizado até mesmo como fonte de nitrogênio (SILVA, 2015), inclusive podendo ser substituído 100% pelo adubo nitrogenado em cana-de-açúcar (CHIBA 2005; CHIBA, MATTIAZZO & OLIVEIRA e 2008). Entre os nutrientes responsáveis pela nutrição da cana-de-açúcar, é o elemento absorvido em maior quantidade, sendo a maior parte absorvido através do fluxo de massas (99%) e apenas 1% pela interceptação radicular (PRADO et al., 2005). Observa-se ainda valor similar à vermiculita, o que resultou em misturas com teores de N semelhantes ao substrato comercial.

Em relação aos teores de fósforo e potássio, o LETE, a cinza e a vermiculita apresentam teores relevantes destes nutrientes. Já os tratamentos propostos, comparando-se ao substrato comercial, apresentaram teores de fósforo inferior e em potássio se observa que ambos foram similares. Ludwig (2014) comenta sobre a problemática do fosforo, que mesmo podendo apresentar alto teor no substrato, a sua disponibilidade está intrínseca ao material, pois é um elemento que fica adsorvido às partículas tanto do solo como no substrato, e não se encontra prontamente disponível às plantas, sendo influenciado pelo pH do substrato. Tsutiya et al. (2002) afirmam que as concentrações de potássio são baixas nos lodos porque este elemento é altamente solúvel em água, portanto, o potássio fica no efluente líquido, separado no processo de tratamento do esgoto; entretanto, 100% desse nutriente que ainda assim fica retido no lodo, é considerado assimilável pelas plantas.

Conforme descrito no item 3.3.2.2., o LETE teve adição de calcário para adequação do pH, por isso o teor de cálcio diminuiu nos substratos com a diminuição da dose de lodo, considerando que as demais matérias-primas não apresentam teores significativos de Ca. Em função disso, o substrato comercial tendeu a apresentar maior teor de Ca que os demais tratamentos.

Para o magnésio, observa-se que o teor mais abundante se encontra na vermiculita, aferindo maior teor aos tratamentos com maior proporção deste componente, exceto no T5. O que é característico dela (UGARTE, SAMPAIO & FRANÇA 2008).

O LETE avaliado, do tipo anaeróbio apresenta teor elevado de enxofre (2,2%). De acordo com diversos autores (JORDÃO & PESSOA, 1995; CHAGAS, 2000; BETTIOL & CAMARGO, 2004; SÍGOLO & PINHEIRO, 2010), a presença de enxofre em lodos de esgoto encontra parte de sua origem creditada à vinculação com fezes, e compostos presentes nos detergentes sintéticos biodegradáveis. O principal fator é que, em condições anaeróbias, tipo de tratamento utilizado pela ETE Passo Fundo, os micro-organismos presentes oxidam sulfetos formando grânulos de enxofre elementar (SÍGOLO & PINHEIRO, 2010).

O teor de Cu manteve-se alto em todos os substratos com lodo, embora tende a diminuir com a diminuição da % de lodo. Já a concentração de Zn no substrato com maior proporção de LETE (T2) é equiparável a do substrato comercial. Segundo Jordão & Pessoa (2017), teores apreciáveis de Cu e Zn são geralmente encontrados em lodos de estações de tratamento de esgoto.

Para o teor de manganês, verifica-se que diminuiu nos substratos propostos com o aumento da porcentagem de LETE na mistura, indicando que sua ocorrência e aumento da concentração está vinculado com as demais matérias-primas, em especial a CCA, como pode ser verificado na caracterização química (1400 mg kg^{-1}). No caso do T6 (maior teor de Mn observado no tecido vegetal), o lodo de água é a principal fonte do elemento (2600 mg kg^{-1}),

A cinza de casca de arroz e a vermiculita apresentam, em geral, baixos teores de micronutrientes, exceto Zn, Fe e Mn, cujos teores são similares ou superiores ao lodo. Diferentemente, o LETE apresenta teores elevados de micronutrientes em sua composição, concordando com os autores Melo, Marques & Melo (2002), o que permite inferir que o lodo seja uma excelente fonte de micronutrientes para as

plantas. Ao contrário do LETE, o LETA apresenta baixos teores de macro e micronutrientes, tendo como principal destaque nesta matéria-prima a CTC (562 mmol kg^{-1}).

Com relação à CTC, o lodo de esgoto apresenta valor similar à vermiculita e, quando misturado com os demais materiais na formulação de substratos, os tratamentos demonstram estar dentro da média de alguns substratos comerciais como, por exemplo, aqueles a base de casca de pinus carbonizada e vermiculita com CTC de 352 mmol kg^{-1} (TRANI et al., 2007). De acordo com Fermino (2014), a capacidade de troca de cátions do substrato, quando alta, significa que o meio tem um alto poder tampão, o que evita variações de pH e reduz a perda de nutrientes por lixiviação. Mas a autora afirma que não há consenso de valores ideais inseridos em propriedades de substratos.

A medida de condutividade elétrica tem como função estimar o conteúdo de sais solúveis de um meio de crescimento. Os valores de CE geralmente são utilizados como indicadores do nível de nutrientes, na hipótese de que a maioria dos nutrientes são sais prontamente solúveis.

Segundo o IAC (LANDELL et al., 2012), para o meio de cultivo em mudas de cana-de-açúcar encontra-se na faixa de $0,76$ a $1,25 \text{ dS m}^{-1}$. Entretanto, podemos observar que todos os substratos formulados a base de lodo de esgoto encontram-se muito acima da faixa ideal, já o substrato comercial apresenta-se como ideal. Cabe salientar que valores de CE geralmente são utilizados como indicadores do nível de nutrientes, e sabe-se que o substrato comercial é mais pobre nutricionalmente em comparação aos substratos formulados a base de lodos de esgoto, o que realmente é demonstrado pelos valores de CE. Mas a questão nutricional em substratos para cana-de-açúcar ainda é incipiente, pois a reserva nutricional contida nos toletes é suficiente para o desenvolvimento da muda por cerca de 60 dias (LANDELL, 2012).

3.3.2. Ensaios preliminares

3.3.2.1. Definição da composição dos substratos a base de lodo de esgoto

Observou-se que os três tipos de substratos comerciais (1, 2 e 3) apresentam capacidade de retenção de água (CRA_{10}), densidade e distribuição granulométrica bastante distintas (Tabela 10). O substrato 1 apresentou a maior CRA, apesar de

apresentar granulometria mais grosseira que os demais (mais de 50% de suas partículas maiores que 2,0 mm). O substrato comercial 2 apresentou menor CRA e maior densidade, distribuição homogênea entre as faixas de granulometria abaixo de 4,76 mm. Já o substrato comercial 3 apresentou características intermediárias de CRA₁₀ e densidade, quando comparado aos outros dois substratos. Os três substratos apresentam mais de 50% de sua massa nas faixas granulométricas entre 4,76 e 1,00.

Pelo fato dos três substratos comerciais serem bem distintos entre si, optou-se por utilizar como padrão de referência para os substratos propostos neste estudo o produto comercial 2, por apresentar ampla utilização e aceitação na produção de mudas de cana-de-açúcar.

A CRA dos tratamentos contendo somente lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada (CAC), T1 a T3, e também os tratamentos contendo as misturas com lodo de água, T13 a T19 (LETA), foi muito aquém da CRA observada nos substratos comerciais. Em geral, quanto maior a percentagem de casca de arroz carbonizada adicionada ao substrato, menor é a capacidade do substrato de reter água. Esse fato também se repete nos tratamentos com LETA, sendo que os tratamentos com as maiores proporções de LETA foram os que apresentaram menor CRA. Isoladamente (T18 - 100% LETA) cada grama de LETA é capaz de reter somente 0,39 gramas de água. Esse resultado pode ser devido à granulometria utilizada no presente estudo (<3 mm), sendo possível que a utilização dessa matéria-prima finamente moída aumente sua capacidade de retenção de água. Por sua vez a cinza da casca de arroz (CCA), utilizada nas misturas contendo o LETA apresentou CRA de 2,33 g/g, porém não contribuiu significativamente para o incremento da retenção de água das misturas propostas (T13 a T17).

Os tratamentos contendo as misturas com LETE, vermiculita e CCA (T6 a T9) foram os que apresentaram CRA e distribuição granulométrica mais próximas da testemunha padrão (T12), exceto T7 que apresentou granulometria mais grosseira (64,9% maior que 2,0 mm) (Tabela 7). O lodo de esgoto (T4) apresenta CRA baixa, quando comparado aos substratos comerciais, o que justifica a diminuição da CRA de alguns dos substratos propostos (T6 a T9) com o aumento da proporção de LETE. Esses tratamentos (T6 a T9) foram selecionados para os testes com plantas, pois foram os que apresentaram CRA mais próxima à do substrato comercial

utilizado como referência. O T15 (75% LETE +12,5 LETA + 12,5% CCA), apesar da baixa CRA, foi selecionado entre os tratamentos contendo LETA para os testes com plantas, buscando comprovar os resultados obtidos em laboratório.

Em relação à granulometria, como citado anteriormente, o substrato comercial (T12) quando comparado aos demais tratamentos com formulações a base de lodo de esgoto apresentou granulometria distribuída equitativamente, e os tratamentos que apresentaram frações semelhantes ao T12 foram T6, T8, T9 e T15. A CCA (T11) apresentou predominância na fração $>4,76$ em 51% das partículas, e a vermiculita (T10) apresentou predominância na fração 4,75-2,0 em 96% de partículas, ambas indicam que houve predominância de frações maiores, o que também favorece a aeração do ambiente radicular, além de terem sido materiais com boa CRA.

O lodo de esgoto (T4), por ter passado por trituração prévia, apresentava 34% de suas frações em partículas menores, o que pode ser prejudicial se utilizado em grandes proporções na composição de substratos, pois a acomodação das partículas menores entre as maiores diminui a porosidade do material devido à sua acomodação e posterior “cimentação” do substrato. Para tal, a mistura do lodo com a vermiculita e/ou a cinza de casca de arroz parece ser favorável ao equilíbrio estrutural.

Abad (2001) sugere que um substrato ideal para produção de mudas deve ter densidade inferior a 400 kg m^{-3} , valor obtido apenas nos tratamentos T2 (com 75% de CAC) e T6 (com 33% de CCA + 33% de Vm). O substrato utilizado como referência neste estudo, apresenta o dobro da densidade sugerida por Abad (1993), ou seja, bem superior ao valor teórico considerado ideal. O substrato comercial 1 apresenta densidade baixa em sua composição de turfa + vermiculita (325 kg m^{-3}), fato que segundo Fermino (2003) é justificável, pois alguns substratos comerciais utilizam casca de Pinus e vermiculita como componentes, o que afere baixa densidade as formulações.

Tabela 10 - Capacidade de retenção de água (CRA), densidade e granulometria de substratos a base de LETE Passo Fundo.

Tratamento	CRA ₁₀ (g g ⁻¹)	DU Kg m ⁻³	----- Granulometria (mm) -----				
			>4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	<0,50
T1 (25%LETE+75%CAC)	0,84	347,01	26,74	17,41	23,79	14,84	17,14
T1 (50%LETE+50%CAC)	0,89	466,32	1,56	24,46	24,17	24,12	25,61
T3 (75%LETE+25%CAC)	0,97	562,97	1,07	27,52	22,44	20,65	28,21
T4 (100%LETE)	1,11	722,15	1,87	24,15	21,10	18,07	34,15
T5 (Substrato comercial-1)	3,03	325,14	1,33	52,69	31,65	12,61	1,56
T6 (33%LETE+33%Vm+33%CCA)	1,60	381,24	0,58	22,82	34,37	19,94	21,97
T7 (50%LETE+25%Vm+25%CCA)	1,39	428,38	0,52	64,37	5,68	11,52	17,51
T8 (75%LETE+12,5%Vm+12,5%CCA)	1,23	537,57	0,55	20,49	24,91	22,31	31,61
T9 (87,5%LETE+6,25%Vm+6,25%CCA)	1,13	573,89	0,61	26,49	28,08	23,48	21,04
T10 (100%Vermiculita)	2,41	198,01	0,03	96,26	2,08	0,91	0,72
T11 (100%CCA)	2,33	188,77	50,87	1,16	6,94	23,64	17,39
T12 (Substrato comercial-2)	1,81	828,33	2,96	25,79	25,12	21,87	24,15
T13 (33%LETE+33%LETA+33%CCA)	0,68	650,36	0,32	13,33	38,27	29,92	18,29
T14 (50%LETE+25%LETA+25%CCA)	0,78	663,40	0,61	12,75	29,51	27,96	29,07
T15 (75%LETE+12,5%LETA+12,5%CCA)	0,87	642,39	3,24	21,24	26,82	24,49	24,06
T16 (87,5%LETE+6,25%LETA+6,25%CCA)	0,86	644,57	0,86	25,60	22,51	25,20	25,76
T17 (50%LETA+50%CCA)	0,66	678,46	0,02	0,77	34,81	35,41	29,03
T18 (100%LETA)	0,39	1012,80	0,00	2,80	40,60	31,10	25,50
T19 (50%LETE+50%LETA)	0,64	872,67	0,00	10,00	41,20	24,90	23,60
T20 (Substrato comercial-3)	2,07	580,91	3,80	36,20	22,40	18,40	18,90

3.3.2.2. Adequação do pH do lodo da ETE de Passo Fundo

O pH do lodo de esgoto da ETE de Passo Fundo aumentou com as doses de calcário dolomítico testadas ao longo do período experimental (135 dias). Contudo, apenas a dose de 4 % atingiu o pH 5,5 a partir dos 14 dias de incubação com calcário. Este valor de pH é considerado adequado para as culturas que, em geral, varia entre 5,4 a 6,8 de acordo com cada cultivo (BAILEY et al., 2002; KAMPF, 2000). O pH neste tratamento (4 % de calcário) apresentou um aumento até o 39º dia atingindo pH 6,0, tendo um ligeiro declínio ao 46º dia e oscilando até 91 dias, mantendo-se em equilíbrio após esse período até o final do período de avaliação do experimento (Figura 8).

Como a cultura a ser utilizada nos testes agrícolas é a cana-de-açúcar e o pH adequado para seu desenvolvimento é 6,0 (CQFS RS/SC, 2016), a dose de 4% (m/m) de calcário dolomítico foi selecionada para os estudos posteriores. Cabe salientar que o objetivo deste ensaio de incubação foi exclusivamente a correção do pH do LETE e não sua higienização e estabilização, pois este processo foi realizado

previamente através de digestão anaeróbia e secagem em leitos pavimentados, durante um período mínimo de três meses e, posteriormente, secagem adicional em estufa agrícola por no mínimo 30 dias. A higienização e estabilização do lodo utilizando agentes alcalinizantes (cal virgem ou hidratada), conhecido como caleação prevê a elevação do pH até pelo menos 12,0 por um período mínimo de duas horas (CONAMA, 2006).

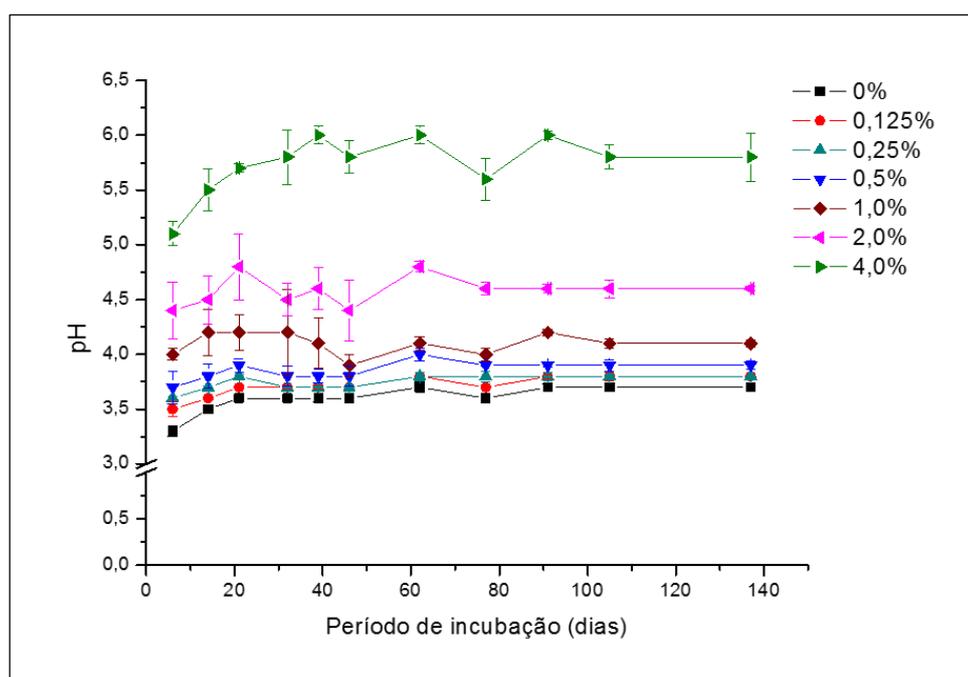


Figura 8 - pH do lodo da ETE de Passo Fundo durante 135 dias de incubação com doses crescentes de calcário dolomítico.

3.3.3. Caracterização dos substratos selecionados

As densidades (úmida e seca) foram significativamente influenciadas pela composição dos substratos avaliados (Tabela 9).

Os valores de densidade úmida nos substratos a base de LETE variaram de 575 (T5) a 835 Kg m^{-3} (T6). Os maiores valores de densidade úmida foram encontrados nos tratamentos T2 (808 Kg m^{-3}) e T6 (835 Kg m^{-3}). Já, o menor valor de DU foi observado no tratamento T5 (575 Kg m^{-3}), sendo este composto por parte iguais de LETE, CCA e vermiculita. Esta menor densidade úmida apresentada pelo T5 já era esperada devido à baixa densidade úmida apresentada pela CCA e pela vermiculita (Figura 9). Em relação a densidade seca (DS), os substratos a base de LETE variaram de 321 (T5) a 515 kg m^{-3} (T6). Pode-se observar na Figura 9 que há uma tendência de aumento dos valores de DU e DS à medida que aumentam as

proporções de LETE nos substratos. Esses resultados vão ao encontro dos obtidos na caracterização destes materiais, que indicaram densidades mais elevadas em comparação à cinza de casca de arroz e à vermiculita. As maiores DU e DS apresentadas pelo tratamento T6, possivelmente foram influenciadas pela proporção de LETE inserida na composição deste tratamento, devido ao fato do LETE ser essencialmente composto de material mineralrico em argilas aumentando, conseqüentemente, a densidade deste tratamento.

Para a cultura da cana-de-açúcar, que de maneira geral utiliza tubetes (com 5 cm de diâmetro e 15 cm de altura), a DS considerada ideal seria de 250 a 400 kg m⁻³, conforme sugerido por Kämpf (2005) e Fermino (2002) para vasos de até 15 cm de altura. Desta forma, apenas o tratamento T5 (321 kg m⁻³) estaria dentro desta faixa considerada ideal bem como, o substrato comercial (testemunha). Embora ocorram diferenças consideráveis entre os tratamentos avaliados, em geral, observa-se que menores doses de LETE nos substratos propiciam menores densidades.

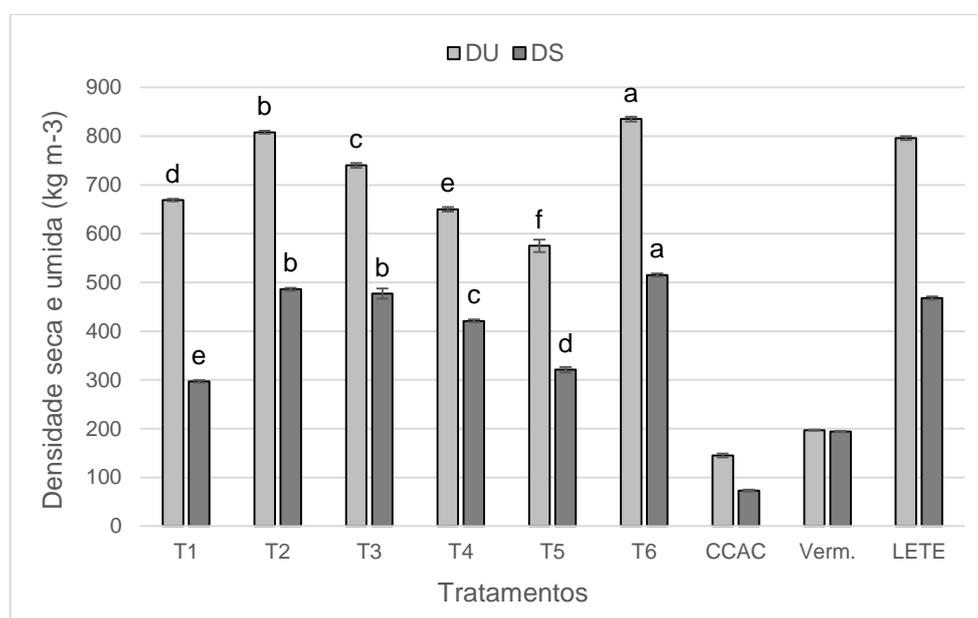


Figura 9 – Densidade úmida (DU) e seca (DS) em substratos a base de lodo de esgoto (LETE) de Passo Fundo e demais matérias-primas.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

LETE – Lodo de esgoto da ETE Passo Fundo/RS; Verm – vermiculita; CCA - cinza da casca de arroz; T1 – Substrato comercial; T2 - 87,5% LETE + 6,25% CCA + 6,25% Verm; T3 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Verm; T4 - 50% LETE + 25% CCA + 25% Verm; T5 - 33% LETE + 33% CCA + 33% Verm; T6 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Lodo de água de Santa Maria.

As características físico-hídricas não foram significativamente influenciadas pela composição dos substratos avaliados, onde todos os substratos propostos não se diferenciaram estatisticamente do substrato comercial (Figura 10).

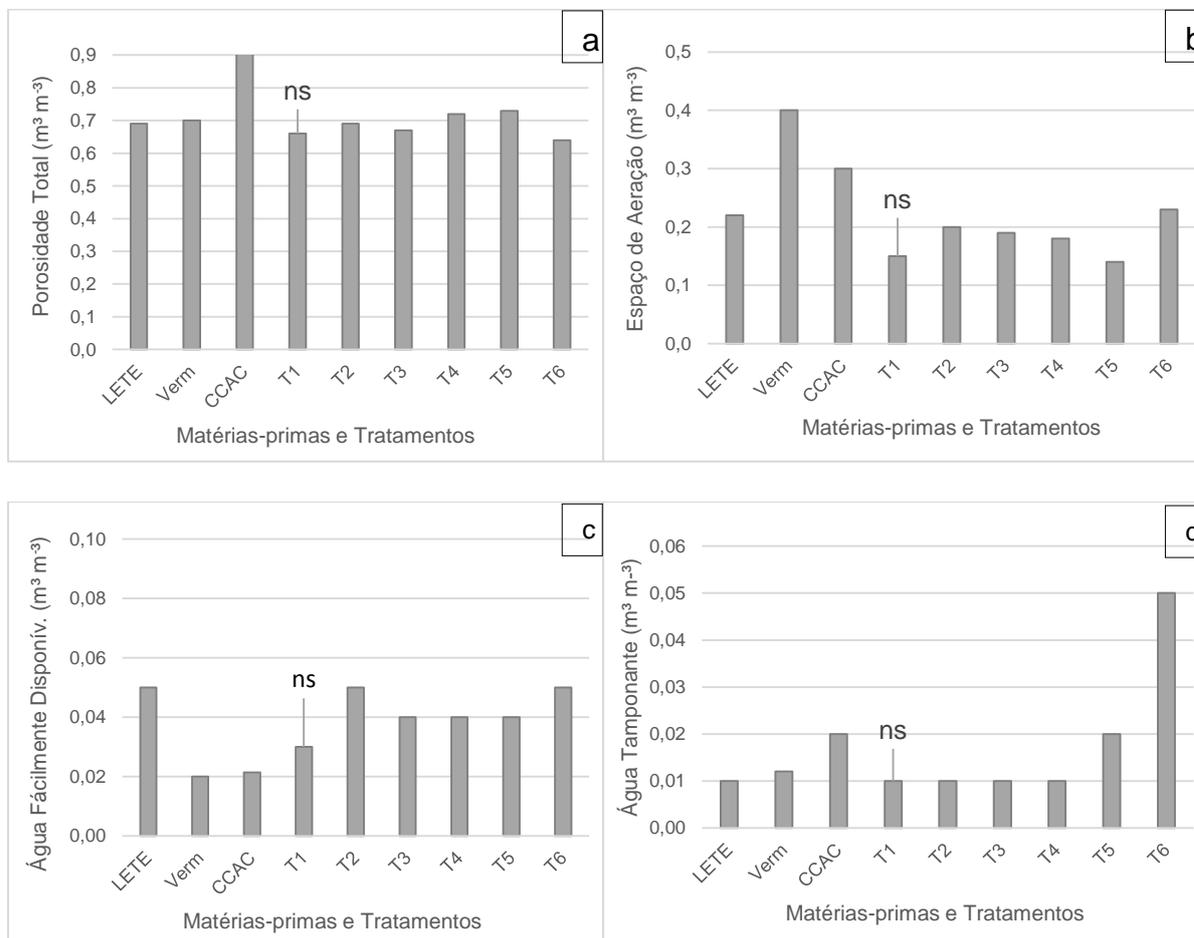


Figura 10 - Porosidade Total (a), Espaço de Aeração (b), Água Facilmente Disponível (c) e Água Tamponante (d) em substratos a base de lodo de esgoto e demais matérias-primas.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

LETE - Lodo de esgoto; Verm - vermiculita; CCA - cinza da casca de arroz; T1 - Substrato comercial; T2 - 87,5% LETE + 6,25% CCA + 6,25% Verm; T3 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Verm; T4 - 50% LETE + 25% CCA + 25% Verm; T5 - 33% LETE + 33% CCA + 33% Verm; T6 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Lodo de água de Santa Maria.

Entretanto, esta porosidade obtida pela CCA possivelmente seja composta, na sua grande maioria por microporos, o que juntamente com o LETE confere alta capacidade de retenção de água para substratos formulados com estas matérias-primas.

Este fato pode ser confirmado através da curva de retenção de água dos substratos (Figura 11), na qual pode-se observar que os substratos com LETE apresentaram maior volume de água retido quando comparados ao substrato comercial (T1), ficando dentro da faixa considerada ideal por Boodt & Verdonck (1972) para CRA que sugeriram de 20 a 80% para substratos hortícolas.

Na figura 10b, pode-se observar que o menor valor de espaço de aeração (EA) ($0,14 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) foi obtido no substrato com a menor proporção de LETE (T5). Já, o maior EA foi obtido no substrato T6 (EA= $0,23 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$). BOODT & VERDONCK (1972) consideram como ideal um EA entre $0,20$ a $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o que não foi verificado nos tratamentos avaliados neste estudo.

Em relação a água facilmente disponível (AFD) (Figura 10c), pode-se observar que os substratos T2 e T6 foram superiores aos demais substratos avaliados. Esta maior AFD apresentada por estes dois substratos possivelmente seja devido à alta capacidade de retenção de água do LETE visto que, este ocupa a maior proporção dos materiais que compõem dos referidos tratamentos. Acredita-se também, que haja uma influência do LETA no substrato T6, pois este é composto principalmente por partículas muito finas de argilas as quais possuem grande capacidade de retenção de água. Fermino (2014) e Boodt & Verdonck (1972) sugerem como faixa ideal para AFD uma retenção entre 20 e 30% assim, somente o substrato comercial (testemunha), com AFD=30%, estaria nesta faixa.

Para proporcionar boas condições de brotação das gemas de cana-de-açúcar, Xavier (2014) recomenda substratos que retenham em torno de 30% a 40% de AFD. Dentre os substratos aqui analisados, T3, T4 e T5 encontram-se na faixa adequada para produção de mudas de cana-de-açúcar, no entanto, cabe salientar que o manual que discorre sobre produção de mudas de cana-de-açúcar foi baseado em estudos realizados no Instituto Agrônomo de Campinas/SP, onde as temperaturas são mais elevadas e a umidade é baixa em comparação ao local em que estes substratos foram testados (RS), pelo fato de geralmente apresentar temperaturas mais amenas que diminui a perda de água pelas trocas com o meio.

De acordo com Zorzeto et al. (2014) os valores baixos de água facilmente disponível podem inibir o crescimento vegetativo das mudas, contudo, nos experimentos explanados no próximo capítulo, isso não foi verificado. Provavelmente, os baixos valores de AFD neste estudo não foi fator impeditivo do crescimento das mudas em função de o sistema de irrigação utilizado ser por capilaridade, onde as mudas foram cultivadas em sistema floating, mantendo o substrato sempre em condições hídricas ótimas.

A água tamponante (AT), segundo Cadahia (1998), possui nível ótimo entre $0,04$ a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Desta forma, todos os tratamentos apresentaram resultados

dentro desta faixa considerada ótima por este autor (Figura 11d), portanto, estes proporcionariam um possível suprimento hídrico às plantas nele estabelecidas caso haja stress hídrico. Entretanto, se utilizado sistema floating, a informação sobre AT torna-se pouco relevante.

Tabela 11 – Capacidade de retenção de água (v/v) (0, 10, 50 e 100 cm da coluna d'água) em substratos a base de lodo de esgoto e demais matérias-primas.

Tratamentos e matérias-primas	0	10	50	100
T1 (substrato comercial)	0,66 ns	0,50 ab	0,47 ab	0,46 ab
T2 (87,5% LETE + 6,25% CCA + 6,25% Verm)	0,69	0,49 ab	0,44 ab	0,43 ab
T3 (75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Verm)	0,67	0,48 ab	0,44 ab	0,43 ab
T4 (50% LETE + 25% CCA + 25% Verm)	0,72	0,54 ab	0,50 ab	0,48 ab
T5 (33% LETE + 33% CCA + 33% Verm)	0,73	0,59 a	0,55 a	0,54 a
T6 (75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% LETA)	0,64	0,41 b	0,36 b	0,31 b
LETE (lodo de esgoto Passo Fundo)	0,69	0,48	0,42	0,41
VERM (vermiculita)	0,70	0,66	0,64	0,52
CCA (cinza de casca de arroz)	0,90	0,87	0,85	0,83

*Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

LETE – Lodo de esgoto; Verm – vermiculita; CCA - cinza da casca de arroz; T1 – Substrato comercial; T2 - 87,5% LETE + 6,25% CCA + 6,25% Verm; T3 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Verm; T4 - 50% LETE + 25% CCA + 25% Verm; T5 - 33% LETE + 33% CCA + 33% Verm; T6 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Lodo de água de Santa Maria.

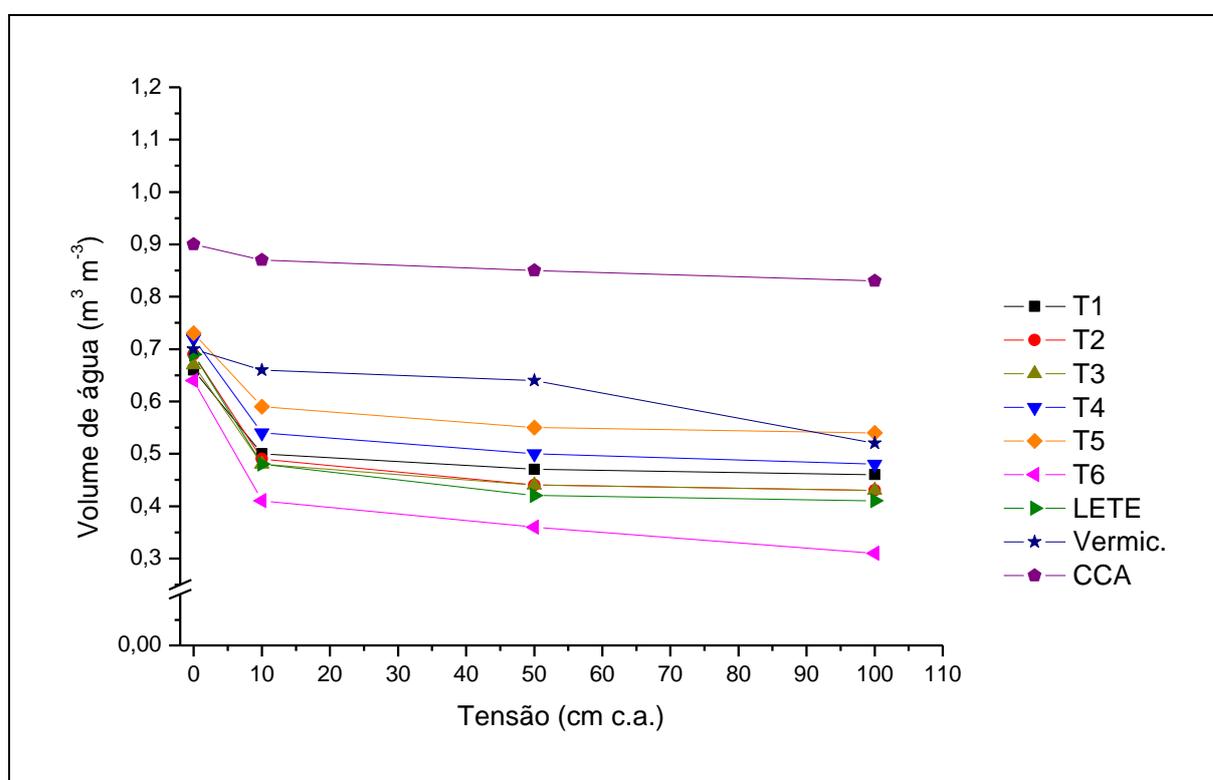


Figura 11 -- Curva de retenção de água (CRA) em substratos a base de lodo de esgoto da ETE Passo Fundo (PF) e demais matérias-primas.

LETE – Lodo de esgoto; Vermic – vermiculita; CCA - cinza da casca de arroz; T1 – Substrato comercial; T2 - 87,5% LETE + 6,25% CCA + 6,25% Verm; T3 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Verm; T4 - 50% LETE + 25% CCA + 25% Verm; T5 - 33% LETE + 33% CCA + 33% Verm; T6 - 75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% Lodo de água de Santa Maria.

Houve diferenças significativas entre os substratos estudados em relação à retenção de água nas tensões de 10, 50 e 100 cm de coluna de água; para a tensão 0 não houve diferença significativa (Figura e Tabela 11).

Nas tensões de 10 a 100 a que os substratos foram submetidos, observou-se que o T5 (33% LETE + 33% CCA + 33% Verm) apresentou maior retenção de água que os demais e o T6 (75% LETE + 12,5% CCA + 12,5% LETA) apresentou menor CRA. Desta forma, observa-se que doses com maiores proporções de LETE diminuem a CRA dos substratos, logo a inserção de vermiculita e cinza de casca de arroz na composição de substratos corrobora para uma melhor retenção de água.

3.4. Conclusões

As concentrações dos metais pesados e agentes patogênicos presentes no lodo da ETE de Passo Fundo encontram-se abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação vigente, portanto é ambientalmente segura a aplicabilidade deste resíduo como matéria-prima para composição de substrato para produção de mudas de cana-de-açúcar.

Os substratos desenvolvidos neste estudo, a base de lodo de esgoto, cinza da casca de arroz e a vermiculita apresentam características químicas e físico-hídricas adequadas para à produção de mudas.

4. CAPITULO II

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MUDAS DE CANA-DE-AÇÚCAR CONDUZIDAS EM SUBSTRATOS A BASE DE LODO DE ESGOTO

4.1. Introdução

O Brasil lidera a produção mundial de cana-de-açúcar (BRASIL, 2014; FAO, 2014), no entanto a disponibilidade de área para expansão da cultura está cada vez mais escassa e a situação econômica do país induz à procura de sistemas com custos de produção mais baixos e canaviais mais produtivos (WIEDENFELD & ENCISO, 2008).

A produção das mudas para a implantação do canavial constitui fase importante do processo produtivo, pois o transplante de mudas saudáveis pode aumentar a produtividade da cultura de 10 a 30% e a longevidade dos canaviais em 30% (LEE et al., 2007).

O setor sucroalcooleiro vem constantemente buscando alternativas para melhorar o sistema de produção da cana-de-açúcar e verificou que o sistema de mudas pré-brotadas pode ser uma nova alternativa de multiplicação de mudas saudáveis (GOMES, 2013). Para isto, justifica-se a importância de condução de pesquisas visando o desenvolvimento de substratos de qualidade para a produção de mudas mais vigorosas e com raízes bem dispostas, refletindo bom desenvolvimento inicial das mudas após transplante e na homogeneidade do canavial.

Na seleção de materiais para uso como componentes de substratos, algumas propriedades como a capacidade de retenção de água e a porosidade são relevantes, o que permitirá o equilíbrio entre a retenção e a liberação da água e dos nutrientes, a aeração, a adequação do pH e a baixa densidade, importante para diminuir os custos de transporte (KÄMPF, 2004).

Diversos materiais podem ser utilizados na formulação de substratos, que além de contribuir para a redução do impacto dos mesmos ao meio ambiente também proporcionam redução de custo, quando disponíveis na região do produtor; Aferri et al. (2016) citam que tanto para os pequenos produtores de cana-de-açúcar quanto para as usinas, ter o controle de qualidade na produção de mudas pré-brotadas é fundamental, especialmente na condução de viveiros com baixo custo de produção.

Estudos demonstraram a viabilidade de uso do lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE) como matéria-prima na formulação de substratos para mudas florestais (SCHEER et al., 2010; SCHIRMER, 2010; ROCHA et al., 2013; SANTOS et al., 2014). Além de apresentar boa capacidade de fornecimento de nutrientes para as mudas, o LETE pode contribuir significativamente no aumento da CR pelo aumento da porosidade do substrato (GUERRINI & TRIGUEIRO, 2004) responsável pela disponibilidade de água as plantas.

Contudo, a definição da proporção adequada deste material na composição do substrato é fundamental, pois quando em excesso pode restringir a aeração, aumentar demasiadamente a densidade do substrato e, em alguns casos, ocasionar toxidez às plantas por elementos que estejam presentes em excesso. Por outro lado, baixas proporções podem limitar os benefícios do LETE à nutrição das mudas. Ambas as situações podem ter impactos negativos no desenvolvimento das mudas, restringindo a adoção do LETE como componente de substratos. Sendo assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho agrônômico de mudas de cana-de-açúcar em substratos desenvolvidos a base de LETE.

4.2. Materiais e métodos

Os ensaios de eficiência agrônômica dos substratos a base de LETE-PF, foram instalados em duas épocas, compreendendo o período de outono/inverno e o período de verão.

Ambos experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Sede da Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas/RS. Os plantios foram realizados através da utilização de minitoletes, seguindo a metodologia adaptada de Landell et al. (2012). Os genótipos utilizados foram RB867515 (ciclo tardio) e RB966928 (ciclo

precoce), os quais são recomendadas para o plantio no Rio Grande do Sul (SILVA et al., 2012).

Foram utilizadas gemas individuais do colmo de canas maduras (Figura 12a e 12b) coletadas nos campos experimentais da Sede da Embrapa Clima Temperado no mesmo dia da implantação do experimento, as quais foram plantadas individualmente em tubetes (Figura 12c) e acoplados em bandejas com capacidade de 54 furos. A irrigação dos toletes deu-se por capilaridade através da alocação de bacias com água embaixo de cada bandeja evitando a translocação de resíduos entre os tratamentos.



Figura 12 - Preparo dos minitobetes de cana-de-açúcar para produção de mudas sob sistema de mudas pré-brotadas. Gema do genótipo RB867515 (a); Gema do genótipo RB966928 (b); minitobetes dispostos individualmente em tubetes (c).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva.

Cada bandeja de 54 tubetes (Figura 13f) recebeu um tipo de substrato e os dois genótipos de cana, ou seja, 27 receberam o genótipo RB867515 e 27 o genótipo RB966928 (Figura 13e). Aos 50 dias após o plantio, momento em que as mudas estariam aptas ao transplante, deu-se as seguintes avaliações agrônômicas:

- a) Percentagem de brotação (% Brotação): Após a implantação do experimento realizou-se diariamente a contagem dos toletes brotados. Cada plântula recebeu uma denominação de um a 27 e a cada brotação se anotava a referida data, portanto, para esta avaliação, todas as plantas foram contabilizadas, calculando-se ao final a percentagem de brotação total da parcela e o início (dias) da brotação por planta (Figura 13a).
- b) Número de folhas (NF): Contagem das folhas definitivas abertas. Quando a folha central ainda estava enrolada não era somada.

- c) Diâmetro do colo (DC): Com o auxílio de um paquímetro digital, mediu-se o diâmetro do colo da planta rente nível do substrato (Figura 13b).
- d) Altura da parte aérea (Altura PA): Com o auxílio de uma fita métrica mediu-se a planta desde a base (rente ao nível do substrato) até o ápice da última folha (Figura 13c).
- e) Comprimento de raiz (CR): Com o auxílio de uma fita métrica mediu-se a raiz desde a base (rente ao substrato) até a ponta da raiz mais longa (Figura 13d).
- f) Peso fresco e seco da parte aérea e da raiz: Após as medições a parte aérea foi separada da raiz e pesada, fornecendo a massa fresca da parte aérea (MFPA). As raízes foram cuidadosamente separadas do substrato, lavadas em água corrente e posteriormente pesadas em balança de precisão na mesma data, sendo esta considerada a massa fresca de raiz (MFR). Posteriormente, as partes aéreas e as raízes foram colocadas em pacotes de papel, identificadas e alocadas em estufa com temperatura ~60°C até obtenção de massa constante e então pesadas em balança de precisão, constituindo a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), respectivamente.
- g) Índice de qualidade de Dickson (IQD): Determinado em função da Altura PA (cm), do DC (mm), da MSPA (g) e da MSR (g), por meio da seguinte fórmula:
$$IQD = MS_{total} / [(Altura\ PA/DC) + (MSPA/MSR)]$$
 (DICKSON et al., 1960), sendo MS_{total} a soma da MSPA e da MSR.
- h) Teor de nutrientes na MSPA e MSR: As raízes e a parte aérea das mudas de cana-de-açúcar, após passarem por secagem e trituração, foram encaminhadas à Central Analítica da Embrapa Clima Temperado para determinação dos teores de macro e micronutriente.



Figura 13 - Avaliações agrônômicas realizadas nas mudas de cana-de-açúcar cultivadas em substratos a base de lodo de esgoto. Avaliação da data de início e percentagem de brotação (a); diâmetro do colo (b); altura da parte aérea (c); comprimento de raiz (d); tubetes com os toletes dos acoplados à bandeja experimental (e); linhas centrais de cada genótipo avaliadas nos experimentos (f).

Fotos: Mariana Teixeira da Silva.

Os substratos retirados dos tubetes e que estavam aderidos às raízes das mudas foram encaminhados para o Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para determinação dos teores de macro e micronutrientes, teor de carbono orgânico, alumínio e sódio total, umidade, pH, densidade, CTC e capacidade de retenção de água. O referido laboratório utiliza as seguintes metodologias: potenciometria para determinação do pH (relação amostra:água 1:5), método da combustão úmida/Walkey Black para carbono, Kjeldahl para nitrogênio e digestão úmida nítrico-perclórica e quantificação por ICP-OES para os demais elementos.

4.2.1 Experimento do período outono/inverno

Os tratamentos selecionados para este estudo foram definidos a partir dos testes preliminares descritos no item 5.2.2.1, utilizando como parâmetro de referência a variável CRA_{10} . Foram selecionados os quatro tratamentos que apresentaram CRA_{10} mais próxima ao substrato comercial e um tratamento contendo LETA. O substrato comercial 2 (Tabela 5) foi selecionado como referência em todos os experimentos do presente estudo por apresentar ampla demanda e aceitação pelos produtores de mudas da região Sul do RS.

O delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e seis tratamentos (Tabela 11), sendo cada repetição composta por 27 mudas de cana-de-açúcar de cada genótipo.

Para a produção das mudas foram utilizadas gemas individuais coletadas na parte mediana do colmo de plantas com 10 meses de idade.

O experimento foi implantado no dia 16 de março de 2016 e avaliado aos 50 dias após o plantio dos minitoletes. Cabe salientar que previamente à implantação deste experimento, o lodo foi incubado com calcário dolomítico na dose de 4% (m/m) durante 30 dias com umidade de 50% da CRA. A dose de calcário foi definida previamente, conforme o item 5.3.2.2.

Tabela 12 - Composição dos substratos a base de lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE) avaliados no período outono/inverno para produção de mudas de cana-de-açúcar. Pelotas/RS, 2016.

Tratamento	LETE	Cinza de casca de arroz	Vermiculita	LETA
	----- % -----			
T1	--	--	--	--
T2	87,5	6,25	6,25	--
T3	75,0	12,5	12,5	--
T4	50,0	25,0	25,0	--
T5	33,0	33,0	33,0	--
T6	75,0	12,5	--	12,5

A análise dos resultados das variáveis discretas (dias para brotar e número de folhas) foi realizada utilizando-se modelos lineares generalizados com auxílio do software SAS versão 9.2. As demais variáveis foram submetidas à análise de variância e, quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey à 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o software R versão 2.15.1.

4.2.2 Experimento do período verão

Neste experimento, além da época de implantação, o delineamento experimental utilizado e a seleção das gemas foram diferentes, pois o experimento conduzido no período de outono/inverno demonstrou a necessidade de se fazer alguns ajustes para diminuir as fontes de variação do experimento, a fim de evidenciar estatisticamente as diferenças visuais observadas entre os tratamentos.

Os tratamentos selecionados para este estudo (Tabela 13) foram os mesmos utilizados nos experimentos do período inverno/verão, exceto o tratamento contendo LETA, que foi excluído por não ter apresentado resultados satisfatórios.

Tabela 13 - Composição dos substratos dos experimentos de verão a base de lodo de esgoto para produção de mudas de cana-de-açúcar. Pelotas/RS, 2016.

Tratamento	LETE	Cinza de casca de arroz	Vermiculita
	----- % -----		
T1	--	--	--
T2	87,5	6,25	6,25
T3	75,0	12,5	12,5
T4	50,0	25,0	25,0
T5	33,0	33,0	33,0

O experimento foi implantado no dia 06 de dezembro de 2016 e avaliado aos 50 dias após o plantio dos minitoletes. Assim como realizado no experimento do outono/inverno, este lodo foi incubado com calcário dolomítico na dose de 4% (m/m) durante 30 dias com umidade de 50% da capacidade de retenção de água previamente a implantação deste experimento.

O delineamento experimental dos experimentos de verão foi quadrado latino com cinco repetições e cinco tratamentos, sendo considerada a variável de controle local luminosidade na coluna e idade da gema na linha.

Para a seleção das gemas, os colmos de canas com 18 meses foram subdivididos em cinco partes, cada parte com duas gemas (Figura 14), sendo as gemas dos toletes mais velhos (mais próximos ao solo) alocadas nas caixas da quinta repetição e as gemas de toletes mais novos (mais próximos ao ápice da planta) utilizadas na primeira repetição. Este procedimento foi realizado com o objetivo de minimizar o efeito da heterogeneidade de brotação, observado nos experimentos do período outono/inverno.

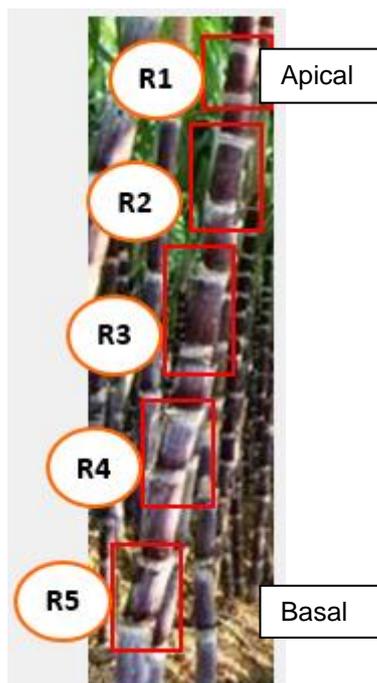


Figura 14 – Seleção das gemas para produção das mudas de cana-de-açúcar, sendo as gemas alocadas nas respectivas repetições (R) de acordo com sua posição no colmo da planta.

Os resultados das variáveis avaliadas neste estudo foram submetidas à análise de variância e, quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey à 5% de probabilidade de erro; e quando não observadas normalidades, as médias foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal Wallis, utilizando-se o software R versão 2.15.1.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Experimento do período outono/inverno

Na tabela 14 pode-se observar o desempenho das mudas de cana-de-açúcar nos substratos contendo as diferentes proporções de lodo de esgoto da ETE (T2 ao T6), quando comparadas ao substrato comercial (T1).

Os tratamentos T3 e T6 para o genótipo 1 (RB867515) apresentaram brotação significativamente mais tardia do que T4 e T5, o que não é interessante para o sistema de produção de mudas. Já o genótipo 2 (RB966928) apresentou início da brotação variando de 11 a 16 dias, sendo que apenas T2 e T3 foram similares ao substrato comercial, os demais apresentaram brotação mais tardia. Ambos genótipos demonstraram tendência do T6, com lodo de água, apresentar a brotação mais tardia que os demais tratamentos, sugerindo que esta matéria-prima, na proporção e granulometria utilizadas, pode ter conferido ao substrato

características desfavoráveis à brotação das gemas, o que foi demonstrado também pela menor percentagem de gemas brotadas. Possivelmente esse efeito ocorra em função da alta densidade deste substrato quando umedecido, causando o efeito cimentante no meio, que dificulta a aeração e a troca de ar entre o meio interno e externo. Além disso, os altos teores de ferro e manganês presentes no LETA (Tabela 9) podem ter causado algum efeito tóxico nas plantas, embora visualmente não tenham sido identificados sintomas típicos de fitotoxidez.

Quanto à percentagem de brotação, todos os tratamentos se igualaram à testemunha (substrato comercial), porém os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram maior percentagem de brotação se comparados ao T6 que, por sua vez, não diferiu do tratamento 2. Embora as diferenças não tenham sido significativas quando comparados os substratos propostos e o comercial, observou-se tendência dos substratos T3, T4 e T5 propiciar maior efetividade na brotação, ou seja, apresentaram maior percentagem de gemas brotadas. Estes dados são relevantes, pois a diferença de 77% (substrato comercial) para 85-89% (T3, T4 e T5) na percentagem de brotação tem reflexos econômicos ao viveirista, que trabalha com produção de mudas, ou mesmo ao agricultor, que produz mudas para transplante de seu canavial. Para as variáveis número de folhas e diâmetro do colo, não foram observadas diferenças significativas.

A altura da parte aérea e o comprimento de raiz não apresentaram diferenças significativas entre os substratos avaliados, porém houve diferença entre os genótipos, sendo que RB867515 apresentou maior altura da parte aérea e comprimento de raiz quando comparado ao genótipo RB966928. Cabe ressaltar novamente que embora estatisticamente não significativo, os tratamentos T4 e T5, especialmente para o genótipo RB867515, apresentaram mudas maiores e com raízes mais longas do que os demais tratamentos.

Para o acúmulo de biomassa fresca na parte aérea pode-se observar que o tratamento à base de lodo de água (T6) foi significativamente inferior à T4 e T5, porém não diferiu dos demais tratamentos, assim como não houve diferenças significativas entre os tratamentos propostos e o substrato comercial (T1). Contudo, tal comportamento não foi observado com as demais variáveis analisadas (MSPA, MFR e MSR), em que não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

O índice de qualidade de Dickson (IQD), que leva em consideração diversas características morfológicas importantes para a obtenção de mudas de qualidade, não apresentou diferenças significativas entre os substratos avaliados. Apesar disso, observou-se uma tendência que, juntamente com os resultados observados para outras variáveis discutidas anteriormente neste trabalho, permite indicar tratamentos com comportamentos extremos em relação ao substrato comercial. Neste sentido T6 apresentou os piores resultados e T4 e T5 respostas satisfatórias. Essas diferenças também foram observadas visualmente no experimento (Figura 15 e 16).

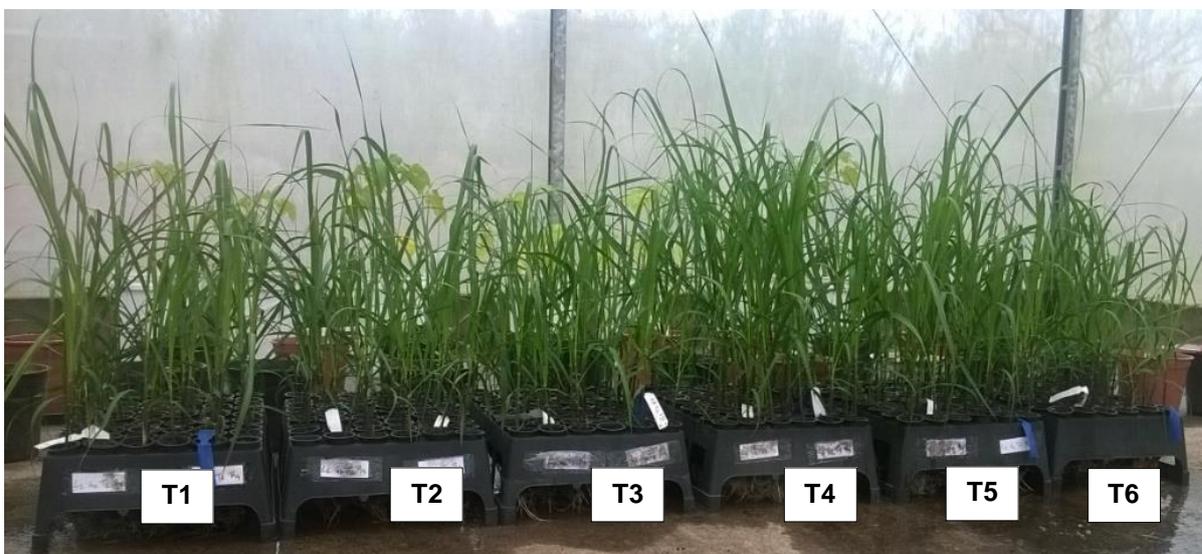


Figura 15 - Vista frontal da parte aérea de mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT para os substratos avaliados.

T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% vermiculita + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% vermiculita + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% vermiculita + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% vermiculita + 33% CCA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA.



Figura 16 – Comportamento das raízes de mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT de acordo com os substratos avaliados.

T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% vermiculita + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% vermiculita + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% vermiculita + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% vermiculita + 33% CCA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA.

Tabela 14 – Dias para brotar após o plantio do tolete (DAPT), porcentagem de brotação (% Brot.), número de folhas (N° F.), diâmetro do colo (Θ do colo), altura da parte aérea (Al. PA), comprimento de raiz (C. R.), massa fresca da parte aérea por planta (MFPA), massa seca da parte aérea por planta (MSPA), massa fresca da raiz por planta (MFR), massa seca da raiz por planta (MSR), e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT no período de outono/inverno em diferentes substratos a base de lodo da Estação de Tratamento de esgoto de Passo Fundo.

Trat.	DAPT		% Brot.	N° F.	Θ Colo		Al. PA		C. R.		MFPA	MSPA	MFR	MSR	IQD
	RB867515	RB966928			mm		cm		cm						
T1	12 abA	10,9 bA	77,3 ab	4,6 ns	8,1 ns	7,6 ns	69,3 ns	61,4 ns	29,3 ns	32,0 ns	8,1 ab	1,14 ns	3,87 ns	0,47 ns	0,136 ns
T2	12 abA	12,2 bA	77,2 ab	4,3	6,9	7,1	65,5	65,1	23,7	26,4	6,7 ab	1,03	3,20	0,41	0,124
T3	13 aA	13,8 abA	86,1 a	4,1	8,1	7,0	73,7	63,5	23,4	28,2	7,4 ab	1,09	4,25	0,51	0,122
T4	11 bB	14,6 aA	88,9 a	4,2	9,0	7,6	85,0	68,7	30,2	29,5	8,6 a	1,22	3,82	0,51	0,134
T5	9,8 bB	14,7 aA	85,2 a	4,4	8,1	7,2	84,8	66,3	30,8	26,0	8,8 a	1,23	3,95	0,44	0,170
T6	13 aB	16,0 aA	68,1 b	4,1	6,7	5,9	61,8	62,1	22,3	23,2	5,3 b	0,78	2,57	0,37	0,092
Média	12	13,7	80,5	4,3	7,8 A	7,1 B	73,4 A	64,5 B	26,6 A	27,6 B	7,5	1,08	3,61	0,45	0,130
CV (%)					5,5	20,2	27,1	24,4	65,2	25,4	27,6	28,0	32,4	54,9	47,4

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% vermiculita + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% vermiculita + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% vermiculita + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% vermiculita + 33% CCA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA

Nas Tabelas 15 e 16 encontram-se os acumulados de nutrientes na massa seca da parte aérea e da raiz de mudas de cana-de-açúcar com 50 dias após o plantio do tolete. Os teores dos nutrientes encontram-se no Apêndice A.

Na MSPA, no genótipo RB867515 em geral todos os substratos propostos, exceto T6, apresentaram teores maiores ou iguais de N, P, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn quando comparados ao substrato comercial (T1). Pode-se notar também que entre os tratamentos propostos (T2 a T6) houve maior acúmulo de nutrientes nas mudas produzidas com os substratos T4 e T5. No genótipo RB966928, os macronutrientes (Tabela 15) não apresentaram dados significativos, entretanto os micronutrientes (Tabela 16) apresentaram maiores ou equiparáveis acúmulos nos substratos propostos se comparados ao comercial.

Importante salientar que era esperado, que os substratos com as maiores proporções de LETE originassem mudas com maior acúmulo dos nutrientes pela abundância nesta matéria-prima. Isso não foi observado, o que indica que outras características, provavelmente características físicas dos substratos, tenham limitado a absorção destes nutrientes nos tratamentos com maior proporção de LETE. No tratamento T6, com lodo de estação de tratamento de água, destaca-se o acúmulo elevado de manganês na MSPA, o que se deve ao alto teor total deste elemento no LETA (2600 mg kg⁻¹, Tabela 9).

Na MSR, não houve diferença significativa para ambos os genótipos em macronutrientes (Tabela 15), com exceção de Mg para RB867515 e P para RB966928. Nos micronutrientes (Tabela 16) todos os substratos propostos apresentaram resultados estatisticamente equiparáveis ou superiores ao substrato comercial. Assim como na parte aérea, na raiz o tratamento T6, destaca-se o acúmulo elevado de manganês no genótipo RB966928 (286 mg).

Tabela 15 - Acumulado de macronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período outono/inverno.

Trat.	N		P		K		Ca		Mg		S	
Matéria seca da parte aérea (mg)												
RB867515												
T1	52,8	ab	5,4	b	72,8	bc	23,9	ns	16,9	bc	12,3	bc
T2	55,6	ab	7,2	b	57,2	cd	18,8		22,3	ab	12,4	bc
T3	58,9	ab	7,5	b	68,6	cd	26,5		22,4	ab	13,7	bc
T4	62,5	ab	8,6	b	97,9	ab	23,8		25,0	ab	16,5	ab
T5	72,2	a	13,6	a	100,9	a	29,1		27,3	a	19,7	a
T6	40,7	b	4,6	b	44,5	d	19,0		11,2	c	9,0	c
RB966928												
T1	55,7	ns	12,5	ns	76,9	ns	24,3	ns	14,4	ns	11,7	ns
T2	69,3		7,8		69,0		21,1		19,1		12,5	
T3	55,5		9,1		59,8		20,5		16,0		9,5	
T4	52,9		11,6		85,5		25,2		20,0		11,3	
T5	53,2		9,4		68,9		15,6		14,7		9,3	
T6	53,7		8,8		51,4		25,4		12,2		9,3	
Matéria seca da raiz (mg)												
RB867515												
T1	14,3	ns	1,2	ns	6,2	ns	3,7	ns	2,9	bc	.	.
T2	10,8		2,0		4,0		3,6		3,9	abc	.	.
T3	16,4		1,3		4,9		3,5		4,0	abc	.	.
T4	18,4		1,8		8,3		4,0		6,7	a	.	.
T5	13,8		0,9		8,0		2,1		5,3	ab	.	.
T6	11,5		1,9		4,3		1,7		1,8	c	.	.
RB966928												
T1	6,4	ns	2,4	a	7,4	ns	3,7	ns	3,5	ns		
T2	8,2		0,9	b	5,3		3,6		4,5			
T3	8,1		0,9	b	5,5		2,6		4,5			
T4	6,2		1,2	b	5,4		2,0		4,4			
T5	5,8		1,0	b	6,1		1,6		4,4			
T6	6,5		1,2	b	5,4		1,8		2,5			

*Não foi analisado. T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% verm. + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% verm + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% verm + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% verm + 33% CCA + 33% LETA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA

Tabela 16 - Acumulado de micronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período outono/inverno.

Trat.	Cu		Fe		Mn		Zn	
Matéria seca da parte aérea (mg)								
RB867515								
T1	12,5	d	154,2	b	295,5	c	183,1	bc
T2	20,7	bcd	360,3	ab	327,3	c	236,3	abc
T3	23,0	bc	383,4	a	386,5	bc	256,8	ab
T4	29,3	ab	401,9	a	660,0	abc	306,9	a
T5	31,3	a	303,5	ab	737,7	ab	319,9	a
T6	15,2	cd	199,2	ab	965,7	a	150,2	c
RB966928								
T1	10,7	b	146,9	d	185,8	c	160,0	ns
T2	22,2	ab	243,9	cd	208,4	c	238,5	
T3	21,0	ab	311,4	bcd	204,0	c	211,0	
T4	27,8	a	638,4	a	549,8	b	258,8	
T5	23,5	ab	359,3	bc	403,3	b	226,0	
T6	20,3	ab	481,3	ab	907,0	a	211,6	
Matéria seca da raiz (mg)								
RB867515								
T1	1,9	b	941,7	ns	184,0	ab	26,5	b
T2	17,1	a	1276,9		139,9	ab	143,0	ab
T3	16,8	a	1194,9		133,6	b	152,7	a
T4	20,4	a	717,2		419,9	a	189,9	a
T5	18,1	a	582,7		247,1	ab	145,0	ab
T6	10,7	ab	573,6		312,7	ab	102,1	ab
RB966928								
T1	1,7	b	149,3	c	35,5	b	27,0	b
T2	16,9	a	1185,8	a	46,4	b	159,2	a
T3	18,0	a	972,6	ab	44,3	b	154,2	a
T4	11,0	ab	300,3	bc	60,1	b	109,2	ab
T5	12,9	a	458,8	bc	42,4	b	120,4	a
T6	12,9	a	754,1	abc	286,6	a	113,8	a

*Não foi analisado. T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% verm. + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% verm + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% verm + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% verm + 33% CCA + 33% LETA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA

4.3.2. Experimento no período de verão

As mudas de cana-de-açúcar produzidas nos substratos avaliados não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao número de dias necessários para brotação, exceto para o genótipo RB966928 em que o substrato comercial teve início de brotação mais precoce que os tratamentos propostos por esse estudo (Tabela 16). A diferença na precocidade da brotação do substrato comercial foi também observada visualmente no experimento (Figura 17). Possivelmente, este fato justifica-se pelas características físicas apresentadas por estes tratamentos, sendo que o substrato comercial apresentou menor densidade e maior espaço de aeração quando comparado aos substratos propostos (Figura 9), o que facilita o desenvolvimento de raízes nos tratamentos à base de LETE. Além disso, T1 também menor CE, que pode ter interferido negativamente nas reações da gema (Tabela 9). Quanto à percentagem total de gemas brotadas, as médias entre os genótipos mostraram que os tratamentos T4 e T5 se igualaram à testemunha com substrato comercial, com médias de 71,5% (T4) a 84,4% (substrato comercial) de gemas brotadas.



Figura 17 - Início de brotação em mudas de cana-de-açúcar sob substratos a base de LETE

O número de folhas, em ambos genótipos, foi maior nos tratamentos à base de lodo quando comparados ao substrato comercial. Na relação entre os genótipos, para RB867515 os tratamentos T2 e T5 apresentaram menor número de folhas em

relação a RB966928. Esta variável é uma característica intrínseca à variedade, isso explica porque as diferenças se deram apenas entre os genótipos.

Já para a variável diâmetro do colo, o T5 foi superior aos demais tratamentos, embora T2, T3 e T4 igualaram-se a testemunha contendo o substrato comercial indicando que, para esta variável, quaisquer dos substratos propostos teria potencial de uso.

Da mesma forma, a altura da parte aérea foi maior no tratamento 5 para as mudas de ambos genótipos, sendo 88,7 cm para RB867515 e 91,1 cm para RB966928, altura superior à relatada por De Marco (2017) para mudas do genótipo RB867515 (~69 cm) com 45 DAPT produzidas com substratos a base de composto orgânico. O tratamento T4, embora tenha propiciado mudas menores do que T5, demonstrou superioridade em relação ao substrato comercial e demais substratos propostos a base de LETE-PF (T2 e T3). Comportamento similar à altura da parte aérea foi observado para MFPA e MSPA (Tabela 14).

O comprimento de raiz foi maior no tratamento 5, seguido pela testemunha (substrato comercial), por T4, e por fim o T2 e T3 que não diferiram. Este resultado pode estar relacionado à boa porosidade apresentada pelo substrato T5 (Figura 10). Segundo Bellé (1995), a baixa porosidade prejudica o crescimento radicular por prejudicar a livre troca de ar entre os poros e, conseqüentemente, dificultar o crescimento das raízes a procura de água ao fundo do tubete.

Quando avaliada a qualidade das mudas, através do índice integrado IQD, observa-se que o tratamento 5 destacou-se (IQD = 0,471), seguido pelo tratamento 4 (IQD = 0,387). Ambos apresentaram mudas com IQD superior às obtidas com o substrato comercial e tratamentos T2 e T3, com as maiores doses de lodo de esgoto.

Tabela 17 - Dias para brotar após o plantio do tolete (DAPT), porcentagem de brotação (% Brot.), número de folhas (N° F.), diâmetro do colo (Θ do colo), altura da parte aérea (Al. PA), comprimento de raiz (C. R.), massa fresca da parte aérea por planta (MFPA), massa seca da parte aérea por planta (MSPA), massa fresca da raiz por planta (MFR), massa seca da raiz por planta (MSR), e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT no período de verão em diferentes substratos a base de lodo da Estação de Tratamento de esgoto de Passo Fundo.

Trat.	DAPT		% Brot.	N° F.		Θ Colo	Al. PA		C. R.	MFPA	MSPA	MFR	MSR	IQD
	RB867515	RB966928		RB867515	RB966928	. mm .	cm			g				
T1	13,3 aA	11,7 bB	84,4 a	4,2 bA	4,7 bA	8,0 b	57,6 cA	54,3 dA	34,2 b	7,2 d	1,8 d	6,0 b	0,7 c	0,264 c
T2	14,9 aA	14,5 aA	61,5 bc	5,7 aB	6,9 aA	8,0 b	57,1 cB	66,1 cA	24,6 d	13,1 c	2,5 c	5,3 b	0,5 d	0,227 c
T3	14,5 aA	14,1 aA	61,1 c	5,7 aA	6,3 aA	8,1 b	64,0 cA	59,7 cdA	24,7 d	13,1 c	2,7 c	5,3 b	0,5 cd	0,251 c
T4	14,4 aA	13,9 aA	71,5 abc	5,8 aA	6,6 aA	8,7 b	73,6 bA	78,5 bA	30,3 c	18,8 b	3,8 b	8,5 a	1,1 b	0,387 b
T5	14,6 aA	13,7 aA	82,5 ab	5,6 aB	6,7 aA	9,9 a	88,7 aA	91,1 aA	36,8 a	22,5 a	4,5 a	9,7 a	1,3 a	0,471 a
Média	14,3	13,6	72,2	5,4	6,24	8,5	68,2	69,9	30,1	14,9	3,0	7,0	0,8	0,320
CV (%)						25,9	30,2	25,5	22,9	65,1	62,8	56,1	71,6	34,4

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo.

T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% vermiculita + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% vermiculita + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% vermiculita + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% vermiculita + 33% CCA.

Nas Tabelas 18 e 19, encontram-se os acumulados nutrientes na massa seca da parte aérea e da raiz, analisados em mudas de cana-de-açúcar com 50 dias após o plantio do tolete no período de verão. Os teores dos nutrientes encontram-se disponíveis no Apêndice B.

Na MSPA, com exceção do potássio nas mudas de RB867515, todos os substratos propostos a base de LETE apresentaram maior ou igual acúmulo de nutrientes do que o substrato comercial (T1). Dentre os substratos propostos (T2 a T5) destacaram-se os tratamentos T4 e T5 para os dois genótipos com os maiores acumulados de nutrientes. Estes tratamentos também foram os que demonstraram maior eficiência agrônômica considerando brotação, número de folhas, diâmetro do colo, comprimento de raiz, produção de biomassa na parte aérea e raiz, e, por conseguinte maior qualidade das mudas (Índice de Dickson).

Na MSR observou-se de modo geral acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn estatisticamente maior nas mudas desenvolvidas nos substratos propostos quando comparados aos observados nas mudas do substrato comercial. Isso se deve às concentrações destes nutrientes nas matérias-primas que compõem os substratos avaliados, destacando-se o LETE como fonte potencial de Fe, Cu e Zn, a cinza da casca de arroz de Fe, Cu, Zn e Mn, a vermiculita de Zn e Mn e o LETA de Fe e Mn (Tabela 9). Para os macronutrientes os tratamentos T4 e T5 apresentaram maior acúmulo, exceto K no T4 de ambos os genótipos.

Tabela 18 - Acumulado de macronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período de verão.

Trat.	N		P		K		Ca		Mg		S	
Matéria seca da parte aérea (mg)												
RB867515												
T1	16,1	b	4,7	c	46,8	bc	6,4	b	7,1	d	11,6	b
T2	65,5	a	12,6	bc	29,4	c	6,6	b	12,6	cd	19,9	ab
T3	81,7	a	12,0	bc	40,4	bc	9,0	ab	17,9	bc	19,8	ab
T4	82,7	a	19,9	ab	50,8	b	13,7	a	26,2	ab	24,6	a
T5	78,0	a	24,8	a	96,3	a	11,4	ab	31,8	a	25,4	a
RB966928												
T1	12,6	b	8,0	c	51,5	b	7,4	b	7,4	b	10,9	ns
T2	83,8	a	14,0	bc	43,1	b	6,3	b	12,0	b	15,7	
T3	72,6	a	13,9	bc	39,3	b	6,0	b	12,4	b	12,0	
T4	92,9	a	16,3	ab	64,0	ab	9,5	ab	21,8	a	15,7	
T5	81,4	a	21,7	a	91,1	a	13,4	a	22,6	a	19,4	
Matéria seca da raiz (mg)												
RB867515												
T1	.		1,8	b	8,9	a	2,9	bc	1,5	c	.	
T2	.		3,1	b	3,5	b	2,3	c	0,6	c	.	
T3	.		3,7	b	4,0	b	2,7	bc	1,4	c	.	
T4	.		9,1	a	8,7	a	4,8	ab	6,1	b	.	
T5	.		3,6	b	11,1	a	5,5	a	13,5	a	.	
RB966928												
T1	.		1,4	b	8,7	a	3,4	abc	1,9	b	.	
T2	.		4,4	ab	3,5	b	2,8	bc	0,9	b	.	
T3	.		2,9	ab	3,7	b	2,5	bc	1,8	b	.	
T4	.		5,2	a	8,8	a	5,9	ab	8,8	a	.	
T5	.		4,9	a	12,3	a	6,1	a	12,5	a	.	

Não foi analisado. T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% verm. + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% verm + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% verm + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% verm + 33% CCA + 33% LETA.

Tabela 19 - Acumulado de micronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) de mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período de verão.

Trat.	Cu		Fe		Mn		Zn	
	Matéria seca da parte aérea (mg)							
RB867515								
T1	3,4	c	64,1	c	123,9	c	40,9	b
T2	10,1	bc	260,7	ab	229,4	bc	326,6	a
T3	9,0	bc	244,5	ab	259,0	bc	406,9	a
T4	15,9	ab	281,4	a	328,7	b	501,1	a
T5	19,4	a	178,1	b	592,4	a	283,3	a
RB966928								
T1	6,1	b	49,9	c	113,5	b	38,9	b
T2	11,0	ab	259,2	ab	174,9	b	374,4	a
T3	11,3	ab	204,8	ab	156,6	b	350,0	a
T4	12,3	a	290,1	a	274,1	ab	516,1	a
T5	16,9	a	178,3	b	381,8	a	536,2	a
Matéria seca da raiz (mg)								
RB867515								
T1	4,4	b	356,8	c	45,3	c	15,4	d
T2	27,6	a	3554,0	bc	60,9	bc	181,2	c
T3	25,8	ab	4330,9	ab	64,2	bc	216,2	bc
T4	28,7	a	7366,0	a	113,3	b	343,2	ab
T5	31,0	a	6511,1	ab	176,3	a	371,0	a
RB966928								
T1	2,0	b	261,2	c	44,9	b	12,9	b
T2	19,2	ab	3982,0	b	59,1	b	209,8	ab
T3	17,0	ab	3557,8	bc	59,9	b	195,8	ab
T4	34,3	a	7801,9	a	138,8	a	384,0	a
T5	27,7	a	5597,2	ab	157,2	a	340,7	a

Não foi analisado. T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% verm. + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% verm + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% verm + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% verm + 33% CCA + 33% LETA.

Assim como observado para os acumulados de nutrientes, observou-se de forma geral para ambos os experimentos (outono/inverno e verão) que os substratos contendo maior proporção de vermiculita e cinza de casca de arroz e menor proporção de LETE (T5 e T4) apresentaram melhor desempenho e qualidade de mudas entre os substratos propostos, assim como quando comparados à referência (substrato comercial).

Os maiores índices de brotação (velocidade e percentagem) também foram maiores nestes tratamentos, o que se deve provavelmente aos materiais utilizados em sua composição. A vermiculita e a cinza de casca de arroz possuem maior retenção de água_{10cm} (vermiculita = 2,41 g g⁻¹ e CCA = 2,33 g g⁻¹), promovendo umidade adequada aos toletes durante o processo de brotação. Ao mesmo tempo, esses materiais apresentam granulometria mais grosseira quando comparados ao LETE (Tabela 10) e, portanto, um substrato menos compacto (Figura 9),

característica de extrema importância em substratos. Landell et al. (2012), que desenvolveram o sistema de mudas pré-brotadas (MPB), afirmam que a principal condição favorável para a brotação das gemas é a adequada disponibilidade de água às plantas. Serafim et al. (2012) complementa que os fatores genéticos e fisiológicos como variedade e idade também podem influenciar na brotação das gemas.

Especificamente quanto à percentagem total de gemas brotadas, no primeiro experimento todos substratos se igualaram ao T1 com média de 80% de brotação e no segundo experimento o T1 apresentou 84%, seguido pelo T5 com 82% e T4 com 71%. Antunes et al. (2014) verificou 55% de brotação para RB867515, valor inferior ao obtido no presente estudo para a média dos genótipos, e 90% de brotação para RB966928, valor superior ao aqui obtido.

Considerando o número de folhas, no primeiro experimento os substratos não influenciaram esta variável, mas no segundo experimento, em ambos genótipos, todos os tratamentos à base de lodo foram superiores ao comercial. Como já mencionado, esta é uma característica intrínseca à variedade, e isso explica as diferenças que se deram entre os genótipos no experimento de verão.

Uma variável de grande importância para mudas de cana-de-açúcar é o diâmetro do colo. No presente estudo, para o experimento de outono/inverno, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos e, para o experimento de verão, as mudas com maiores diâmetros foram as obtidas no T5 com 9,9 mm, o que pode estar relacionado à maior porosidade total (0,73) e maior CRA_{10cm} (0,59 $m^3 m^{-3}$) deste tratamento. Cabreira et al. (2007) obteve resultados similares testando doses de LETE com outras matérias-primas em espécies florestais. Os autores relataram que substratos com 20, 40 e 80% de LETE apresentaram diâmetro do colo superior ao substrato comercial em três espécies florestais. Resultado similar a Caldeira et al. (2013) ao testarem nove tratamentos à base de LETE (de 20% a 100%), cujas mudas de florestais apresentaram diâmetro do colo de 3,4 a 4,2 vezes superiores ao visto no comercial.

Quanto à altura da parte aérea, no primeiro experimento, T5 e T4 apresentaram mudas com maiores valores médios em ambos genótipos (RB867515 e RB966928), sendo T5 com 87 cm para G1 e 91 cm para G1, seguido pelo T4 com 73 cm para G1 e 78 cm para G2. No segundo experimento não houve significância

nas diferenças entre os substratos, entretanto todos os tratamentos testados no presente estudo apresentaram, em ambos experimentos, médias superiores às encontradas por Guiselini et al. (2013), que obtiveram mudas com 54 cm para o genótipo RB867515 aos 56 DAPT; e por De Marco et al. (2016) que constataram em mudas de 45 DAPT no genótipo RB867515 com 69 cm desenvolvidas em substratos alternativos a base de casca de arroz carbonizada e composto orgânico, quando comparados com o substrato comercial (66 cm).

De acordo com Matoso (2017), outra característica importante para obtenção de mudas de qualidade é um sistema radicular bem desenvolvido, pois as raízes controlam fatores de absorção de água e nutrientes. Sabendo que, de forma geral, maior comprimento radicular proporciona melhores condições de absorção de água e nutrientes, se explica o baixo desempenho do T6 no experimento de outono/inverno, sendo o que apresentou menor acúmulo de nutrientes em ambos genótipos (Tabela 15). O efeito “cimentante” observado em substratos com elevada densidade pode explicar este comportamento (ZORZETTO, 2011). Isso foi observado no presente estudo nos substratos contendo as maiores proporções de LETE (T2 e T3), que apresentaram baixa porosidade e CRA (Tabela 10). Esta característica do LETE já foi observada em trabalhos anteriores como o de Caldeira et al. (2013), em que os autores repelem o uso isolado do LETE como substrato, devido a sua baixa porosidade e alta densidade, que provoca compactação do substrato, podendo afetar o desenvolvimento das raízes das mudas. Substratos que apresentam menor densidade possuem em geral maior porosidade, maior facilidade de drenagem e menor restrição às raízes (MAGGIONI et al., 2014).

Em geral, a produção de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz em ambos experimentos foi maior no tratamento T5, seguido pelo T4 que, conseqüentemente, apresentaram os maiores acúmulos de nutrientes (Tabela 15 e 17). Obteve-se neste estudo nos substratos a base de LETE 0,78 a 1,23 g para MSPA e 0,37 a 0,51 g para MSR no primeiro experimento e 2,5 a 4,5 g para MSPA e 0,5 a 1,3 g para MSR no segundo experimento do T2 ao T5. Estes resultados são superiores aos obtidos por Girio et al. (2015) para o genótipo RB867515 avaliado aos 50 DAPT, que apresentou 0,50 g para a média de MSPA e 0,15 g de MSR.

Os resultados encontrados nas variáveis de desempenho agrônomo avaliadas neste estudo podem estar atrelados em grande parte às características

químicas e físico-hídricas dos substratos propostos (Tabelas 9 e 11, Figuras 9 e 10). Observou-se inclusive visualmente a diferença de coloração e altura entre os substratos a base de LETE e o comercial (Figuras 18 e 19). Cabe salientar que o substrato comercial, embora tenha apresentado brotação mais precoce, não apresentou características nutricionais adequadas para promover o desenvolvimento satisfatório das mudas durante o período considerado (60 DAPT).

Em ambos os experimentos realizados no presente estudo, os tratamentos com doses de lodo de esgoto foram superiores ou iguais ao substrato comercial, com destaque para o tratamento T5. Testando substratos à base de lodo comparados a um substrato comercial, em mudas de florestais, Caldeira et al. (2014) obteve a mesma conclusão, onde todos tratamentos com lodo e vermiculita, com lodo e casca de arroz e com lodo e composto orgânico foram superiores às mudas com substrato comercial.



Figura 18 – Vista lateral de uma repetição do experimento de outono/inverno com mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT em diferentes substratos a base de lodo de esgoto Passo Fundo.

T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% vermiculita + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% vermiculita + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% vermiculita + 25% CCA; T5: 33% LE-PF + 33% vermiculita + 33% CCA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA.

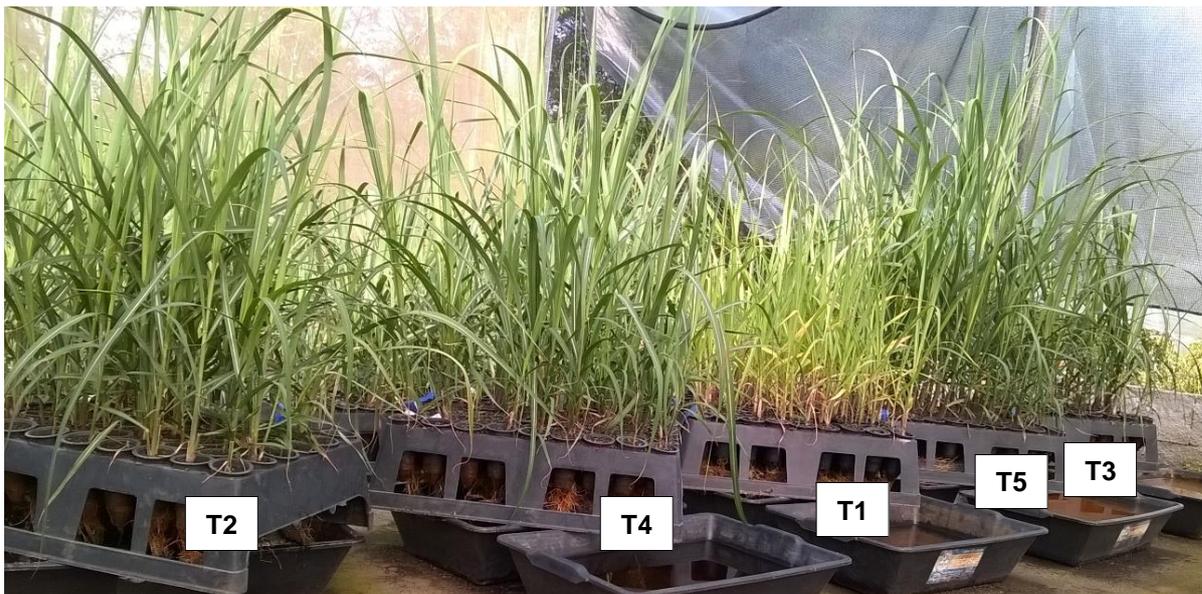


Figura 19 – Vista lateral de uma repetição do experimento de verão com mudas de cana-de-açúcar aos 50 DAPT em diferentes substratos a base de lodo de esgoto Passo Fundo.

T1: testemunha (substrato comercial); T2: 87,5% LETE + 6,25% vermiculita + 6,25% CCA; T3: 75% LETE + 12,5% vermiculita + 12,5% CCA; T4: 50% LETE + 25% vermiculita + 25% CCA; T5: 33% LETE + 33% vermiculita + 33% CCA; T6: 75% LETE + 12,5% LA-SM + 12,5% CCA.

A superioridade dos tratamentos com menores proporções de LETE (T5 e T4) foi observada também através do índice de qualidade de Dickson (IQD).

Para Gomes et al. (2003), quanto maior IQD, maior qualidade terá a muda avaliada, ou seja, maior qualidade e capacidade das mudas de sobreviverem no campo. Tomando como base a afirmação de Gomes et al. (2003), pode-se considerar que as mudas produzidas nos tratamentos 5 e 4 com maiores porcentagens de vermiculita, são as de melhor qualidade quando comparados os tratamentos entre si. A vermiculita, após a sua expansão térmica, adquire elevada capacidade de retenção de água (FERRAZ et al. 2005), proporcionando condições físicas mais adequadas ao desenvolvimento das mudas. Tais resultados vão de encontro aos de Weber et al. (2003), onde foram obtidos os melhores valores de IQD associados aos tratamentos que continham vermiculita.

4.4. Conclusões

Mudas de cana-de-açúcar produzidas em substratos a base de lodo da Estação de Tratamento de Esgoto de Passo Fundo, originado de processo anaeróbio, apresentaram desempenho agrônômico igual ou superior ao substrato comercial utilizado como referência.

Os substratos contendo 33% LETE-PF + 33% vermiculita + 33% cinza de casca de arroz (T5) e os substratos com 50% LETE-PF + 25% vermiculita + 25% cinza de casca de arroz (T4) foram os que apresentaram melhor potencial para utilização na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo observou-se que o LETE avaliado apresenta contaminantes abaixo dos níveis permitidos pela legislação vigente e, portanto, seu uso como matéria-prima para substratos é seguro.

Outra questão a se considerar é a origem do LETE. No caso deste estudo foram selecionadas estações de tratamento que recebem apenas esgoto doméstico, sem contribuição de outras fontes e, portanto, os teores de metais pesados nos lodos são baixos. É importante que LETEs destinados ao uso na agricultura tenham a fonte geradora conhecida e que não tenham contribuição de fontes com elevada carga de contaminantes.

Nos experimentos realizados observou-se que as mudas de cana-de-açúcar produzidas nos substratos com LETE apresentaram altura e desenvolvimento das raízes acima da média reportada na literatura para mudas de mesma idade (50 DAPT). Assim, sugere-se que trabalhos futuros avaliem o efeito desses substratos na precocidade da produção de mudas, pois certamente esse período poderia ser reduzido para o transplante, sem prejuízo na qualidade das mudas. Isso traria benefícios ao produtor de mudas e agricultores que utilizam o sistema para produzir cana-de-açúcar.

Cabe salientar ainda que lodos de origem aeróbia apresentam potencial para produção de mudas de cana-de-açúcar similar ao lodo de origem anaeróbia apresentado nesta tese. Foram desenvolvidos estudos em paralelo avaliando dois LETEs originados de sistema de tratamento aeróbio (LETE de Rio Grande/RS e LETE de Santa Maria/RS), sob as mesmas condições experimentais e épocas que os apresentados aqui. Os resultados obtidos nestes estudos serão publicados posteriormente, porém é possível afirmar que, independente do tratamento empregado não há diferença relevante quanto ao desempenho agrônômico de mudas de cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABAD, M.; NOGUEIRA, P.; BURÉS, S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. **Bioresource Technology** v.77, p.197-200, 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, **Anais**, p.17-28, Campinas, 2002.

ABREU, M. F.; FURLANI, A. C.; ABREU, C. A.; SANTOS, P. H.; GONZÁLEZ, A. P. Total elemento concentration quantification in substrates. **Acta Horticulturae**, v.697, p.315-319, 2005.

AFERRI, G.; XAVIER, M. A.; PEREIRA, M. A. A. Custo de produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar – MPB. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 13, n. 2, 2016.

ALFENAS, A. C., ZAUZA, E. A., MAFIA, R. G., ASSIS, T. F. (2004). **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 442p. 2004.

ALMEIDA, L.S. Avaliação morfológica de mudas de *Allophyls edulis* (A. St.-Hil, A. Juss. & Cambess.) Radl. (vacum) e *Schinusterebinthifolius* Raddi (aroeira) produzidas em diferentes substratos. **Dissertação** (mestrado) - PPG em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 105p. 2005.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F., Eds. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte. DESA/UFMG; Sanepar, v.6. 484 p. 2001.

ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: SANEPAR, p.80. 2000.

ANDEOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 444p. 2014.

ANDREOTTI, M.; SORIA, J. E.; COSTA, N. R.; GAMEIRO, R. A.; REBONATTI, M. D. Acumulo de nutrientes e decomposição do palhicho de cana em função de doses de vinhaça. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 563-576, 2015.

ANTUNES, W. R.; SILVA, S. D. A.; TATOO, F. R.; CAMPOS, A. D. S.; EICHOLZ, M. D. Avaliação de brotação e posição de plantio de mini-toletes na produção de mudas de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) no sistema de mudas pré-brotadas, em Pelotas-RS, safra 2012/13. **Anais...** Simpósio Estadual de Agroenergia, Pelotas/RS, 2014.

BAILEY, D. A.; NELSON, P. V.; FONTENO, W. C. **Substrates pH and water quality**. Releigh: North Carolina state university, 2002. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ph.pdf>>. Acesso em: 04/08/2016.

BELLÉ, S. 4-Escolha do substrato. In: KÄMPF, A. N.; CIULLA, D. Z.; CUNHA, G. G. KRAEMER, K. H.; ORDOVÁS, L. M.; SILVA, L.; HEINECK, M. A.; FERMINO, M. H.; KUHN, M. P. D.; GROLLI, P. R.; FERNANDEZ, S. M.; BELLÉ, S. **Plantas ornamentais para interiores**. Porto Alegre: Rígel. 112p. 1995.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. Sanepar/PR, 11p. 2006.

BOTERO, W. G. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Dissertação** (mestrado), PPG Química/UNESP. 2008.

BOTERO, W. G. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química Nova**, v. 32, p. 2018 -2022, 2009.

BOODT, M. & VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulturae. **Acta Horticulturae**, v.26, p.37-44, 1972.

BRASIL. Instrução Normativa SDA nº17, 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**. 2007.

BRASIL. Instrução Normativa SDA nº07, de 12 de abril de 2016. Altera os anexos IV (limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas) e V (limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo) da **Instrução Normativa SDA nº 27**, de 05 de junho de 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, V. 1 - segundo levantamento, agosto/2014, n.2 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília, 20p. **Conab** 2014.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES P. S. G. Avaliação tecnológica da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.). **Bioetanol de Cana-de-Açúcar**, P&D para Produtividade e Sustentabilidade. São Paulo: Blucher, p. 451-464, 2010.

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

CALDEIRA, M. V. W.; BLUM, H.; BALBIOT, R.; LOMBARDI, K. C. Uso do resíduo de algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Ciência Agrária Ambiental**. Curitiba, v.6, n.2, p.191-202, 2008a.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agrária**, v.9, n.1, p.27-33, 2008b.

CALDEIRA, M. V. W.; WENDLING, I.; PENCHEL, R. M.; GONÇALVES, E. O.; KRATZ, D.; TRAZZI, P. A. **Propriedades de substratos para produção de mudas florestais**. In: CALDEIRA, M. V. W.; GARCIA, G. O.; GONÇALVES, E. O.; ARANTES, M. D. C.; FIEDLER, N. C. (Eds.). Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil. Visconde do Rio Branco: Suprema, p.142-160, 2011.

CALDEIRA, M.V.; DELARMELENA, W. M., PERONI, L. GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n°2, p.155-163, 2013

CALDEIRA, M. V. W.; FAVALESSA, M.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELENA, W. M.; SANTOS, F. E. V.; VIERA, M. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.5, n.1, p.34-43, 2014.

CANA ONLINE, Editora Paiva & Baldin, n°45, 83p. 2017.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 451 p. 1995.

CHAGAS, W. F. Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro. **Dissertação** (mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, ENSP. 89 p., 2000.

CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. LAVORENTI, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, p.701-709, 2009.

CHIBA, M.K. Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. **Tese** (doutorado), Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 142p. 2005.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; CARVALHO, F. O. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.653-662, 2008.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto**. 10p. 2006.

COELHO, W. L. V.; SILVA, F. S.; DALLACORT, R.; CARNEIRO, P. A. V. Análise do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor sucroenergético no estado de Mato Grosso em diferentes cenários produtivos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.2, p.332-351, 2016.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11º Ed. Porto Alegre, 2016. 376p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº 375**. Critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, de 29 de agosto de 2006, Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2006.

CRISTOFOLETTI JR, S. C. Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toiletas de variedades de cana-de-açúcar. **Dissertação** USP – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 92p. 2012.

COPASA. **Esgotamento Sanitário. Processos de Tratamento**. <<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=34>> Acesso em 29/12/2014.

CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G. M.; AMARAL, J. F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de Acácia sp. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.207-214, 2006.

DE MARCO, E.; MATOSO, E. S.; TATTO, F. R.; BOELTER, J. H.; SILVA, S. D. A. Utilização de resíduo agroenergético em substratos para a produção de mudas de cana-de-açúcar. **Anais... X Encontro sobre substratos para plantas**, Campinas, SP. 2016.

DE MARCO, E. Uso de substratos alternativos na produção de morangos e mudas de cana-de-açúcar. **Dissertação** (mestrado), PPGSPAF/UFPEL. 84f. 2017.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. **QUALITY APPRAISAL OF WHITE SPRUCE AND WHITE PINE SEEDLING STOCK IN NURSERIE**. *The Forestry Chronicle* Downloaded from pubs.cif-ifc.org by CAPES Min da Educação - Brazil on 03/03/17

DILLEWIJN, V. C. Botany of sugarcane. Botany of sugarcane. Waltham: **The Chronica Botânica**, 371p.1952.

DUARTE, T. S.; FERNANDES, H. S.; MEDEIROS, C. A. B.; MORAES, R. M. D. Crescimento de mudas de tomateiro em substratos orgânicos. In: 3º Encontro Nacional De Substratos Para Plantas, Campinas. **Anais... Documentos IAC 70**. Instituto Agrônômico, Campinas, Brasil. p.107, 2002.

FAOSTAT. **FAO** Sugar cane. Disponível em <<http://faostat.fao.org/beta/en/#data/QC>>. Acesso em 22 de outubro de 2016.

FAUSTINO, R.; KATO, M.T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato na produção de Senna siamea. Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, Supl., p.278-282, 2005.

FERMINO, M. H. 6-Adubação. In: KÄMPF, A. N.; CIULLA, D. Z.; CUNHA, G. G. KRAEMER, K. H.; ORDOVÁS, L. M.; SILVA, L.; HEINECK, M. A.; FERMINO, M. H.; KUHN, M. P. D.; GROLLI, P. R.; FERNANDEZ, S. M.; BELLÉ, S. **Plantas ornamentais para interiores**. Porto Alegre: Rígel. 112p. 1995.

FERMINO, M. H. Métodos de análise para caracterização física de substrato para plantas. **Tese** (doutorado) – Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 81p. 2003.

FERMINO, M. H.; KÄMPF, A. N. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e níveis de umidade. **Horticultura Brasileira**. v.30, p.75-79, 2012.

FERMINO, M. H. **Substratos: Composição, caracterização, e métodos de análise**. Agrolivros. Guaíba, 112 p., 2014.

FERRAZ, M. V., CENTURION, J. F., AND BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 27, 2, p.209-214. 2005.

FIGUEIREDO P. **Breve história da cana-de-açúcar e do papel do instituto agrônomo no seu estabelecimento no Brasil**. In: DINARDO-MIRANDA L., VASCONCELOS A. C. M., LANDELL M. G. A (ed) Cana-de-açúcar, Instituto Agrônomo. p.31-44, 2010.

FRAGA JR, E. F. Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas pré-brotadas (MPB). **Tese** (doutorado) – Escola superior de agricultura “Luiz Queiroz”. 110p., 2015.

GAZOLA, T.; FILHO, M. L. C.; JÚNIOR, N. C. F. Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica. **Científica**, Jaboticabal, v.45, n.3, p.300-306, 2017

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, U.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.1, p.33-43, 2015.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa. v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa. v.27, n.2, p.113-127, 2003.

GOMES, C. Sistema muda conceito de plantio. **Jornal a lavoura**, Campinas, n.696, p.38-39, 2013.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v.19, n.1, p.123-131, 2013.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; SPERLING, M. V. 5-Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Ed. UFMG, v.6, nº2, 444p. 2014

GRAY, N. F. Water technology. An **introduction for environmental scientists and engineers**. Britain: Elsevier. 645 p. 2005.

GRUSZYNSKI, C. Resíduo agro-industrial "Casca de Tungue" como componente de substrato para plantas. 99p. **Dissertação** (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 2002.

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

GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; BARROS, A. C. B.; SILVA, L. F.; NETO, S. P. O. S. Acclimatização de mudas de cana-de-açúcar em ambiente protegido sob dois tipos de malhas de sombreamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.7, n.8, p.877-882, 2013.

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

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v.27 n.7, p.1-85, 2006.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**.<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>> acesso em 14/03/2018.

JORDÃO, E. P.; & PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 8°ed. Rio de Janeiro, 916p. 2017.

KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; MARTINS, J. R.; SANTOS, E. J. S.; TISSOT, C. A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1107-1113, 2002.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (ed.). Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: **Genesis**, p.209-215. 2000.

KÄMPF, A. N. Análise física de substratos para plantas. **Boletim Informativo** – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 1, p. 5-7, 2001.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agrolivros, 2ªed., 254p. 2005.

KÄMPF, A. N. O emprego de substratos na produção de plantas para arborização urbana. X Congresso Brasileiro de Arborização Urbana. Maringá: SBAU. **Anais**. CD-ROM, 2006.

KLEIN, C. Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p.43-63, 2015.

KRATZ, D. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Mimosa scabrella* Benth. **Dissertação** (mestrado) (PPG em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 121p. 2011.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1103-1113, 2013.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, v.1, 18- 23, 2004.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundos de gemas individualizadas**. Documentos IAC, 109. Campinas: Instituto Agrônomo, 16 p., 2012.

LEE, T. S. G.; BRESSAN, E. A.; SILVA, A. D. C. DA; LEE, L. L. Implantação de biofábrica de cana-de-açúcar: riscos e sucessos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.13, p.2032-2040, 2007.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SAMPAIO, L. R.; FREIRE, M.A. O.; BELTRÃO, N. E. M.; ARRIEL, N. H. C. Crescimento e teor foliar de nutrientes em mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em substratos contendo cinco materiais orgânicos e fertilizante mineral. **Rev. bras. ol. fibros**. Campina Grande, v.13, n.1, p.29-36, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Editora Agronômica Ceres, 631 p. 2006

MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 29 p. (Documentos 168), 2012.

MARTINS, C. C.; BOVI, M. L. A.; SPIERING, S. H. Umedecimento do substrato na emergência e vigor de plântulas de pupunheira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.224-230, 2009.

MARTINAZZO, R.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; PILLON, C. N.; VALGAS, R. A. **Estimativa da geração de coprodutos de processos agroindustriais e da mineração e do potencial de fornecimento de nutrientes para a agricultura**. Pelotas, Documentos / Embrapa Clima Temperado, 48p. 2015.

MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; MARQUES, T. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.23, n.2, p.111-122, 2007.

MATOSO, E. S. Uso de bactérias diazotróficas na produção de mudas de cana-de-açúcar em diferentes substratos. **Dissertação** (mestrado) PPG-SPAF, UFPel, Pelotas. 115f. 2017.

MEDEIROS, C.A.B; RODRIGUES L.T.; TERRA S. **Casca de arroz e sua carbonização para utilização em substratos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado.** (Embrapa Clima Temperado – Circular Técnica – no prelo). 2008.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do bio-sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Eds.). **Bio-sólidos na agricultura.** São Paulo: Sabesp, 2001.

MONTEIRO, A. B.; PEREIRA, I. S.; STOCKER, C. M.; PERES, M. A.; MARTINAZZO, R.; BAMBERG, A. L.; TIMM, L. C. **Substratos a base de lodo de esgoto solarizado e pirolizado para produção de mudas de alface.** 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa. Congrega-Urcamp, 13p. 2017.

MORAIS, S. M. J.; ATAIDES, P. R. V.; GARCIA, D. C.; KURTZ, F. C.; OLIVEIRA, O. S.; WATZLAWICK, L. F. **Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos.** Sanare (SANEPAR), Curitiba, v.6, n.6, p.44-49, 1996.

MORSELLI, T. B. G. A. **Resíduos orgânicos em sistemas agrícolas.** Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 228p. 2009.

NASCIMENTO, J. S.; MOTTA, I. S.; SILVA, F. M.; CARNEIRO, L. F.; ZANCANARO, R. P. P.; FROES, C. Q. Avaliação de substratos de húmus de minhoca na produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) cultivar Lucy Brown. **Cadernos de Agroecologia**, v.7, n.2, 2012.

NETO, E. B.; SANTOS, R. L.; PESSOA, P. M. A.; ANDRADE, P. K. B.; OLIVEIRA, S. K. G.; MENDONÇA, I. F. Tratamento de espuma fenólica para produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** v.5, n.3, p.418-422, 2010.

OLIVEIRA, V.R.; FREIRE, F.M.; VENTURI, R.; CARRIJO, O.A.; MASCARENHAS, M.H.T. Caracterização química de substratos para produção de hortaliças. **Horticultura brasileira**, v.21, n.2, Suplemento 1, p.288-291, 2003.

OHASHI, A. Y. P.; XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; PETRI, R. H.; SILVA, L.P.M.; PIRES, R. C. M. **Crescimento e eficiência no uso da água de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em diferentes substratos.** X Workshop de Agroenergia. Ribeirão Preto/SP, 2016.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. 444p. 2014

PRADO, H. Ambientes de produção em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v. 110, Encarte Especial, 2005.

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 840p. 1999.

R CORE TEAM R: **A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, (2013). (URL [http://www,R-project.org/](http://www.R-project.org/)).

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, n.73, p.27-36, 2013.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, n.09, p.971-979, 2014.

SCHAFER, G.; SOUZA, P.V.D.; KOLLER, O.C.; SCHWARZ, S.F. Physical and chemical properties of substrates to cultivate seedling of citrus rootstocks. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.39, p.1067-1079, 2008.

SCHEER M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapipta denia rigida* (Benth.) Brenan. **Cientia Florestalis**, Piracicaba, v.38, n.88, p.637-644, 2010.

SCHMITZ, J. A. K.; 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**, v.32, p.937-944, 2002.

SCHIRMER, G. K. Utilização do lodo de esgoto na vermicompostagem e como substrato para a produção de mudas de *Pinus elliottii Engelm*. **Dissertação** (mestrado). UFSM-PPG Ciência do Solo. 93p. 2010.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 415p, Piracicaba, 2006

SIGOLO, J. B.; PINHEIRO, C. H. Lodo de Esgoto da ETE Barueri - SP: Proveniência do Enxofre Elementar e Correlações com Metais Pesados Associados. *Revista do Instituto de Geociências - Geol. USP, Série científica*, São Paulo, v.10, n.1, p.39-51, 2010.

SILVA, A. E. M.; LIRA, A. T.; FERREIRA, M. A.; BARROS, L. J. A.; MELO, T. T. B.; SIQUEIRA, T. D. Q.; SOARES, L. F. P.; COSTA, C. T. F. Bagaço de cana-de-açúcar como volumoso exclusivo em dietas para ovinos. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.16, n.1, p.118-129, 2015.

SILVA, C. R. L.; CHINELATTO, A. L.; CHINELATTO, A. S. A. Viabilidade da incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) em massa cerâmica para produção de blocos. **Cerâmica**, n.61, p.31-40, 2015.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; JUNIOR, C. H. A.; BERTON, R. S.; BASSO, L. C.; BARBIERI, V. Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente. **HOLOS Environment**, v.10 n.1, p.62-82, 2010.

SILVA, M. T. Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona. **Dissertação** (mestrado). UFPEL-PPGSPAF. 80p. 2015.

SILVA, M. T.; MATOSO, E. S.; SIMON, E. D. T.; KOHLER, T.W.; MARTINAZZO, R.; SILVA, S. D. A. Influência da posição da gema no colmo no desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar. Simpósio de propagação de plantas e produção de mudas. **Anais**. Ribeirão Preto/SP. 2017.

SILVA, S.D.A.; GOMES, C.B.; UENO, B.; NAVA, D.E.; ALMEIRA, I.R.; THEISEN, G.; DUTRA, L.F.; VERISSIMO, M.A.; PANZIERA, W.; DAROS, E.; OLIVEIRA, R.A.; FILHO, J.C.B. Recomendações de Variedades de Cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul. **Comunicado técnico**, nº292. Embrapa Clima Temperado. 22p. 2012.

SILVA, S. D. A.; MONTERO, C. R. S.; SANTOS, R. C.; NAVA, D. E.; GOMES, C. B.; ALMEIDA, I. R. **Sistema de produção da cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul**. Sistemas de Produção/Embrapa Clima Temperado. 247 p. 2016.

SILVA, S. M. C.P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. 444p. 2014

SILVEIRA, R.L. V. **Adubação e nutrição de espécies nativas: viveiro e campo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 22p. 2002.

SOBRINHO, P. A. 2-Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Abes, 468p. 2002.

SOUZA, C. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.243-249, 2006.

TEDESCO, M, J. ANÁLISES DE SOLO; PLANTAS E OUTROS MATERIAIS. **Boletim Técnico** nº 5, 2º edição revisada e ampliada, departamento de solos, faculdade de agronomia, UFRGS, 1995.

TRANI, P. E.; FELTRIN, D. M.; POTT, C. A.; SCHWINGEL, M. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.2, p.256-260, 2007.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Avaliação agronômica de um bio sólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, 2005.

TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A. Uso de bio sólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n.64, p.150-162, 2003.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPAHOL, I.; CARVALHO, P. C. T. **Bio sólidos na Agricultura**. 2ª edição. São Paulo. ABES, 2002

UGARTE, J. F. O. Vermiculita. **Rochas e Minerais Industriais – CETEM/2008**, 2ª Edição. 2008.

WEBER, O. B.; CORREIA, D., SILVEIRA, M. R. S.; RISÓSTOMO, L. A.; OLIVEIRA, E. M., SÁ, E. G. 2003. Efeito da bactéria diazotrófica em mudas micropropagadas de abacaxizeiros Cayenne Champac em diferentes substratos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 689-696.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, v.100, p.665-671, 2008.

XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. et al... **Fatores de desuniformidade e kit de pré-brotação IAC para sistema de multiplicação de cana-de-açúcar – mudas pré-brotadas (MPB)**. Campinas: Instituto Agronômico, (Documentos IAC, n. 113), 22p. 2014.

ZANETTI, M.; FERNANDES, C.; CAZETTA, O. J.; CORÁ, J. E.; MATTOS JÚNIOR, D. Características físicas de substratos para produção de mudas cítricas sob telado. **Laranja**, 24, 2, p.519-530. 2003.

ZORZETTO, T. Q. Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.). IAC Pós-graduação. Campinas-SP. **Dissertação** (mestrado). 110p. 2011.

ZORZETTO 2014ZORZETO, Q. T.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; JÚNIOR, F. F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, 2014.

APÊNDICES

Apêndice A - Teores de macro e micronutrientes dos substratos após o experimento e na massa seca da parte aérea e da raiz das mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período outono/inverno com lodo da ETE de Passo Fundo.

Parâmetro	T1			T2			T3			T4			T5			T6		
	Substr.	Planta		Substr.	Planta		Substr.	Planta		Substr.	Planta		Substr.	Planta		Substr.	Planta	
	Após	MSR	MSPA	Após	MSR	MSPA	Após	MR	MSPA	Após	MSR	MSPA	Após	MSR	MSPA	Após	MSR	MSPA
RB867515																		
Nitrogênio (%)	1,40	2,01	1,91	1,80	1,76	2,26	1,70	2,22	2,19	1,40	2,00	1,91	1,10	1,77	2,05	1,60	2,10	2,32
Fósforo (%)	0,07	0,37	0,20	0,60	0,53	0,29	0,54	0,39	0,28	0,46	0,37	0,26	0,35	0,46	0,39	0,54	0,35	0,27
Potássio (%)	0,03	1,92	2,67	0,05	1,13	2,33	0,05	1,37	2,55	0,13	1,83	2,97	0,12	2,02	2,87	0,06	1,59	2,52
Cálcio (%)	2,00	1,06	0,88	1,50	1,00	0,77	1,40	0,94	0,98	1,20	0,84	0,72	0,77	0,54	0,83	1,10	0,62	1,07
Magnésio (%)	0,30	0,88	0,61	0,94	1,07	0,91	1,20	1,09	0,83	2,40	1,48	0,75	3,50	1,42	0,78	0,37	0,65	0,64
Enxofre (%)	0,54	.	0,45	1,30	.	0,50	0,94	.	0,51	0,77	.	0,50	0,82	.	0,56	1,10	.	0,51
Ferro (%)	0,63	2,67	0,06	4,20	3,49	0,15	4,00	3,06	0,14	3,90	1,60	0,13	3,70	1,51	0,09	4,40	2,15	0,11
Cobre (mg kg ⁻¹)	5	6	5	135	49	8	134	45	9	116	45	9	83	46	9	111	39	9
Zinco (mg kg ⁻¹)	12	78	66	604	392	96	616	413	96	518	404	93	335	646	91	491	375	85
Manganês (mg kg ⁻¹)	101	494	107	158	384	133	180	387	144	226	909	203	239	646	207	664	1134	549
Sódio (mg kg ⁻¹)	347	.	.	309	.	.	344	.	.	422	.	.	387	.	.	244	.	.
Boro (mg kg ⁻¹)	16	.	.	21	.	.	12	.	.	15	.	.	10	.	.	11	.	.
RB966928																		
Nitrogênio (%)	1,40	1,82	1,95	1,70	2,05	2,48	1,70	2,14	2,43	1,40	2,01	1,83	1,10	1,86	2,28	1,50	1,99	2,38
Fósforo (%)	0,06	0,66	0,48	0,70	0,22	0,29	0,58	0,20	0,41	0,46	0,40	0,40	0,35	0,30	0,41	0,55	0,37	0,40
Potássio (%)	0,03	1,99	2,94	0,06	1,29	2,60	0,05	1,46	2,67	0,12	1,74	2,98	0,22	1,94	2,96	0,05	1,58	2,37
Cálcio (%)	2,00	0,94	0,92	1,70	0,90	0,82	1,40	0,69	0,89	1,10	0,64	0,83	0,75	0,53	0,66	0,96	0,56	1,14
Magnésio (%)	0,30	0,92	0,51	0,92	1,10	0,72	1,10	1,19	0,69	1,90	1,43	0,67	3,30	1,42	0,62	0,37	0,72	0,55
Enxofre (%)	0,64	.	0,47	1,70	.	0,48	1,10	.	0,43	0,87	.	0,38	0,70	.	0,40	1,00	.	0,39
Ferro (%)	0,62	0,42	0,06	4,70	2,83	0,10	4,30	2,59	0,13	3,60	1,01	0,21	3,50	1,47	0,15	4,50	2,28	0,22
Cobre (mg kg ⁻¹)	6	4	4	144	43	8	137	48	9	108	35	9	86	40	10	114	39	9
Zinco (mg kg ⁻¹)	3	72	54	626	395	91	615	412	92	440	352	89	346	383	97	476	347	96
Manganês (mg kg ⁻¹)	96	94	67	169	116	76	202	118	89	199	196	186	243	137	174	690	835	413
Sódio (mg kg ⁻¹)	341	.	.	297	.	.	365	.	.	326	.	.	380	.	.	324	.	.
Boro (mg kg ⁻¹)	15	.	.	16	.	.	14	.	.	13	.	.	9	.	.	9	.	.

Apêndice B - Teores de macro e micronutrientes dos substratos após o experimento e na massa seca da parte aérea e da raiz das mudas de cana-de-açúcar com 50 DAPT no período outono/inverno com lodo da ETE de Passo Fundo.

Parâmetro	T1				T2				T3				T4				T5			
	Substrato		Planta		Substrato		Planta		Substrato		Planta		Substrato		Planta		Substrato		Planta	
	Antes	Após	MSR	MSPA																
RB867515																				
Nitrogênio (%)	4,00	1,50	.	0,90	3,70	2,00	.	2,93	3,00	1,90	.	2,77	2,20	1,70	.	2,14	3,10	1,40	.	1,66
Fósforo (%)	2,40	0,08	0,25	0,25	1,90	0,71	0,69	0,57	2,00	0,68	0,63	0,41	1,50	0,62	0,92	0,50	2,00	0,43	0,29	0,53
Potássio (%)	0,31	0,08	1,26	2,58	0,31	0,13	0,79	1,29	0,28	0,14	0,68	1,38	0,35	0,16	0,89	1,34	0,22	0,13	0,89	2,04
Cálcio (%)	1,90	2,50	0,41	0,37	1,70	1,50	0,53	0,30	1,50	1,20	0,47	0,30	1,20	1,10	0,49	0,34	1,30	0,75	0,44	0,24
Magnésio (%)	0,82	0,30	0,21	0,39	1,30	0,84	0,14	0,55	1,90	1,40	0,25	0,60	2,30	2,30	0,63	0,67	0,44	3,70	1,07	0,67
Enxofre (%)	0,64	0,42	.	0,65	0,44	1,10	.	0,88	0,42	0,91	.	0,68	0,38	0,93	.	0,64	0,49	0,60	.	0,54
Ferro (%)	2,30	0,71	0,51	0,04	1,70	4,40	7,91	0,12	2,10	4,00	7,36	0,08	2,00	4,20	7,39	0,07	2,60	3,70	5,15	0,04
Cobre (mg kg ⁻¹)	157	7	6	2	148	180	59	5	131	162	41	3	110	151	29	4	126	117	24	4
Zinco (mg kg ⁻¹)	1100	24	22	22	1000	868	396	143	867	714	382	139	695	738	356	128	834	505	303	43
Manganês (mg kg ⁻¹)	417	106	64	68	325	180	136	101	397	148	113	90	364	185	117	87	743	195	141	125
Sódio (mg kg ⁻¹)	549	421	.	.	500	328	.	.	541	322	.	.	537	411	.	.	497	502	.	.
Boro (mg kg ⁻¹)	29	22	.	.	22	20	.	.	33	21	.	.	15	19	.	.	15	16	.	.
RB966928																				
Nitrogênio (%)	4,00	1,70	.	0,68	3,70	2,10	.	3,27	3,00	1,90	.	3,08	2,20	1,60	.	2,62	3,10	1,30	.	1,89
Fósforo (%)	2,40	0,08	0,19	0,41	1,90	0,70	0,87	0,54	2,00	0,76	0,58	0,61	1,50	0,59	0,45	0,46	2,00	0,41	0,34	0,50
Potássio (%)	0,31	0,10	1,18	2,77	0,31	0,13	0,69	1,68	0,28	0,13	0,77	1,72	0,35	0,14	0,77	1,82	0,22	0,16	0,88	2,12
Cálcio (%)	1,90	2,50	0,47	0,43	1,70	1,30	0,55	0,24	1,50	1,40	0,53	0,26	1,20	1,00	0,53	0,26	1,30	0,66	0,42	0,31
Magnésio (%)	0,82	0,31	0,26	0,42	1,30	0,85	0,17	0,46	1,90	1,30	0,37	0,52	2,30	2,50	0,79	0,61	0,44	3,80	0,88	0,52
Enxofre (%)	0,64	0,46	.	0,59	0,44	1,00	.	0,61	0,42	1,40	.	0,56	0,38	0,91	.	0,48	0,49	0,58	.	0,45
Ferro (%)	2,30	0,75	0,35	0,03	1,70	4,30	7,86	0,10	2,10	4,70	7,41	0,09	2,00	4,20	6,88	0,08	2,60	3,60	4,02	0,04
Cobre (mg kg ⁻¹)	157	8	3	3	148	180	37	4	131	166	35	5	110	150	30	4	126	111	19	4
Zinco (mg kg ⁻¹)	1100	26	17	21	1000	861	412	145	867	800	411	149	695	696	351	141	834	504	232	125
Manganês (mg kg ⁻¹)	417	111	60	66	429	177	115	68	411	174	127	67	397	189	122	73	399	201	110	89
Sódio (mg kg ⁻¹)	549	454	.	.	500	350	.	.	541	381	.	.	537	465	.	.	497	467	.	.
Boro (mg kg ⁻¹)	29	23	.	.	22	22	.	.	33	19	.	.	15	19	.	.	15	17	.	.