

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



Dissertação

Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona

Mariana Teixeira da Silva

Pelotas, 2015

Mariana Teixeira da Silva

Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona

Dissertação 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 Mestre em Agronomia (área do conhecimento: Fitotecnia).

Orientador: Sérgio Delmar dos Anjos e Silva

Co-Orientador (es): Eberson Diedrich Eicholz

Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli

Pelotas, 2015

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586l Silva, Mariana Teixeira da

Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona / Mariana Teixeira da Silva ; Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, orientador ; Eberon Diedrich Eicholz, Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli, coorientadores. — Pelotas, 2015.

80 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. Adubação orgânica. 2. Biossólido. 3. Ricinus communis
I. Silva, Sérgio Delmar dos Anjos e, orient. II. Eicholz, Eberon Diedrich, coorient. III. Morselli, Tânia Beatriz Gamboa Araújo, coorient. IV. Título.

CDD : 631.8

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Mariana Teixeira da Silva

Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 24 de fevereiro de 2015

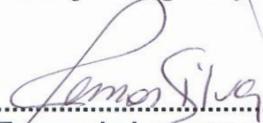
Banca examinadora:



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



.....
Dr. Luis Antonio Veríssimo Corrêa
Doutor em Produção Vegetal pela Universidad Politécnica de Madrid



.....
Dr. Claudia Fernanda Lemons e Silva
Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul



.....
Dr. Rosane Martinazzo
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

A minha família,
Ao meu esposo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Pai Celestial, pelas bênçãos concedidas.

Ao Pesquisador Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, que com grande satisfação e orgulho tive como orientador, e tenho imensa gratidão pela confiança.

Ao Pesquisador Dr. Eberson Diedrich Eicholz, coorientador que com competência em oleaginosas dirigiu-me neste caminho.

A Professora Dr. Tânia B. G. A. Morselle, coorientadora que com delicadeza e simplicidade deu-me os primeiros ensinamentos da agricultura sustentável.

Ao Vilmar Gonçalves, meu querido amigo, bênção que ganhei do criador para me ensinar e me guiar desde minha inclusão na Embrapa C. T.

Aos grandes amigos Eder Ribeiro e Rérinton Oliveira, que a vida profissional me contemplou de grande valia.

As estagiárias Vânia e Edenara que me ajudaram diretamente nas avaliações agronômicas e laboratoriais.

Ao Daniel Tavares, técnico da Corsan/RG responsável da ETE – Parque Marinha, por ter cedido o lodo de esgoto para a efetivação do presente estudo.

Ao Prof. Dr. Pedro J. Sanches Filho, Glauco e Nathaly pelo apoio nas determinações de metais realizadas no departamento LACA no IFSUL.

A Maria F. de Lima, coordenadora do projeto Lodo pela Cesan - ES, pelo presente 'manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto no estado de ES'.

Aos colegas de Pós-Graduação e amigos; Elis, Willian e Francis pelo companheirismo e construção do aprendizado.

Adilson, Alexssandra, Marcel, Wildon, Vanilton e Cândida; colegas de agroenergia que contribuíram com o trabalho em equipe tornando-o satisfatório.

Ao meu amor; Jeferson, que sempre me apoiou em todas decisões, e não para menos no mestrado com compreensão, seja capinando ou, seja cozinhando.

Aos meus pais Neusa e Generson, e meus irmãos Generson e Ricardo por serem meu porto seguro, minha fonte motivadora para orgulhá-los.

A Embrapa Clima Temperado e a Fapergs, pelo apoio e suporte da pesquisa, que sem as mesmas não seria viável.

AGRADEÇO

RESUMO

SILVA, Mariana Teixeira. **Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas.

A inserção no campo de alternativas de adubação economicamente e ambientalmente viáveis a produção agrícola familiar vem sendo estudada na substituição parcial ou total de insumos minerais com a estratégia de preservar o meio ambiente. Um insumo alternativo para os sistemas de produção agrícola familiar é o lodo de esgoto que apresenta teor nutricional elevado. Porém, algumas culturas se adaptam mais que outras ao seu uso, principalmente aquelas cujo ciclo permita beneficiar-se da liberação lenta do nitrogênio, como é o caso da mamona. A mamona apresenta-se como cultura adequada ao uso do lodo de esgoto por não ter o seu produto final destinado a alimentação humana. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico da mamoneira utilizando o lodo de esgoto como uma adubação nitrogenada alternativa e sua viabilidade sanitária/ambiental no uso agrícola perante a legislação do CONAMA 375/06. Foram testadas duas cultivares de mamona, cinco doses crescentes do lodo de esgoto e uma dose de adubação mineral. As características avaliadas foram: eficiência agrônômica da mamona em dois ambientes, efeito residual de nutrientes, afinidade da fauna edáfica, e aptidão sanitária ambiental de contaminantes no resíduo. Os resultados obtidos indicaram que o lodo é apto a utilização na agricultura, e a eficiência agrônômica da mamona foi responsiva as doses de lodo de esgoto. A fauna edáfica apresentou aceitabilidade ao resíduo alocado no solo como parte de sua cadeia alimentar.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Biossólido. *Ricinus Comunnis* L.

ABSTRACT

SILVA, Mariana Teixeira. **Sewage sludge as an raw material for castor oil production.**2015. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas.

The inclusion in the field of fertilization alternatives economically and environmentally viable for the family farm production has been studied in partial or total replacement of mineral inputs as an strategy of preserving the environment. An alternative input for the family agricultural production systems is the sewage sludge that has a high nutritional content. However, some crops are more suited than others to their use, particularly those that allow the cycle is benefited from the slow nitrogen release, such as castor oil. Castor bean is presented as suitable culture to the use of sewage sludge because its final product is not used for human consumption. In this sense the objective of this work was to evaluate the agronomic performance of castor bean using sewage sludge as alternative nitrogen fertilization and their health / environmental sustainability in agricultural use according to the CONAMA 375/06 legislation. Two castor bean cultivars, five increasing doses of sewage sludge and a dose of mineral fertilizer were tested. The evaluated characteristics were: agronomic efficiency of the castor in two environments, the residual effect of nutrients, affinity of soil fauna, and environmental health fitness of contaminants in the waste. The results indicated that the sludge is suitable to be used in agriculture, and the agronomic efficiency of castor beans was responsive to sewage sludge doses. The soil fauna showed acceptability to the residue allocated in the soil as part of their food supply.

Keywords: Organic manure. Biosolids. *Ricinus Comunnis* L.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Características que um elemento químico potencialmente tóxico pode assumir ao ser disposto ao solo como componente de um resíduo orgânico (KIEHL, 2004).23
- Figura 2** - Leito de secagem do lodo na Corsan/RS (A), acondicionamento do lodo para transporte (B), lodo de esgoto utilizado (C)32
- Figura 3** - Radiação solar e precipitação pluviométrica de dezembro/2013 a julho/2014 em Pelotas/RS.33
- Figura 5** - Plântulas de mamona com 8 DAE (A), com 50 DAE (B), e com 85 DAE (C).35
- Figura 6** – Instalação do experimento (A), plantas com 67 DAE (B) e (C).36
- Figura 7** – Plântulas de ervilha com 12 DAE (A), com 39 DAE (B), com 78 DAE (C)37
- Figura 8** – Curvas de crescimento da cultivar BRS Energia em diferentes tratamentos. Pelotas/RS, 2015.....39
- Figura 9** – Curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos. Pelotas/RS, 2015.....40
- Figura 10** – Altura de inserção do primeiro racemo em cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.....41
- Figura 11** – Produtividade de cultivares de mamona e doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.42
- Figura 12** – Peso da massa de 100 sementes em cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.43
- Figura 13** – Teor de óleo na primeira floração de cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.45
- Figura 14** – Teor de óleo na segunda floração de cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.45
- Figura 15** – Curvas de crescimento da cultivar BRS Energia em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.47

- Figura 16** – Curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.48
- Figura 17** – Altura de inserção do primeiro racemo de cultivares de mamona em telado sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.49
- Figura 18** – Produção de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar BRS Energia de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.50
- Figura 19** – Produção de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar AL Guarany 2002, de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.50
- Figura 20** – Número de vagens emitidas de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar BRS Energia de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.....51
- Figura 21** – Número de vagens emitidas de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar AL Guarany 2002 de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 201552

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Concentração máxima permitida de elementos inorgânicos no lodo de esgoto (mg/Kg, base seca), segundo a CONAMA 375 de 2006.21
- Tabela 2** - Classes de lodo de esgoto - agentes patogênicos (CONAMA, 2006).....21
- Tabela 3** – Caracterização química e patogênica do lodo de esgoto (base seca) da estação de tratamento de esgoto de Rio Grande. Pelotas/RS, 2015.34
- Tabela 4** – Composição química dos tratamentos utilizando lodo de esgoto (LE) e adubação mineral. Pelotas/RS, 2015.....34
- Tabela 5** – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar BRS Energia para os diferentes tratamentos.....39
- Tabela 6** – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos.40
- Tabela 7** – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar BRS energia em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.47
- Tabela 8** – Metais pesados em sedimentos comparados com a resolução CONAMA 375 de 2006.61
- Tabela 9** – Comparação da taxa de aplicação de LE anual máxima de metais em solos agrícolas (CETESB P4230) com o LE utilizado no experimento...61
- Tabela 10** – Metais pesados em duas cultivares de mamona (C1 e C2) com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4, e T5); de doses de LE respectivamente em Kg ha^{-1} (0, 800, 1.500, 2.300 e 3.000).....63
- Tabela 11** – Concentração de patógenos contidos no lodo de esgoto. Pelota/RS, 2015.65
- Tabela 12** – Índice de Shannon-Wiener (H) e Coeficiente de Afinidade (CA) de ácaros (a) e colêmbolos (c) aos 30 e 120 dias após a emergência (DAE), em cultivo de mamona sob doses de lodo de esgoto.....66

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 INSUMOS ALTERNATIVOS E A QUALIDADE DO SOLO	15
2.2 O LODO DE ESGOTO.....	16
2.3 A CULTURA DA MAMONA	26
3 METODOLOGIA GERAL	29
4 CAPÍTULO I.....	31
Desempenho agrônômico de mamona sob doses crescentes de lodo de esgoto.	
4.1 INTRODUÇÃO.....	31
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.4 CONCLUSÕES.....	53
5 CAPÍTULO II.....	54
Aptidão ambiental para o uso de lodo de esgoto na agricultura.	
5.1 INTRODUÇÃO.....	54
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	56
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.4 CONCLUSÃO	67
6 DISCUSSÃO GERAL.....	68
7 CONCLUSÃO GERAL.....	69
8 REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO GERAL

A oferta de saneamento básico é fundamental em termos de qualidade de vida, pois sua ausência ocasiona poluição dos recursos hídricos, trazendo prejuízo à saúde da população, principalmente o aumento da mortalidade infantil. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB 2008, pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) tinham serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, que é o sistema apropriado; o custo da falta de investimentos em saneamento, por mais de duas décadas, especialmente em sistemas de coleta e tratamento de esgotos chega a R\$ 11,1 bilhões (AGENDA 2020).

No estado do Rio Grande do Sul o maior problema do saneamento básico é o esgotamento sanitário, onde apenas 19% da população gaúcha têm acesso à coleta e tratamento (IBGE, 2010). Do total de resíduos sanitários gerados no estado no ano de 2012, 31,21% é coletado e a partir deste índice de coleta apenas 36,61% é tratado (SNIS, 2014). Porém, 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, onde neste período haverá um crescimento proporcional dos resíduos gerados pelas estações de tratamento de esgoto.

O lodo é um resíduo do tratamento de esgotos, que se acumula nos pátios das estações de tratamento de esgoto (ETEs). As estações geralmente estão localizadas em áreas urbanas, ocupando espaço nem sempre disponível, com elevado custo de operação podendo causar impacto ao ambiente, caso não se encontrem alternativas viáveis de utilização (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002).

A necessidade de se encontrar alternativas viáveis sob o ponto de vista social, econômico e ambiental para a reciclagem, seria a utilização agrícola do lodo; devido a sua capacidade nutricional disponível. Esta prática seria vantajosa aos pequenos agricultores, na medida em que reduz os custos de produção e mantém a produtividade da lavoura (TRANNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2005).

Porém, devido à possível presença de metais pesados e organismos patogênicos na sua composição, a utilização agrícola é ambientalmente questionável (ROCHA; SHIROTA, 1999); mas ao controlar estes passivos, Melo (2002), sugere que o lodo de esgoto poderá ser utilizado como biofertilizante em substituição parcial ou total ao fertilizante mineral, uma vez que seu uso diminuiria os elevados custos da fertilização na agricultura. De acordo com Trannin et al., (2005), pesquisas para definição das taxas de aplicação, viabilidade técnica e segurança ambiental são necessárias. Para isso, o lodo de esgoto 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). A transferência de metais do solo para as culturas pode resultar em prejuízo à saúde humana (DAMASCENO; CAMPOS, 2004).

Uma forma de avaliar qualidade do solo com diferentes manejos é o monitoramento da fauna edáfica. Segundo Lavelle (2001) esses organismos que vivem no solo são essenciais na decomposição e mineralização da matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo, acelerando o processo de reciclagem de nutrientes no ecossistema, tornando-os disponíveis para plantas. Desse modo, a fauna edáfica atua diretamente nas interferências no ambiente agrícola, ocasionadas pelo manejo do solo e das culturas (BARETTA et al., 2003).

De acordo com Malavolta (2006), o nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das espécies vegetais, fazendo parte de várias estruturas nas plantas superiores e estando sujeito a diversas reações no solo. O Brasil é o 4º maior consumidor de Nitrogênio no mundo (IFA 2012); o qual no que se refere a participação na oferta de N., produzindo 18% e importando 82% para poder suprir os cultivos no país (ANDA, 2014) acarretando alto custo de compra deste insumo ao produtor. O lodo de esgoto surge com a proposta de adubação de base nitrogenada devido seu alto potencial referido a este elemento. Diversos trabalhos apresentam na sua caracterização cerca de 4% de nitrogênio total, e por ser rico em matéria orgânica, disponibiliza lentamente o nutriente para a planta com menores perdas do mesmo. Algumas culturas se adaptam mais do que outras ao uso do lodo como adubação alternativa, principalmente as culturas cujo ciclo permita beneficiar-se da liberação lenta do nitrogênio, como é o caso da mamona (TSUTIYA, 2000). Além disso, a mamoneira apresenta-se como cultura adequada aos testes de uso do lodo

por não ser o seu produto final destinado a alimentação humana e ser uma planta julgada como “fitorremediadora” de solo.

Seguindo as condições estabelecidas pela Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente sobre limites de metais pesados, patógenos e suas cargas máximas aplicadas de lodo de esgoto na agricultura e a respectiva autorização de uso junto ao órgão ambiental local (FEPAM), este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho agrônômico da mamoneira utilizando o lodo de esgoto como uma adubação alternativa e sua viabilidade sanitária/ambiental no uso agrícola.

No primeiro capítulo é estudada a aplicação deste resíduo em duas cultivares de mamona em condições experimentais de campo e casa de vegetação, sendo avaliadas as variáveis agrônômicas de crescimento, desenvolvimento e produção das plantas adubadas com doses de lodo e, por conseguinte avaliado o efeito residual do lodo através de um experimento com cultivo de ervilha no mesmo local em casa de vegetação. No segundo capítulo são avaliadas a constituição química do lodo de esgoto e variáveis de interesse ambiental, discorrendo sobre os parâmetros de uso estabelecido pela legislação como teores de metais e agentes patogênicos presentes no lodo e a transferências dos mesmos para as plantas, bem como a afinidade da fauna edáfica com o resíduo; fazendo assim uma análise de uso do lodo de esgoto e seus riscos e impactos ambientais no solo e nas plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INSUMOS ALTERNATIVOS E A QUALIDADE DO SOLO

A curto prazo, a adubação tem o papel de fornecer á planta todos os elementos de que necessita para se desenvolver e dar uma colheita “rentável”. A longo prazo, é oportuno prever a manutenção da fertilidade do solo, além de não se provocar eventuais desequilíbrios. Em segundo lugar, torna-se necessário evitar desequilíbrio nutricional das plantas, seja resultante da ordem quantitativa dos elementos colocados no solo ou da própria natureza destes elementos (CHABOUSSOU, 2012).

De acordo com Morselli (2009), o uso de fertilizantes convencionais, embora traga na maioria das vezes consequências bastante desagradáveis quanto ao uso do solo, são os mais conhecidos e recomendados no mercado nacional. Uma gama de produtos não convencionais, também pode ser encontrada no mercado e serem usados como é o caso esterco, vermicompostos, farinha de peixe, guano, entre outros. Morselli ainda cita os resíduos de águas servidas como fonte de matéria orgânica, que quando aplicado como torta seca apresenta grande potencial.

Segundo Penteadó (2000), um solo saudável é um ambiente com vida. Ele está cheio de organismos vivos como minhocas, insetos, ácaros, bactérias, e outros microorganismos que vivem no solo. A maioria desta fauna são benéficas ao solo e plantas. No entanto grande parte dos fertilizantes químicos, pela sua elevada concentração e acidez, causam efeitos negativos em muitos destes organismos benéficos, que fazem com que a matéria orgânica seja decomposta na forma de húmus, além de outras funções.

A matéria orgânica atua diretamente na biologia do solo, constituindo uma fonte de energia e de nutrientes para os organismos que participam de seu ciclo biológico, tendo papel importante na fertilidade e produtividade do solo (Morselli, 2009). Dentre os diversos integrantes da biologia do solo, a fauna edáfica pode ser utilizada como uma ferramenta de indicação biológica de qualidade do solo,

podendo ser útil na avaliação de agrossistemas (WINK et al., 2005 & FORNAZIER et al., 2007).

A fauna edáfica é agente e reflete as condições do meio ambiente. São as características de habitat, como clima, tipo de solo, quantidade da serrapilheira acumulada, conteúdos de matéria orgânica, tipo de manejo, entre outros, que determinam quais os grupos da fauna do solo que estarão presentes e em que quantidades (CURRY & GOOD, 1992 citado por MORSELLI EM 2009). De acordo com Bachelier (1963), alguns fatores responsáveis pela manutenção da fauna edáfica no solo são, principalmente, a disponibilidade de nutrientes, a umidade do solo, porosidade e aeração, textura, temperatura do solo e incidência direta do sol.

2.2 O LODO DE ESGOTO

Sistema de tratamento de águas residuárias

Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos foram funcionalmente regulados para remover a matéria orgânica e os sólidos, com a preocupação posteriormente em reduzir outros constituintes, como nutrientes e organismos patogênicos.

Segundo Von Sperling (1996), o tratamento de esgoto domiciliar é separado em 4 níveis básicos: preliminar, primário e secundário e terciário ou pós-tratamento. Cada um deles tem o objetivo de remover os sólidos suspensos, remover os sólidos dissolvidos, a matéria orgânica, e os nutrientes e os organismos patogênicos. Esses níveis de tratamento são comuns no Brasil.

O tratamento preliminar consiste basicamente na remoção dos sólidos grosseiros e areia, feita por gradeamento na chegada do efluente residual de esgotos. Logo após a esta etapa, se dá início ao tratamento primário, que tem por objetivo remover os sólidos em suspensão e os sólidos flutuantes. No tratamento secundário tem-se como objetivo remover a matéria orgânica através de processos biológicos. Para finalizar o tratamento do efluente na fase líquida o tratamento terciário objetiva remover do efluente secundário as substâncias que o torna impróprio para um determinado fim ou para ser lançado num corpo hídrico. Concluído os tratamentos na fase líquida do residual de esgotos, dá-se início a tratamento da fase sólida do esgoto, chamado de processamento do lodo; onde o residual de todos os tratamentos na fase líquida encontra-se com elevado teor de

umidade, cujo processo de desidratação torna-se necessário para poder atender qualquer necessidade de operação com lodo final.

Apesar do lodo não ser o único subproduto gerado em uma ETE, ele tem uma 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 de uma ETE (TSUTIYA et al., 2001). Conforme COPASA (2014) as principais etapas de tratamento do lodo são: adensamento, estabilização e desidratação.

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. O método empregado 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. O objetivo desta fase é remover a água e reduzir ainda mais o volume. No Rio Grande do Sul a ETE utiliza método de desaguamento por leito de secagem (CORSAN, 2014).

O Rio Grande do Sul tem como empresa responsável pela coleta e tratamento da maioria das cidades a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), o qual no contrato feito entre a companhia e as prefeituras, o tratamento de esgoto não se encontra distinguido em nenhuma cláusula contratual. Tal situação tende a mudar ao passo que um decreto em 2014 (decreto nº 8.211) que regulamentou a Lei nº 11.445 de 2007, torna obrigatória a elaboração de planos municipais de saneamento básico no país, onde devem ser estabelecidas as metas para universalização de serviços como abastecimento de água e esgotamento sanitário, para que os municípios tenham direito a recursos da União destinados a serviços de saneamento básico, a partir de 31 de dezembro de 2015.

O Jornal da cidade de Pelotas ressaltou em sua edição no mês de janeiro de 2014 (Diário Popular, 2015) o envolvimento destes parâmetros na zona sul do estado, discorrendo que o Governo Federal, por sua vez, investe recursos nos municípios através da etapa Saneamento, do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2), que visa aumentar a cobertura de coleta e tratamento de

esgoto, proteção dos mananciais, despoluição de cursos d'água e o tratamento de resíduos sólidos. Para tanto, os municípios que receberão os recursos foram divididos em três grupos. O primeiro abrange grandes regiões metropolitanas do país, municípios com mais de 70 mil habitantes, estando neste grupo os municípios de Pelotas e Rio Grande. No segundo grupo ficam as populações entre 50 mil e 70 mil, Canguçu é o representante da Zona Sul entre estes. As demais cidades da região entram no terceiro grupo, com municípios de menos de 50 mil habitantes.

A nível nacional as mudanças também devem caminhar rumo a universalização do saneamento básico. De acordo com Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2013), a região norte coleta 16,64% de esgoto e trata 85,25%; a região do Nordeste coleta 34,17% e trata 78,13%; Sudeste coleta 66,04% e trata 64,28%, Centro-oeste coleta 49,93% e trata 91,62%; e a região do Sul do Brasil coleta 43,05% e trata 78,93% do esgoto coletado.

Utilização agrícola do lodo de esgoto

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). O tratamento de esgotos resulta na produção de um residual rico em nutrientes e matéria orgânica, chamado lodo de esgoto (GRAY, 2005).

O lodo de esgoto contempla na sua composição, nutrientes e elementos benéficos necessários para o desenvolvimento e produção de diversas espécies vegetais, as quais têm sua proporção maior na forma orgânica, que são liberados gradativamente ao solo, por meio de processos oxidativos, aumentando a absorção sustentável pelas plantas e diminuindo os riscos de poluição ambiental (MELO; MARQUES, 2000).

Algumas melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo têm sido observadas à aplicação de lodo de esgoto como um insumo alternativo, assim como desenvolvimento, estado nutricional, principalmente no fornecimento de nitrogênio, e produtividade das plantas de interesse econômico; sendo este julgado

semelhante, ou mesmo superior, ao promovido pelo manejo agrícola convencional (MELO et al., 2001 e ABREU JÚNIOR et al., 2005). Barros et al. (2002) verificaram ocorrência de aumento dos teores de nitrogênio em plantas de milho e feijão, que foram proporcionais ao aumento das doses de lodo de esgoto adicionadas.

Neste sentido, fontes alternativas, como os adubos orgânicos, são apontadas como formas de minimizar as perdas de nitrogênio por lixiviação e, conseqüentemente, reduzir a contaminação dos corpos hídricos. Isto porque os insumos orgânicos disponibilizam os nutrientes gradativamente, à medida que são mineralizados. Piovesan et al. (2009) justificam este processo como uma forma de ajustar a adubação nitrogenada. Outro fator relevante é determinar a concentração do nutriente na planta para avaliar o estado nutricional da cultura de acordo com cada recomendação.

A utilização de lodo de esgoto como fertilizante tem aumentado a produtividade de diversas espécies de interesse agrônômico (SILVA et al. 2010). A maior disponibilidade de nutrientes no solo decorrente da aplicação de lodo de esgoto pode levar a um melhor desenvolvimento da planta. Entretanto, em função da composição variável do lodo, nem sempre é mantido o equilíbrio adequado entre os diferentes nutrientes, de modo que, mesmo havendo aumento na disponibilidade de alguns nutrientes, a planta poderá não responder (MELO; MARQUES, 2000). Para tanto, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006) aconselha o cálculo de adubação com base no N disponível, assim como Silva et al. (2001) aconselha a complementação potássica como imprescindível para a obtenção de boas produções, uma vez que o resíduo é pobre neste elemento.

Diversos trabalhos têm mostrado aumentos na produção de matéria seca e de grãos por culturas cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto. Em alguns casos, os aumentos são equiparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação mineral recomendada para a cultura (SILVA et al., 2001). O efeito do lodo de esgoto na produtividade das culturas vem sendo avaliado em diversas condições, doses, tipo de material e solo. Algumas pesquisas demonstram que a incorporação do lodo de esgoto aumentou em 20 a 50% a produtividade de diferentes culturas (BARBOSA et al., 2002).

Martins et al. (2003) utilizaram doses de 20, 40, 60 e 80 t ha⁻¹ de base seca em experimentos com milho, onde constataram que a produção de grãos e massa seca teve aumento linear com a adição de lodo de esgoto. Pedroza et al. (2003)

avaliaram a aplicação de lodo na cultura do algodão, sob doses de 2 a 12 t ha⁻¹, que respondeu positivamente com aumentos de produtividade. A soja (VIEIRA, 2001) e o feijão (VIEIRA et al., 2002, LOBO et al., 2012) também se mostraram viáveis sob doses de lodo de esgoto.

Devido às restrições de várias culturas consideradas inaptas ao uso do lodo de esgoto pela resolução do CONAMA 375/06, as culturas do setor agroenergético vêm sendo amplamente utilizada em testes com lodo de esgoto, por não serem usadas diretamente na alimentação humana.

A cana-de-açúcar é uma cultura que tem sido bastante utilizada em experimentos com utilização agrícola do lodo. Chiba (2005 e 2008), aplicando 16 t ha⁻¹ de lodo de esgoto em cana-soca, concluiu que o lodo pode substituir 100% do adubo nitrogenado, assim como Camilotti et al. (2006) constataram que o lodo de esgoto como fonte de N foi eficiente na produtividade e na qualidade industrial de cana-soca de 3° e 4° cortes. Porém, Marques et al. (2007), testando várias doses de lodo em cana, observou que mesmo a maior dosagem (160 t ha⁻¹) não apresentou eficiência nas características agroindustriais da cana-de-açúcar.

No girassol, a substituição do nitrogênio mineral pelo do lodo de esgoto tem sido viável (LOBO & GRASSI FILHO 2007; 2014) e também como fonte de P (RIBEIRINHO et al., 2012); no pinhão-manso a dose de 11 t ha⁻¹ de lodo surtiu maior efeito no crescimento e diâmetro da copa (PRATES et al., 2011). Na cultura da mamona, alguns trabalhos mostraram o efeito positivo do lodo de esgoto como um insumo ou adubação alternativa, como Souto et al., (2005); Oliveira et al., (2009); Backes et al., (2009); Souza et al., (2010) e Nascimento et al., (2011).

Com relação aos atributos físicos, a matéria orgânica presente no lodo de esgoto influi positivamente na melhora do estado de agregação das partículas do solo proporcionando aumento na porosidade total, diminuição da densidade do solo pelo aumento de aeração, e aumento da capacidade de retenção de água do solo que é afetada pelo número e distribuição dos poros e pela superfície específica (MELO & MARQUES, 2000; MARIA et al., 2010).

Em regiões de clima temperado, Walsh (1979) citado por Abreu Jr. et al. (2005) discorre que os nutrientes, predominantemente contidos no lodo de esgoto na forma orgânica, têm uma vantagem adicional em relação aos existentes nos fertilizantes minerais, pois seriam liberados ao solo no decorrer do ciclo da planta, reduzindo dessa forma as perdas por lixiviação.

Lodo de esgoto e os passivos ambientais

O lodo de esgoto ao ser destinado a reciclagem agrícola, apesar do potencial agrônômico e econômico como um insumo alternativo, possui muitas vezes em sua composição substâncias potencialmente tóxicas, como os metais pesados, que devem ser observados para a utilização segura alimentar e ambiental. Dentre as características indesejáveis possíveis no lodo de esgoto estão as substâncias inorgânicas (metais pesados) e os agentes patogênicos, estes devem ser manejados com cuidado no que tange a disposição no solo e posteriormente a transferência para os tecidos vegetais. Segundo o Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA, 2006), para o uso de lodo de esgoto como componente de produtos destinado para fins agrícolas, deverá atender aos limites para elementos potencialmente tóxicos (Tabela 1 e 2).

Tabela 1 - Concentração máxima permitida de elementos inorgânicos no lodo de esgoto (mg/Kg, base seca), segundo a Resolução do CONAMA, 375 de 2006.

Elementos	Concentração	Elementos	Concentração
Bário	1300	Mercúrio	17
Cádmio	39	Molibdênio	50
Chumbo	300	Níquel	420
Cobre	1500	Selênio	100
Cromo	1000	Zinco	2800

Tabela 2 - Classes de lodo de esgoto - agentes patogênicos (CONAMA, 2006).

Tipo de lodo de esgoto	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes $<10^3$ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos $< 0,25$ ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus $< 0,25$ UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes $<10^6$ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

Os organismos patogênicos presentes no esgoto sanitário, podem ser divididos em grupos de fungos, vírus, bactérias e parasitários, no entanto a diversidade de patógenos presentes no lodo é muito variável, estando ligada as características da população e ao tipo de tratamento do lodo em cada estação ou companhia responsável. Dentre os agentes patogênicos presentes, o mais

preocupante a segurança alimentar são ovos de helmintos, pois é um parasita intestinal (ROITT et al., 1997).

A contaminação do solo e corpos hídricos com metais pesados tem aumentado nos últimos anos, e conseqüentemente, tem promovido um problema ambiental. Áreas contaminadas com cobre em minas de cobre, têm sido objeto de estudos de remediação para mitigar os problemas de poluição que afetam negativamente a produção agrícola próxima ao local e a qualidade ambiental (ANDREAZZA et al., 2010). Os metais prontamente biodisponíveis para serem absorvidos pelas plantas são o níquel, cádmio, arsênio e cobre. Enquanto que o Chumbo e Cromo não são disponíveis às plantas sem a adição de agentes complexantes (SCHNOOR, 2002).

De acordo com Hue (1988), a matéria orgânica pode regular a disponibilidade dos metais por reações de quelação, em que os metais podem formar estruturas estáveis, tornando-se indisponíveis às plantas. Estudos têm demonstrado que metais aplicados em solos agrícolas sob a forma de sais metálicos mostram-se mais disponíveis às plantas que metais aplicados em quantidades equivalentes sob a forma de lodo de esgoto. Isto ocorre, pois os sais metálicos adicionam apenas o ânion ligado ao metal enquanto o lodo adiciona matéria orgânica, Fe e Ca (KORCAK, FANNING, 1985).

Kiehl (2004) comenta que é um engano discorrer que, ao adubar o solo com insumo orgânico ou mesmo mineral contendo metais pesados, dentro dos limites aceitáveis, toda a quantidade aplicada será prontamente assimilada pela cultura. A figura 1, mostra que apenas uma pequena porção será biodisponível às raízes e por elas bioassimilada.



Figura 1 - Características que um elemento químico potencialmente tóxico pode assumir ao ser disposto ao solo como componente de um resíduo orgânico (KIEHL, 2004).

Lodo de esgoto e a legislação pertinente a fins agrícolas

Diversos países possuem normas técnicas que regulamentam a maneira adequada de utilizar o lodo de esgoto nos solos agricultáveis. No Brasil, alguns estados propuseram suas próprias normas e/ou manuais orientando a maneira adequada de utilizar o lodo de esgoto como reciclagem agrícola. Paraná em 1997, São Paulo em 1999, Espírito Santo em 2011 são alguns estados brasileiros a estabelecerem normas técnicas que regulamentam o uso do lodo de esgoto para fins agrícolas.

No caso do Paraná, em 1997 a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) elaborou Manuais Técnicos que procuram orientar o futuro usuário do lodo de esgoto como insumo agrícola, os operadores de estações de tratamento e os tomadores de decisão sobre os procedimentos de manejo do lodo. O manual traz a origem do lodo, sua composição e culturas recomendadas para o uso. Além disso, demonstra alguns resultados de produtores do Paraná que conseguiram aumento entre 20% e 50% na produtividade utilizando o lodo.

No estado de São Paulo em 1999, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) estabeleceu normas técnicas que regulamentam

o uso agrícola de lodos resultantes de tratamentos biológicos, incluindo o lodo de esgoto (Norma Técnica P4.230). Esta norma descreve os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais aplicadas a todos os sistemas operados no Estado de São Paulo.

Em 2011, no Espírito Santo, o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e a Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan), lançaram o primeiro Manual de Uso Agrícola e Disposição do Lodo de Esgoto para o Estado do Espírito Santo. O manual traz todos os passos e mostra a viabilidade da utilização do lodo de esgoto na produção agrícola do estado. Apresentando desde a higienização do lodo, recomendações para as culturas capixabas e mapeamento de áreas potenciais.

No Distrito Federal, a CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) incentiva a destinação ambientalmente equilibrada de lodo da sua unidade geradora por meio de sua incorporação ao solo agricultável, isto é, por meio da reciclagem dos seus nutrientes e matéria orgânica em atividades de agricultura, de silvicultura ou de recuperação de áreas mineradas, no entanto exige que o usuário de seu resíduo atenda as restrições da legislação nacional vigente (CONAMA 375/2006).

Em agosto de 2006, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publica a resolução normativa federal 375, com a qual os estados podem elaborar ou continuar seguindo normas próprias, no entanto as normas estaduais podem ser mais restritivas que a norma federal, mas nunca mais permissivas. Esta normativa incumbe os requisitos mínimos sanitários do lodo de esgoto, as formas de aplicação, as culturas permissíveis, restrições locais e a aptidão do solo em áreas de aplicação, carga acumulada teórica, o projeto agrônomico e as condições de uso.

A mesma ainda define que algum dos processos deverão ser utilizados na redução significativa de patógenos: digestão aeróbica, digestão anaeróbica, estabilização com cal, compostagem ou simplesmente permanecer por um período mínimo de três meses em leito de secagem antes da utilização agrícola.

Para a elaboração do projeto agrônomico, o CONAMA estabelece que ao utilizar o lodo de esgoto a UGL (unidade geradora legal) ou quem vá utilizar o

resíduo procure o órgão ambiental local para auferir a autorização de uso, aplicação e transporte do lodo. Devendo apresentar: Caracterização da instalação de tratamento de esgoto-ETE ou UGL; caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado; caracterização das áreas de aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado; localização da alocação; caracterização do solo das áreas de aplicação de lodo de esgoto ou produto; taxa de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado; apresentar detalhamento do armazenamento e transporte do lodo de esgoto ou produto derivado; apresentar planos de aplicação e manejo; elaborar um relatório de operação; apresentar descrição do monitoramento para o acompanhamento da aplicação do lodo; e a anotação de responsabilidade técnica que deve ser indicado o responsável pelo projeto.

No Rio Grande do Sul, não há normativa específica que estabeleça a utilização agrícola do lodo de esgoto. Porém, o órgão ambiental local licencia atividades de pesquisa com o resíduo de acordo com o projeto agrônomico exigido pelo Conama. A utilização agrícola do lodo, por ser incipiente no estado do RS, somente é autorizada para fins de experimentos de pesquisa, junto ao órgão ambiental local Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), vinculado a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA).

Apesar das diretrizes de legislação específica à utilização agrícola do lodo de esgoto variarem consideravelmente entre países, e no caso do Brasil, entre estados, a experiência mundial tem mostrado que a aplicação do lodo de esgoto na agricultura (obedecendo a diretrizes fixadas para o seu uso), não ocasiona efeito adverso ao homem ou ao ambiente, reduz os efeitos adversos causados por outras formas de deposição final (como a incineração, aterros sanitários, despejo em corpo hídrico), melhora o balanço do CO₂ pelo incremento da matéria orgânica no solo e o principal, diminui a necessidade de fertilizantes minerais para produção agrícola, podendo gerar economia ao pequeno agricultor próximo ao local.

2.3 A CULTURA DA MAMONA

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa anual da família Euphorbiaceae de origem afro-asiática amplamente adaptada e distribuída no mundo (WEISS, 2000). No território nacional, a mamona vem conquistando amplamente seu espaço nos estados do Nordeste e Sudeste (COSTA et al., 2009), com 101,3 mil hectares da cultura plantada no país na safra de 2013/2014 e com estimativa de safra 2014/2015 um aumento para 137,6 mil ha (CONAB, 2014). No Rio Grande do Sul, em 2003 a Embrapa Clima Temperado deu início às pesquisas com esta cultura, comprovando que a espécie é viável e apresenta alta produtividade no Sul do Brasil, porém segundo CONAB (2014) o Sul conta com somente 0,2 mil hectares na safra 2013/2014 de cultivo de mamona.

Weiss (2000) cita que a mamona apresenta morfologia, biologia floral e fisiologia muito complexa, com metabolismo fotossintético C₃, porte variando de 0,8 a 5 m de altura, ramificação caulinar tipo simpodial, raízes fistulosas, expressão sexual variada e particularidades de inflorescências. De acordo com Silva (2007) a mamoneira é uma planta monóica que apresenta inflorescência do tipo panicular, denominado de rácemo, com flores femininas posicionadas na parte superior e as masculinas na parte inferior da inflorescência. Silva ainda descreve a mamona como uma planta com hábito de crescimento indeterminado, produzindo várias ordens de rácemo com maturação em épocas diferentes.

O fruto da mamoneira apresenta aproveitamento integral, tendo como principal produto o óleo, que possui várias aplicações na indústria e no mercado; além disso, o rendimento com óleo da mamona é muito elevado, visto que um litro de óleo fornece um litro de biodiesel, e isso é considerado no mercado de biodiesel como excelente devido ao seu alto teor de óleo, da ordem de 48 a 50% (BELTRÃO, 2003 & CARNEIRO, 2003).

Silva et al. (2007) comenta que a prioridade do produtor de mamona é agregar valor à produção, podendo explorar a potencialidade de derivados de óleo e de coprodutos da cadeia produtiva da mamona, como a torta residual da extração de óleo e a glicerina gerada na produção de biodiesel. O autor ainda esclarece que o óleo de mamona tem importância em diversos setores produtivos, entre têxtil, celulose e papel, tintas e vernizes, lubrificantes, plásticos, farmacêuticos e de cosméticos; e a torta de mamona, embora venha sendo estudada como alimento

animal, é predominantemente utilizada como adubo orgânico e possui efeito nematicida no solo (SILVA et al. 2007).

Segundo Beltrão (2001), a produtividade da mamona está diretamente relacionada à interação planta/cultivar e ambiente. Por sua vez, pode-se considerar que as baixas médias de produtividade nacional são decorrentes do baixo nível tecnológico adotado pelo produtor e pelo uso incorreto de insumos (SAVY FILHO, 2005). O suprimento de nutrientes em proporções adequadas é essencial para uma ótima produção vegetal, mas nem sempre isto é considerado na prática agrícola. A muito tempo sabe-se que o nitrogênio é o nutriente mais exportado pelas plantas, inclusive pela mamona (NAKAGAWA, 1971). Por isso, Santos (2004) justifica que o estudo deste nutriente na cultura da mamona é de suma importância, afinal a mamona tem alta demanda de N no crescimento e produção de área foliar.

Existem várias cultivares de mamona disponíveis para o cultivo em nosso país, variando em porte, deiscência dos frutos, tipo dos cachos e outras características. Em 2002, foi lançada a cultivar AL Guarani 2002 pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI); trata-se de uma cultivar com ciclo de 180 dias, porte médio variando entre 1,6 e 2,4m, sementes pesando aproximadamente 0,46g e contendo 48% de óleo, produtividade com grande variabilidade entre 1.000 e 2.500 Kg/ha⁻¹, e frutos indeiscentes. A cultivar BRS Energia foi desenvolvida pela rede Embrapa em 2007, destaca-se pelo seu ciclo de 120 a 150 dias, tem porte baixo em torno de 1,40m, racemos com tamanho médio de 60cm, as sementes pesam entre 0,40g e 0,53g contendo 48% de óleo, produtividade média de 1.500 Kg/ha⁻¹ e seus frutos são indeiscentes (COSTA, 2014).

A cultura da mamona é responsiva a adubação, sendo as exigências nutricionais da cultura em torno de 68 Kg N/ha, 90 Kg P₂O₅/ha e 84 Kg K₂O/ha (SILVA, 2007).

A fitorremediação pode ser definida como o uso de plantas e dos microorganismos associados para remover, degradar ou sequestrar contaminantes perigosos do solo, da água e do ar (PRASAD, 2001).

O emprego de uma cultura de alta capacidade de produção de bioenergia, com fitorremediação, representa uma opção atrativa e viável para os agricultores adotarem, como estratégia de biorremediação em áreas que por exemplo possam ter sido contaminadas com altos níveis de cobre (ANDREAZZA et al., 2010). A mamona apresenta crescimento rápido, boa produção de biomassa, alta rusticidade

e capacidade de colonizar ambientes com condições adversas; características estas que competem a uma planta fitorremediadora. Com base nestas características, alguns autores vêm estudando a mamoneira como uma cultura de potencial fitorremediador de solos contaminados por metais pesados. No entanto as pesquisas são incipientes.

Em experimento com solução nutritiva Romeiro et al. (2006) caracterizaram a mamona como uma espécie hiper acumuladora de chumbo, assim como Lima et al. (2010) concluiu que a retenção do chumbo nos tecidos (sistema radicular, caule e folhas) da mamona indicou que a planta apresentou boa capacidade de bioacumular chumbo.

A maioria das plantas conhecidas como fitorremediadora são de clima temperado (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000), o que facilita as pesquisas com este potencial no estado do Rio Grande do Sul no que compete às espécies adaptadas neste clima para tornar solos degradados agricultáveis.

3 METODOLOGIA GERAL

Para a instalação do experimento com a utilização de lodo de esgoto na agricultura, foi auferida autorização de uso e manejo junto ao órgão ambiental local. O lodo de esgoto (LE) proveio da ETE-CORSAN, localizada no município de Rio Grande/RS, ao qual foi desaguado em leito de secagem em janeiro de 2013 e coletado em dezembro de 2013.

Foram instalados dois experimentos, um no campo e outro em condições controladas na Embrapa Clima Temperado em Pelotas/RS. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas (Fator A – Cultivar; Fator B – Adubação), compostos de seis tratamentos e quatro repetições. As cultivares de mamona utilizada foram a BRS Energia e a AL Guarany 2002.

Visando atender a demanda de adubação para a cultura foram adicionados aos seis tratamentos fósforo na forma de SFT e potássio na forma de KCL (90 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 84 Kg ha⁻¹ de K₂O); no sexto tratamento foi adicionado nitrogênio na forma de uréia a fim de atender a recomendação de 68 Kg ha⁻¹ para a cultura. A caracterização química do lodo analisado (em %) foi de 4,52 de N; 1,50 de P; 0,36 de K; 2,81 de Ca; e 0,46 de Mg. Os seis tratamentos consistiram respectivamente de uma dose com adubação mineral recomendada e cinco doses de LE (em Kg ha⁻¹): 0; 800, 1.500, 2.300 e 3.000.

No experimento de campo foram avaliadas as seguintes variáveis resposta: Emergência e florações, crescimento de planta, altura de inserção do 1º racemo, produtividade, teor de óleo e a quantificação da mesofauna edáfica do experimento. No experimento em casa de vegetação foram avaliadas: Emergência e 1º floração, Inserção do 1º racemo, crescimento da planta e produtividade. Não havendo produtividade, foi instalado um experimento para avaliação do efeito residual do LE em ervilha, onde foi avaliado o número de vagens produtivas e a produtividade total.

O lodo de esgoto foi caracterizado quanto a presença de metais pesados e patógenos. Também foi analisado os teores de metais pesados no solo antes da aplicação do lodo e a translocação de metais do lodo para plantas de mamona.

4 CAPÍTULO I

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MAMONA SOB DOSES CRESCENTES DE LODO DE ESGOTO.

4.1 INTRODUÇÃO

Sustentabilidade ambiental, social e econômica, é o que preconiza a agroecologia, cujo interesse é praticar a agricultura limpa e racional de modo equilibrado, satisfazendo as necessidades das culturas e do agricultor. (PEREIRA, 2012). A utilização de resíduos como fonte de nutrientes para as plantas e condicionadores do solo constitui-se em uma alternativa viável na preservação da qualidade ambiental.

O lodo de esgoto é um resíduo gerado pelo tratamento de águas residuárias que, por vez se for do tipo classe A (doméstico) apresenta elevado teor de matéria orgânica, podendo proporcionar diversos benefícios a agricultura. A reciclagem agrícola do lodo de esgoto como insumo orgânico atualmente vem sendo considerado como a alternativa mais promissora de disposição final desse resíduo (CAMPOS, 2008).

Segundo Dynia et al. (2006) a quantidade de lodo de esgoto a ser aplicada é determinada geralmente pelo teor de N, que por se tratar de adubação orgânica tem a liberação mais lenta. Devido a isto, Tsutya (2000) discorreu que algumas culturas se adaptam mais que outras ao uso de lodo de esgoto como uma adubação alternativa, principalmente culturas cujo ciclo permita se beneficiar da liberação lenta do nitrogênio, como é o caso da mamona.

A mamona se enquadra dentro das culturas descritas na Resolução 375/2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006) a utilização do lodo, pois o seu produto final não é destinado a alimentação humana e animal.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso do lodo de esgoto como fertilizante ou fonte nutricional para a produção de mamona em dois ambientes, e posteriormente seu efeito residual para produção de ervilha.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Preparo do lodo de esgoto

Para a instalação do experimento com a utilização de lodo de esgoto na agricultura, foi auferida uma autorização de uso e manejo do mesmo junto à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (FEPAM); o qual autorizou a coleta do material na ETE, o transporte entre os municípios, o armazenamento e a alocação do material na Embrapa Clima Temperado. O lodo foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos da Companhia Riograndense de Saneamento (ETE-CORSAN), localizada no município de Rio Grande/RS (Figura 2).

Para a redução do odor proveniente da digestão dos lodos, a CORSAN adota uma medida mitigadora, com a adição, sem controle, de cal virgem. Portanto, o lodo em estudo não pode ser considerado biossólido, pois não recebeu tratamento controlado, apenas adição de cal como descrito acima. O lodo foi caracterizado em função dos teores de metais pesados e agentes patogênicos, conforme Normativa do Conama 375 de 2006.

O Lodo de esgoto utilizado é oriundo de tratamento aeróbico (reator biológico) onde os microrganismos decompõem grande parte dos patógenos. Após este tratamento, o lodo foi desaguado em leito de secagem em janeiro de 2013 para a secagem natural e posteriormente coletado em dezembro de 2013 conforme o Manual de Uso Agrícola do Lodo no ES (COSTA, 2011), onde foi aplicado diretamente em covas e incorporado no solo.



Figura 2 - Leito de secagem do lodo na Corsan/RS (A), acondicionamento do lodo para transporte (B), lodo de esgoto utilizado (C)

3.2.2. Instalação dos experimentos

Foram conduzidos três experimentos na safra 2013/2014 para avaliação do efeito imediato e residual do lodo de esgoto como segue:

3.2.2.1 Experimento I – Avaliação do desempenho Agrônômico de duas variedades de mamona utilizando diferentes doses de lodo de esgoto – Efeito imediato.

O experimento foi conduzido numa propriedade rural próxima à Embrapa Clima Temperado, em Pelotas/RS no período de dezembro/2013 a julho/2014, localizada a uma latitude de 31°39'50,81" S e longitude de 52°27'27,42" O, em solo cuja análise na profundidade 0-20 cm foi: P (2,1 mg/dm³), K (34 mg/dm³), Ca (1,8 cmol μ dm³), Mg (1,0 cmol μ dm³), M.O. (1,4%), pH (5,9), CTC pH7 (4,7). Temperaturas e precipitações pluviométricas verificadas no período do cultivo encontram-se na figura 3.

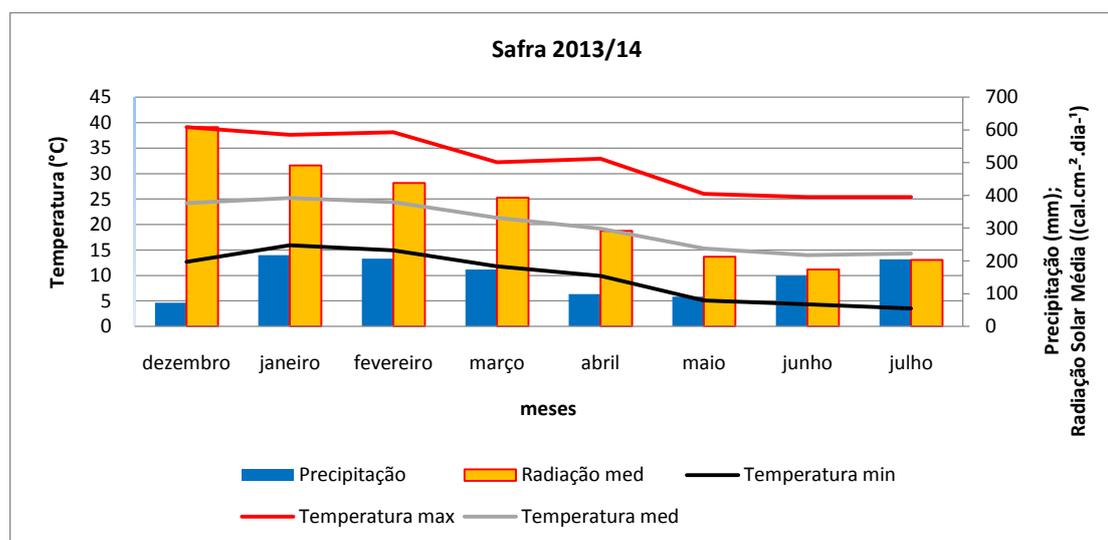


Figura 3- Radiação solar e precipitação pluviométrica de dezembro/2013 a julho/2014 em Pelotas/RS.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas (Fator A – Cultivar; Fator B – Adubação), compostos de seis tratamentos com quatro repetições. As parcelas foram compostas por 3 linhas de 5 metros de comprimento com espaçamento entre plantas de 0,7 m e 1,20 m entre linhas com 11.903 plantas por hectare.

Foram utilizadas as cultivares BRS Energia e AL Guarany 2002. A primeira foi desenvolvida pela Embrapa, e apresenta produção média de 1.500 Kg ha⁻¹, as

sementes pesam entre 0,40g e 0,53g com teor de óleo de 48% e porte baixo, em torno de 1,40 metros; a segunda cultivar foi desenvolvida pela CATI, apresenta produção com variação de 1.000 a 2.500 kg ha⁻¹, as sementes pesam aproximadamente 0,46g com teor de óleo de 48% e porte médio entre 1,6 e 2,4 metros (COSTA, 2014).

Os tratamentos com adubação seguiram o seguinte critério: Foram adicionados aos seis tratamentos as mesmas quantidades de fósforo e potássio visando atender a recomendação da cultura, utilizando Superfosfato Triplo (SFT 42%) e Cloreto de Potássio (KCL 60%). As doses de lodo de esgoto (LE) foram definidas com base na recomendação de N para a cultura e o conteúdo de nitrogênio contido neste adubo, conforme caracterização química (Tabela 3). A composição dos tratamentos segundo a fonte de N foi: T1- testemunha (sem adição de N), T2- foi adicionado 800 Kg ha⁻¹ de LE equivalente a 36 Kg ha⁻¹ de N, T3- foi adicionado 1.500 Kg ha⁻¹ de LE equivalente a 68 Kg ha⁻¹ de N, T4- foi adicionado 2.300 Kg ha⁻¹ de LE equivalente a 104 Kg ha⁻¹ de N, T5- foi adicionado 3.000 Kg ha⁻¹ de LE equivalente a 135 Kg ha⁻¹ de N e T6- testemunha padrão posto 68 Kg ha⁻¹ na forma de uréia. Considerou-se os tratamentos 1 e 6, como testemunhas, sendo T6 a recomendação de adubação química para a cultura (Tabela 4).

Tabela 3 - Caracterização química e patogênica do lodo de esgoto (base seca) da estação de tratamento de esgoto de Rio Grande. Pelotas/RS, 2015.

pH	¹ NUTRICIONAL						² METAIS				³ PATÓGENOS		
	MO	N	P	K	Ca	Mg	Ni	Cu	Pb	Zn	Colif.	Salm.	Ovos
H ₂ O	-----%-----						-----mg Kg-1-----						
5,6	8,42	4,52	1,5	0,36	2,81	0,46	18,5	13,2	<1,0	12,2	<1,8	ND	<1,0

¹Tedesco et al. (1995); ²Abreu (2005); ³ABNT NBR ISSO 18593

Tabela 4 - Composição química dos tratamentos utilizando lodo de esgoto (LE) e adubação mineral. Pelotas/RS, 2015.

Tratamentos	Lodo de Esgoto (LE) equivalência (Kg ha ⁻¹ de N)		Adubação Mineral (Kg ha ⁻¹)		
	LE	N	N	P	K
T1	0,0	0,0	0,0	90,0	84,0
T2	8,00	36	0,0	90,0	84,0
T3	1.500	68	0,0	90,0	84,0
T4	2.300	104	0,0	90,0	84,0
T5	3.000	135	0,0	90,0	84,0
T6	0	0	68	90,0	84,0

A semeadura da mamona foi realizada em 12 de dezembro de 2013, quatro dias após a incorporação dos tratamentos ao solo. O cultivo foi estabelecido em sistema convencional de preparo do solo, com semeadura manual utilizando-se três sementes por cova (Figura 4). O desbaste foi realizado aos 15 dias após a emergência, mantendo-se uma planta por cova. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as indicações técnicas para o cultivo de mamona no Rio Grande do Sul (SILVA et al., 2007). Durante o desbaste, foram selecionadas ao acaso 9 plantas por parcela, as quais foram avaliadas individualmente até o final do experimento.



Figura 4 - Plântulas de mamona com 8 DAE (A), com 50 DAE (B), e com 85 DAE (C).

*DAE – Dias Após a Emergência

As avaliações agronômicas do presente trabalho foram:

- a) Crescimento da planta: o acompanhamento do crescimento das plantas foi realizado a partir do trigésimo dia após a emergência, sendo avaliado a cada 15 dias até o seu nonagésimo dia. As medições foram realizadas com uma trena desde a superfície do solo até ápice da planta.
- b) Inserção do 1º racemo (1º ordem): medições com uma régua graduada desde a superfície do solo até a inserção do 1º racemo na planta.
- c) Produtividade: a produtividade por planta se deu em várias colheitas manuais conforme o amadurecimento dos frutos, sendo feita as pesagens antes e depois do descasque manual dos frutos. Com base na soma de todas as colheitas se deu produtividade final.
- d) Peso de 100 sementes: após feita a contagem de 100 sementes de cada floração, amassa destas sementes se deu através de pesagens em balança de precisão, sendo feita a média das três florações.
- e) Teor de óleo: foi analisado na Central Analítica da Embrapa Clima Temperado, em sementes da 1º e 2º ordem de floração. Foi determinado através do método químico Soxhlet proposta por Oliveira et al. (2010).

3.2.2.2 Experimento II- Avaliação do desempenho agrônômico de duas variedades de mamona utilizando diferentes doses de lodo de esgoto em condições controladas – Efeito imediato.

O experimento foi conduzido em telado coberto modelo “arco”, revestida com filme de polietileno, localizado na Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, no período de dezembro de 2013 a maio de 2014, utilizando-se baldes de polipropileno com capacidade de 20 litros, com solo cuja análise foi: P (2,3 mg/dm³), K (40 mg/dm³), Ca (2,2 cmol /dm³), Mg (0,6 cmol /dm³), M.O (2,5%), pH (5,7), CTC pH7 (6,9).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com seis tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta de quatro unidades experimentais, totalizando 192 baldes (Figura 5).

As cultivares e os tratamentos utilizados neste experimento foram as mesmas do experimento 1. Todas as unidades experimentais foram avaliadas.



Figura 5 - Instalação do experimento (A), plantas com 67 DAE (B) e (C).
*DAE – Dias Após a Emergência

Avaliações agrônômicas realizadas:

- a) Crescimento da planta: o acompanhamento do crescimento das plantas foi realizado a partir do trigésimo dia após a emergência, sendo avaliada a cada 15 dias até o seu nonagésimo dia. As medições foram realizadas com uma trena desde a superfície do solo até ápice da planta.
- b) Inserção do 1° racemo: medições com uma régua graduada desde a superfície do solo até a inserção do 1° racemo, depois o comprimento foi medido.
- c) Produtividade: antes da maturação dos frutos, houve a ocorrência de um temporal danificando o telado e afetando a condução do experimento, não sendo possível realizar esta avaliação.

3.2.2.3 Experimento III- Avaliação da produtividade de ervilha, cultivar Itapuã 600, utilizando diferentes doses de lodo de esgoto – Efeito residual.

Com o objetivo de avaliar o efeito residual de nutrientes contidos no lodo de esgoto, foi instalado um experimento com ervilha sobre os mesmos tratamentos onde foram conduzidos os experimentos com mamona no telado coberto (experimento II). Esta leguminosa, por não ter seus frutos (vagens) em contato direto com o solo é considerada apta ao cultivo com lodo de esgoto, perante a Resolução do CONAMA 375 de 2006.

A semeadura foi realizada no dia 09 de julho de 2014 e utilizou-se cinco sementes por balde. O desbaste foi realizado 14 dias após a emergência conforme o vigor de plântulas, deixando-se três plantas por balde. A cultivar de ervilha utilizada foi a Itapuã 600 (Figura 6).



Figura 6 – Plântulas de ervilha com 12 DAE (A), com 39 DAE (B), com 78 DAE (C)

*DAE – Dias Após a Emergência

As avaliações agronômicas realizadas neste experimento foram:

- a) Produtividade de vagens e grãos: com o auxílio de uma balança de precisão, em todas as colheitas foram pesadas as vagens e grãos, fazendo-se a soma total do peso de grãos.
- b) Número de vagens: em cada colheita foi realizada a contagem de vagens emitidas por parcela (4 unidades experimentais)

Análise estatística

Foram realizadas análise de regressão utilizando o teste t à 5% para determinar os coeficientes de regressão, através do software R (R CORE TEAM, 2013).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Experimento I- Avaliação do desempenho Agronômico de duas variedades de mamona utilizando diferentes doses de lodo de esgoto – Efeito imediato.

Crescimento

A análise de regressão para a variável altura de plantas revelou que o desenvolvimento das plantas foi crescente para ambas as cultivares ao longo do período avaliado (Figura 7 e 8). Nas tabelas 5 e 6 são apresentadas as equações e respectivos coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar BRS Energia e Al Guarany 2002, onde se verifica que os coeficientes de determinação foram significativos para todos os tratamentos.

A variedade BRS energia desenvolveu altura até os 100 dias após a emergência, e o tratamento com 2.300 Kg ha^{-1} foi o que apresentou médias de alturas mais elevadas. Com plantas próximas a 1,4 metros, seguido pelo tratamento de adubação mineral, com médias de 1,3 metros.

O tratamento com 3.000 Kg ha^{-1} de LE foi o que apresentou menor valor, similar a testemunha sem lodo. Este resultado possivelmente tenha sido influenciado pela dose excessiva de nitrogênio aproximadamente duas vezes mais que o recomendado. Segundo Lea et al. (1992) o nitrogênio em concentrações elevadas no solo, pode exceder a capacidade de uma planta assimilar amônio e o nitrato pelas raízes, levando ao acúmulo do nitrato.

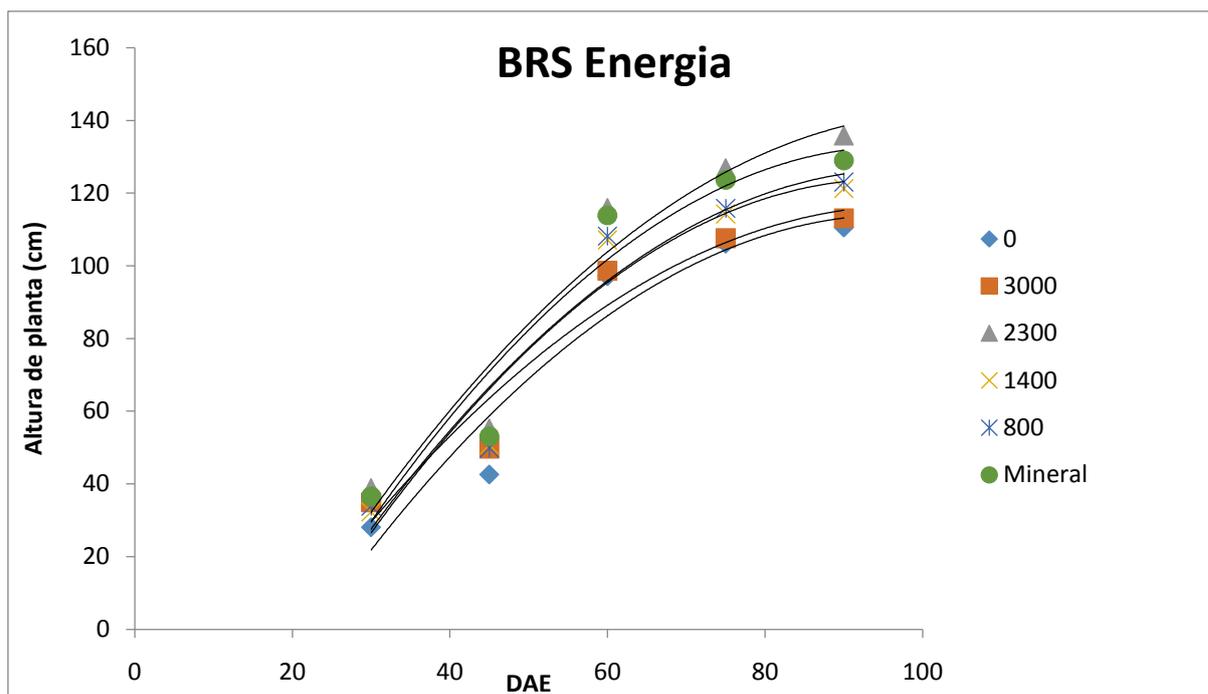


Figura 7 – Curvas de crescimento da cultivar BRS Energia em diferentes tratamentos. Pelotas/RS, 2015.

Tabela 5 – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar BRS Energia para os diferentes tratamentos.

Tratamento	Equação	R ²
0	$y = -0,0208x^2 + 4,0226x - 80,1$	0,656***
800	$y = -0,0216x^2 + 4,2229x - 79,644$	0,645**
1500	$y = -0,0229x^2 + 4,3537x - 83,478$	0,641***
2300	$y = -0,0206x^2 + 4,2372x - 76,411$	0,690***
3000	$y = -0,0186x^2 + 3,6571x - 63,422$	0,565**
Mineral	$y = -0,0233x^2 + 4,4987x - 84,319$	0,626**

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Já para a cultivar AL Guarany 2002 a resposta crescente foi conforme o aumento de doses (Figura 8). Aos 100 dias após a emergência, o tratamento com 3.000 Kg ha⁻¹ de LE foi o que apresentou maiores alturas, chegando próximo a 1,2 metros. Este tratamento foi seguido pelo terceiro tratamento com 1 metro. O tratamento com adubação mineral recomendada se equiparou ao tratamento 4 com a dose de adubação nitrogenada com altura igual a 0,9 metros. Este resultado sugere que, o tratamento com a dose recomendada de nitrogênio no lodo de esgoto teve a mesma eficiência do tratamento com adubação mineral recomendada,

indicando que podemos usar o LE como insumo alternativo viável, tanto agronomicamente quanto ambientalmente.

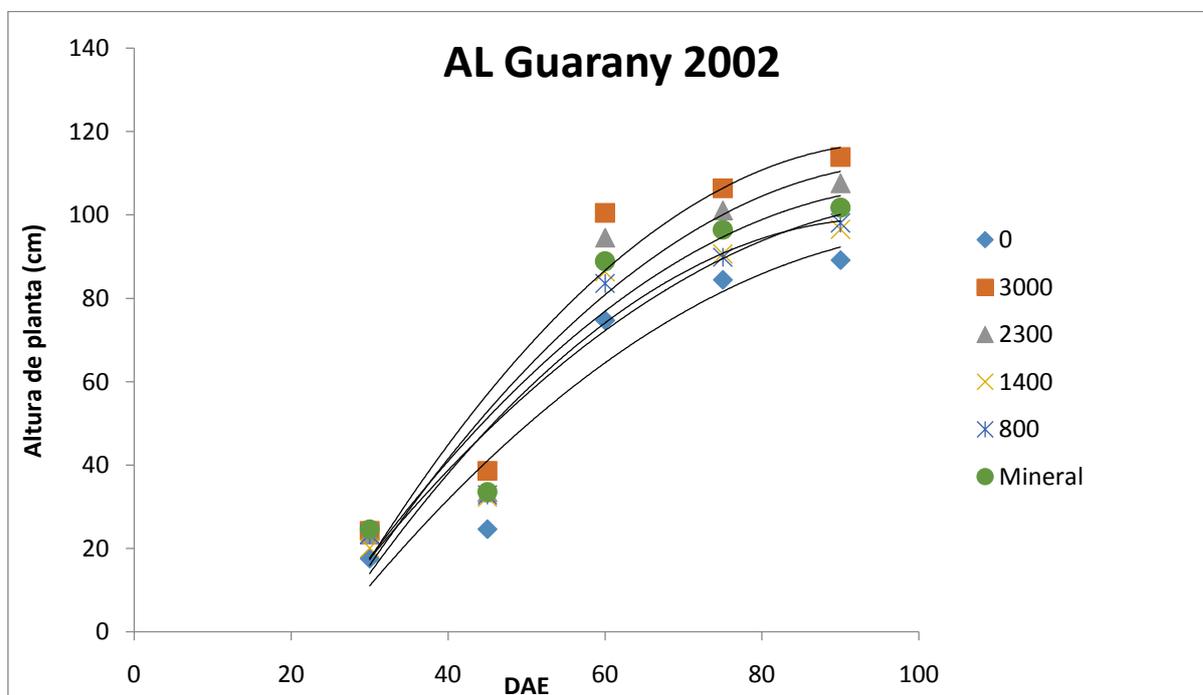


Figura 8 - Curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos. Pelotas/RS, 2015.

Tabela 6 – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos.

Tratamento	Equação	R ²
0	$y = -0,0143x^2 + 3,0701x - 68,178$	0,836**
800	$y = -0,0149x^2 + 3,1637x - 63,948$	0,887***
1400	$y = -0,0198x^2 + 3,7866x - 81,77$	0,674**
2300	$y = -0,0196x^2 + 3,9311x - 84,311$	0,700**
3000	$y = -0,0222x^2 + 4,3056x - 91,9$	0,801**
Mineral	$y = -0,0175x^2 + 3,5455x - 72,894$	0,675**

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Estes resultados já eram esperados, uma vez que o lodo de esgoto possui uma quantidade elevada de nitrogênio que influi diretamente no crescimento e desenvolvimento das mesmas. O nitrogênio é o elemento que está ligado ao crescimento vegetal, sendo essencial, pois sua baixa disponibilidade é associada à redução da divisão e expansão celular e fotossíntese (CHAPIN, 1980).

O lodo por ser um adubo orgânico tem como característica a liberação lenta de nitrogênio, o que possibilita o aproveitamento amplo do mesmo até o final do ciclo de algumas culturas, Tsutiya (2000) cita que o ciclo da mamona necessita de adubos com a liberação lenta de nitrogênio.

Altura de Inserção do 1º racemo

Para a variável altura de inserção do primeiro racemo, os dados não foram significativos, porém torna-se um dado interessante ao passo que os tratamentos com lodo de esgoto se equipararam à testemunha com adubação mineral (Figura 9).

Na cultivar AL Guarany 2002, a altura média de inserção do primeiro racemo foi de 40 cm, esses valores foram abaixo da média da cultivar, que segundo Scivittaro et al. (2008) é de 55 cm. Este resultado pode ser atribuído à data de semeadura ser realizada na fase final do período recomendado. Na cultivar BRS Energia, não há referencial sobre a caracterização da cultivar para esta variável.

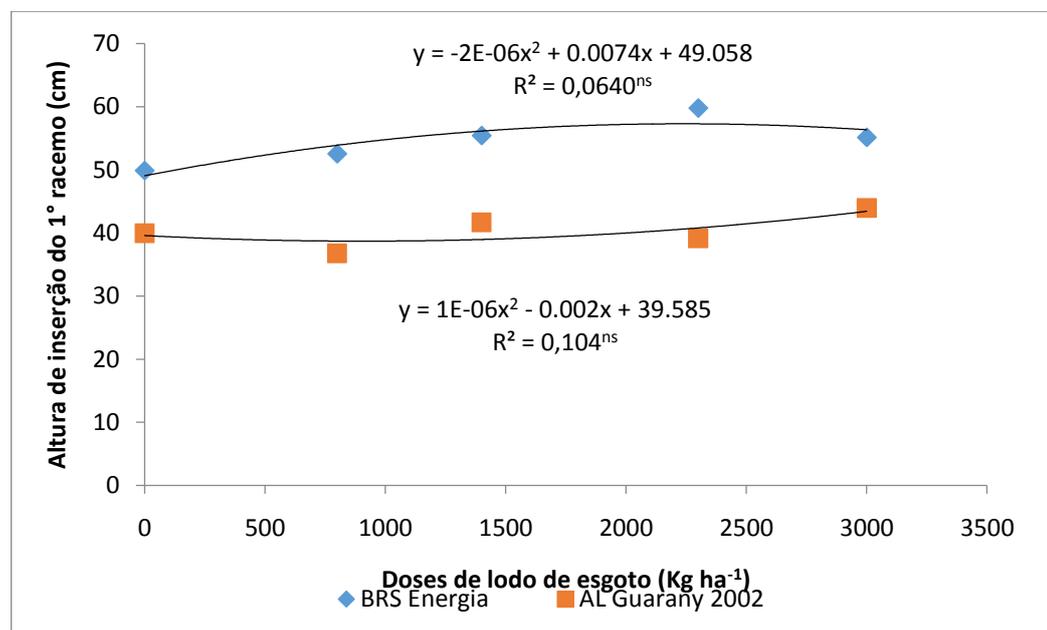


Figura 9 - Altura de inserção do primeiro racemo em cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

MINERAL = [51,7 cm BRS Energia], e [42,1 cm AL Guarany 2002]

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Produtividade

Para a variável produtividade, houve aumento na produção em função da dose de lodo aplicada somente para a cultivar BRS Energia, apesar do baixo coeficiente de determinação (Figura 10).

De acordo com a figura 10; na cultivar BRS Energia, o ápice de produção foi na maior dose de lodo de esgoto com uma produção média de 2.319 Kg ha⁻¹, seguido pela terceira, quarta e quinta dose. Todas as doses com lodo de esgoto superaram a produtividade do tratamento com a adubação mineral (1.116 Kg ha⁻¹ para BRS Energia e 1.137 Kg ha⁻¹) e também superaram a produtividade média característica de cada cultivar, sendo para a BRS Energia com média nacional de 1.500 Kg ha⁻¹ (COSTA, 2014) e 1.800 Kg ha⁻¹ constatada por Milani (2010); e para a AL Guarany 2002 a média nacional variando entre 1.000 e 2.500 Kg ha⁻¹ (COSTA, 2014) e no estado do Rio Grande do Sul foi de 1.629 Kg ha⁻¹ constatada por Aires (2008).

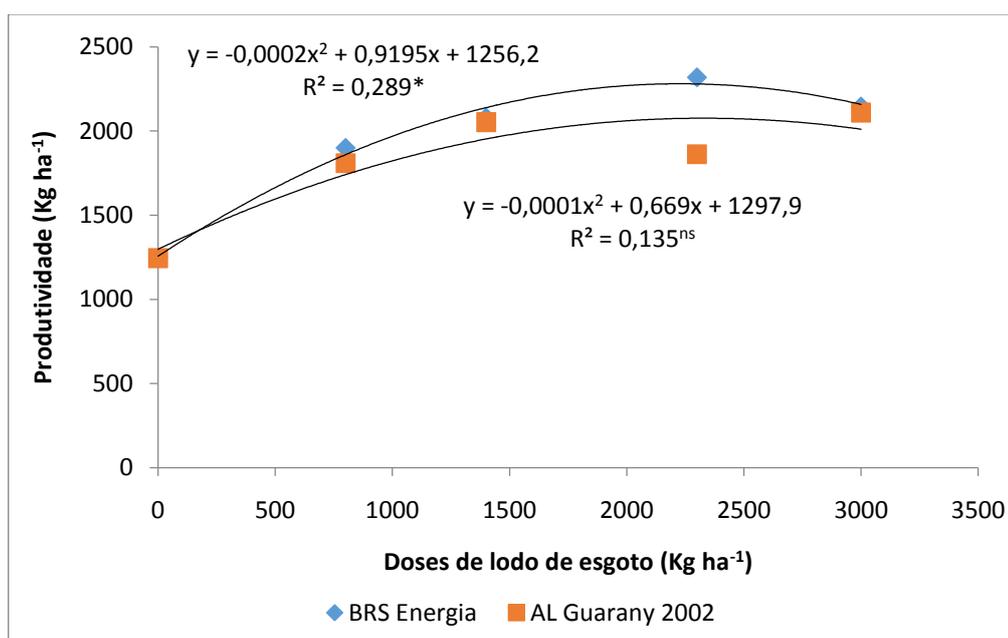


Figura 10– Produtividade de cultivares de mamona e doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

MINERAL = [1.116 Kg ha⁻¹ BRS Energia], e [1.137 Kg ha⁻¹ AL Guarany 2002]

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Chiaradia et al. (2009) observaram que, quando o lodo de esgoto foi aplicado em quantidade suficiente para fornecer 1 ou 2 vezes o N exigido pela cultura, a produtividade da mamona foi superior ao resultado obtido com a adubação mineral. Os resultados obtidos por esses autores são semelhantes aos aqui constatados, onde a dose recomendada e as duas doses acima do recomendado (1.400, 2.300 e

3.000 Kg ha⁻¹) tiveram produtividade superior a adubação mineral. Sendo que, até mesmo a dose com o nitrogênio abaixo do recomendado (dose com 800 Kg ha⁻¹) superou a adubação mineral. Tal resposta pela planta pode ter ocorrido devido a algum outro nutriente limitante fornecido pelo LE e/ou algum fator ambiental, cujos não foram discutidos durante a descrição do LE e sobre as características do local.

Chaves et al. (2011) cita que o nitrogênio é o macronutriente que está diretamente associado a aumentos de produtividade e rentabilidade na cultura da mamona. Por conseguinte, quanto maior foi o teor de nitrogênio aplicado na cultura, maior foi a produção das mesmas.

Peso de 100 sementes

Não houve resposta significativa para peso de 100 sementes em função das doses aplicadas. No entanto as médias da massa de cem sementes também se equipararam as médias do tratamento com adubação mineral em torno de 35 gramas. (Figura 11). Esses dados demonstram que as doses de lodo de esgoto atenderam a demanda das variedades durante a fase de enchimento de grãos.

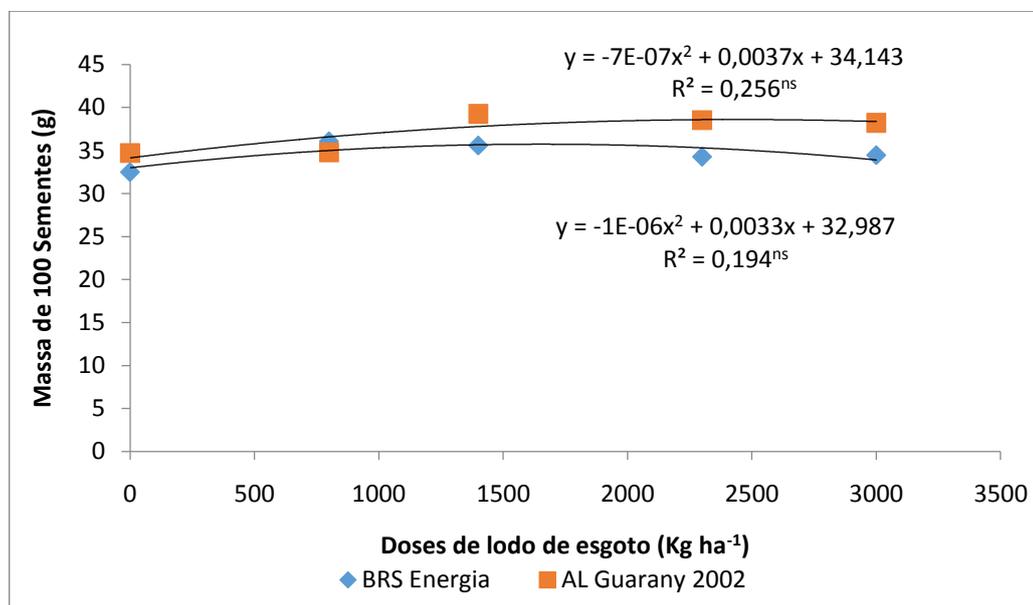


Figura 11 - Peso da massa de 100 sementes em cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

MINERAL = [35,22 g BRS Energia], e [34,66 g AL Guarany 2002]

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

É provável que estes resultados estejam relacionados com as condições ambientais (temperatura e pluviosidade) no período de formação e enchimento dos grãos, já que não existe consenso na literatura a respeito desta variável.

Teor de óleo (%)

O teor de óleo na primeira ordem de floração, para a cultivar BRS Energia, não apresentou variação em função das doses de lodo de esgoto (Figura 12). Já para a cultivar AL Guarany 2002 houve resposta significativa, indicando crescimento exponencial até a dose recomendada (1.400 Kg ha^{-1}) que teve teor de óleo de 49%. Para doses superiores ao recomendado, houve um decréscimo na curva. Isto mostra que pode ter ocorrido um efeito negativo no enchimento do grão, fazendo-o produzir menos óleo de rícino.

Nobre et al (2012), testando vários níveis de nitrogênio na cultivar BRS Energia (50; 75; 100; 125 e 150 % da adubação nitrogenada recomendada para mamona), constataram que os teores de óleos dos racemos primário e secundário foram afetados pelas doses de adubação nitrogenada, tendo efeito na redução de óleo nas plantas que receberam doses de N acima do recomendado. Este efeito encontrado pelos autores contraria o resultado apresentado pela mesma cultivar (BRS Energia), no entanto este mesmo efeito foi visto pela cultivar AL Guarany 2002 na primeira e segunda floração sob as maiores doses testadas.

Na avaliação de teor de óleo na segunda floração, somente houve efeito significativo para a cultivar BRS Energia. Nesta cultivar, o teor de óleo variou em função das doses aplicadas, sendo que quanto maiores as doses de LE, maiores os teores de óleo obtidos, onde a dose com 3.000 Kg ha^{-1} elevou o teor de óleo para mais de 50%, bem superior ao tratamento mineral com 44% de óleo (Figura 13).

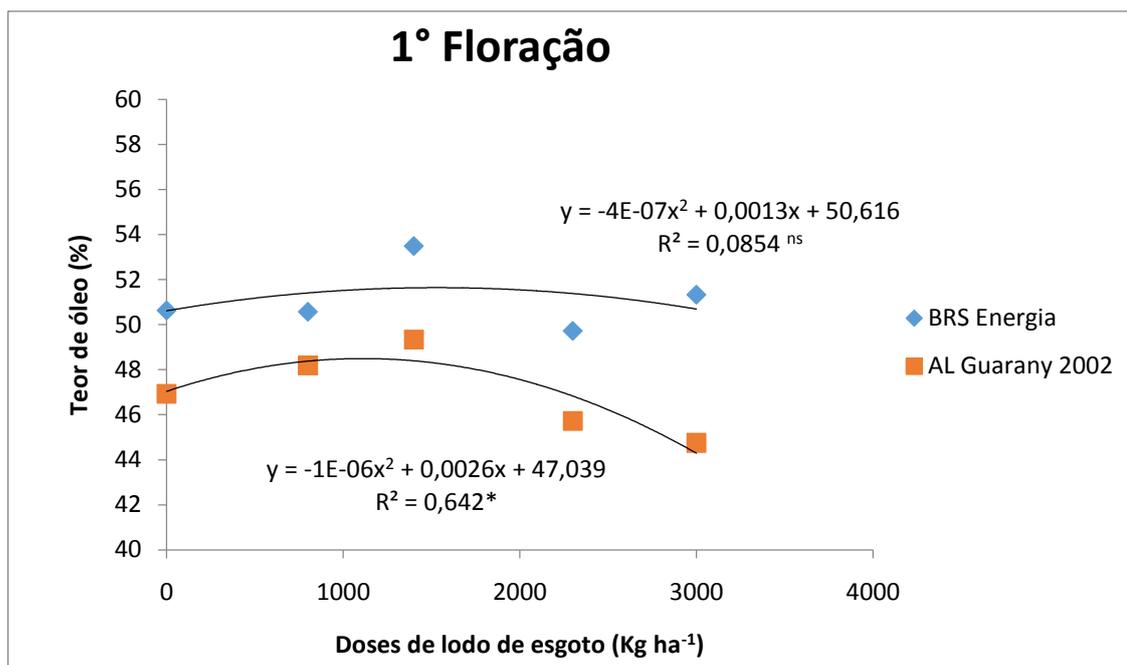


Figura 12- Teor de óleo na primeira floração de cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

MINERAL = [50,08 % BRS Energia], e [48,50 % AL Guarany 2002]

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

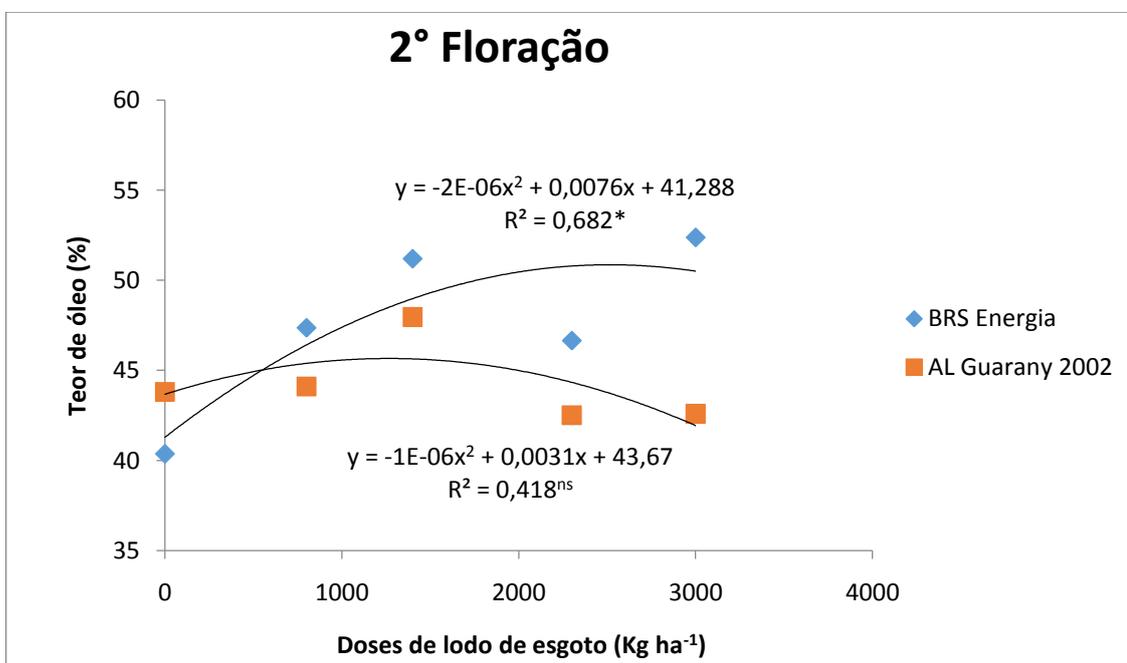


Figura 13- Teor de óleo na segunda floração de cultivares de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

MINERAL = [49,30 % BRS Energia], e [43,86 % AL Guarany 2002]

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

3.3.2 Experimento II- Avaliação do desempenho Agrônômico de duas variedades de mamona utilizando diferentes doses de lodo de esgoto em condições controladas – Efeito imediato.

Crescimento

A análise de regressão para a variável altura de plantas revelou que o desenvolvimento das plantas foi crescente para ambas as cultivares (Figura 14e15). Nas tabelas 8 e 9 são apresentados as equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar BRS Energia e Al Guarany 2002, onde se verifica que os coeficientes de determinação foram significativos para todos os tratamentos.

Para a cultivar BRS Energia, aos 100 dias após a emergência a maior dose, com 3.000 Kg ha^{-1} , foi o que apresentou médias de alturas mais elevadas, chegando próximo a 0,80 metros, seguido pelo tratamento de adubação mineral (Figura 14). Já para a cultivar AL Guarany, em todas as datas de avaliação constatou-se alturas muito próximas entre todos os tratamentos, porém as plantas tratadas com adubação mineral e com a dose de 3.000 Kg ha^{-1} de lodo apresentaram tendência de maior altura, comparado aos demais tratamentos (Figura 15).

O desenvolvimento das plantas de mamona na casa de vegetação, foi visivelmente distinto sob condições de telado. Observou-se estiolamento e pouca área foliar nas plantas; este fato se dá devido a baixa adaptabilidade da cultura em cultivo protegido, podendo estar também ligado à limitação do crescimento das raízes em baldes.

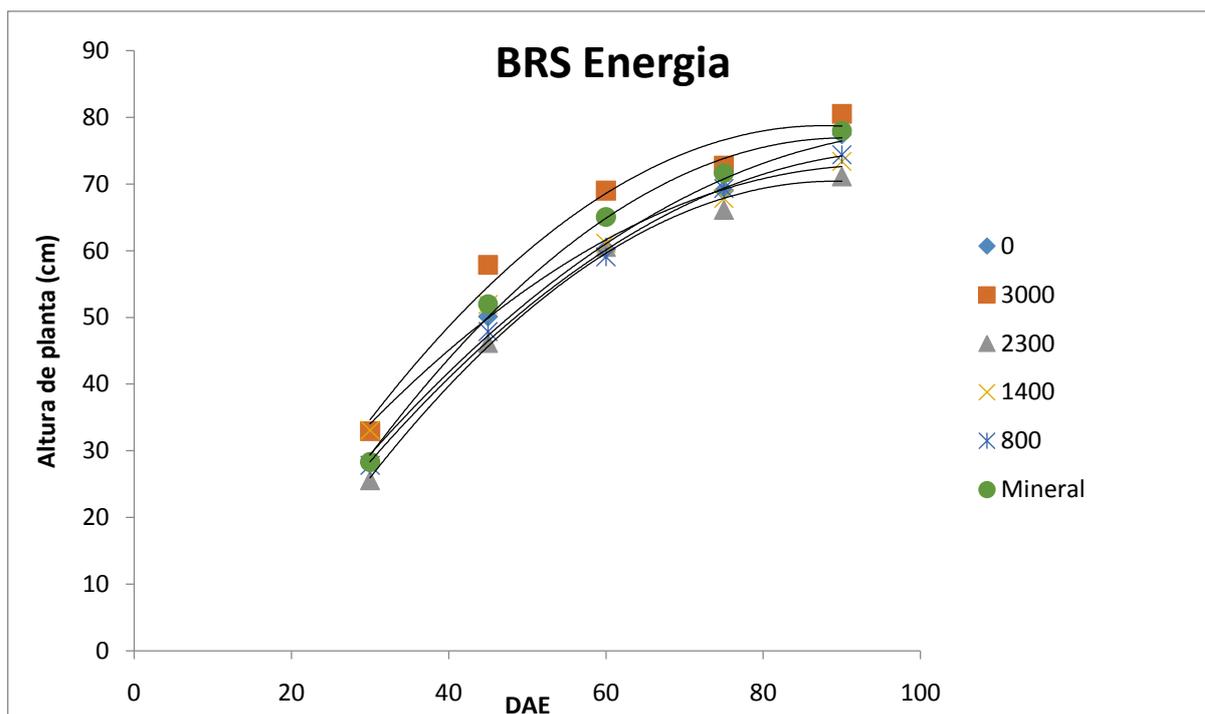


Figura 14- Curvas de crescimento da cultivar BRS Energia em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.

Tabela 7 – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar BRS energia em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.

Tratamento	Equação	R ²
0	$y = -0,009x^2 + 1,8646x - 18,396$	0,947***
800	$y = -0,0098x^2 + 1,9422x - 21,079$	0,877***
1400	$y = -0,0092x^2 + 1,7522x - 10,229$	0,876***
2300	$y = -0,0127x^2 + 2,2659x - 30,592$	0,898***
3000	$y = -0,0133x^2 + 2,3246x - 23,167$	0,869***
Mineral	$y = -0,0131x^2 + 2,36x - 29,725$	0,926***

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

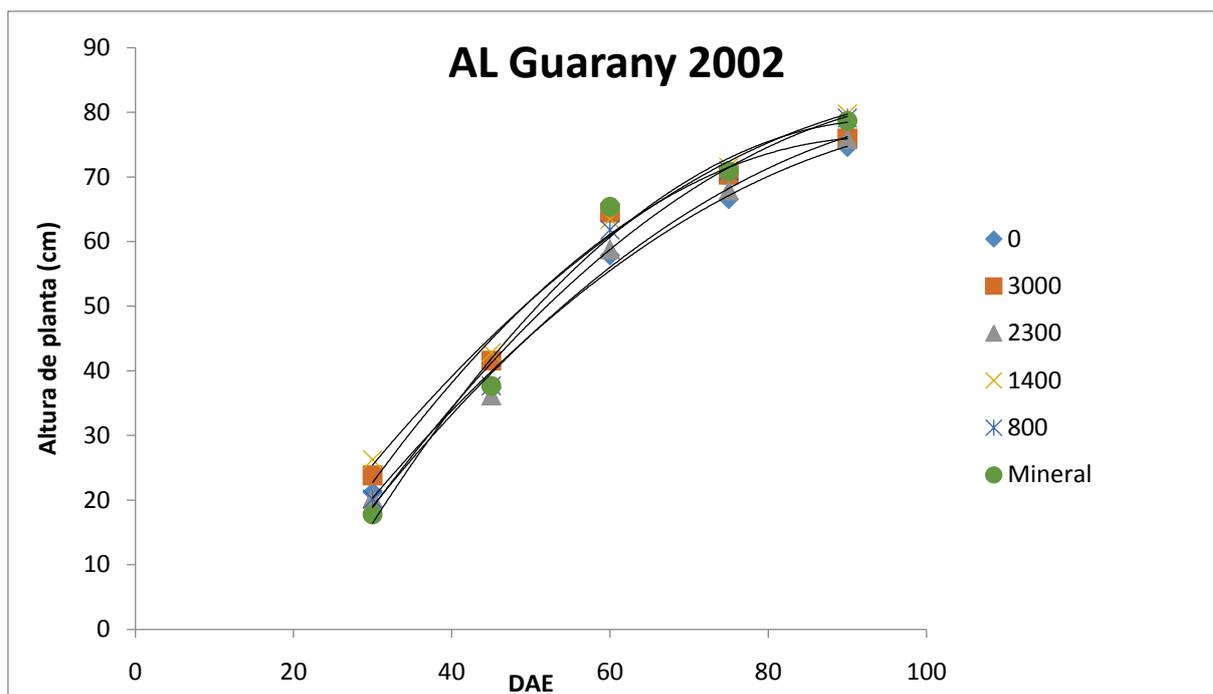


Figura 15- Curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.

Tabela 8 – Equações e coeficientes de determinação das curvas de crescimento da cultivar AL Guarany 2002 em diferentes tratamentos sob ambiente protegido. Pelotas/RS, 2015.

Tratamento	Equação	R ²
0	$y = -0,0088x^2 + 1,9686x - 30,75$	0,938***
800	$y = -0,0107x^2 + 2,294x - 40,312$	0,952***
1400	$y = -0,0093x^2 + 2,0165x - 26,712$	0,898***
2300	$y = -0,0093x^2 + 2,0715x - 34,7$	0,938***
3000	$y = -0,0131x^2 + 2,4629x - 39,35$	0,953***
Mineral	$y = -0,0147x^2 + 2,8028x - 54,388$	0,915***

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Inserção do primeiro racemo

Não houve resposta para a altura de inserção do primeiro racemo em função das doses de lodo de esgoto para ambas as cultivares testadas (Figura 16).

No entanto as médias das cultivares BRS Energia e AL Guarany 2002 tratadas com LE se equiparou a altura de inserção do primeiro racemo do tratamento mineral. Esses dados sugerem que as doses de lodo de esgoto não afetou esta característica.

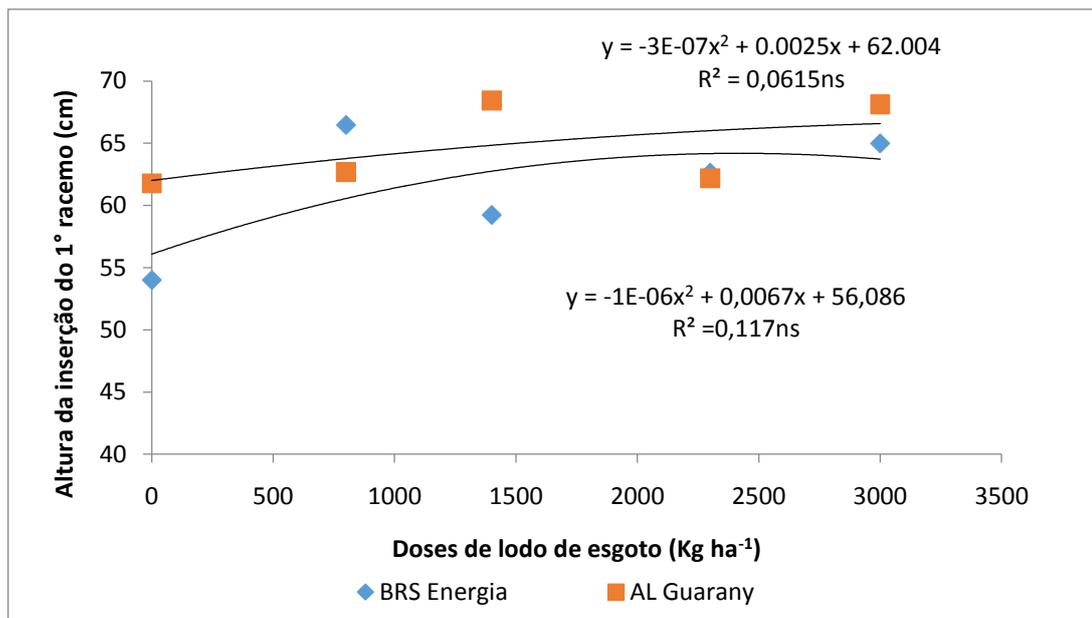


Figura 16- Altura de inserção do primeiro racemo de cultivares de mamona em telado sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

MINERAL = [64,81 cm BRS Energia], e [53,34 cm AL Guarany 2002]

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

4.3.3 Experimento III- Avaliação da produtividade de ervilha, cultivar Itapuã 600, utilizando diferentes doses de lodo de esgoto – Efeito residual.

Produtividade

Na variável produtividade, somente a ervilha cultivada nos vasos previamente cultivados com a cultivar BRS Energia apresentou resposta significativa em função das doses de lodo de esgoto, ainda que com baixo coeficiente de determinação (Figura 17).

Verifica-se que a produção de ervilha por parcela foi crescente conforme houve o aumento das doses de lodo de esgoto. Em comparação a adubação mineral com produção de 120 gramas, a maior dosagem de lodo (3.000 Kg ha⁻¹) produziu 180 gramas. Este dado reflete que mesmo após o ciclo da mamona, ainda restam nutrientes do lodo de esgoto disponíveis no substrato (Figura 17).

Nos vasos cultivados com AL Guarany 2002, não houve resposta significativa em função das doses de lodo de esgoto (Figura 18). A explicação poderá ser devido a maior extração de nutrientes por esta cultivar, já que a cultivar de ervilha utilizada, e a capacidade de absorção e/ou adaptação ao resíduo foi a mesma no experimento. Entretanto podem haver outras variáveis influenciando nos resultados.

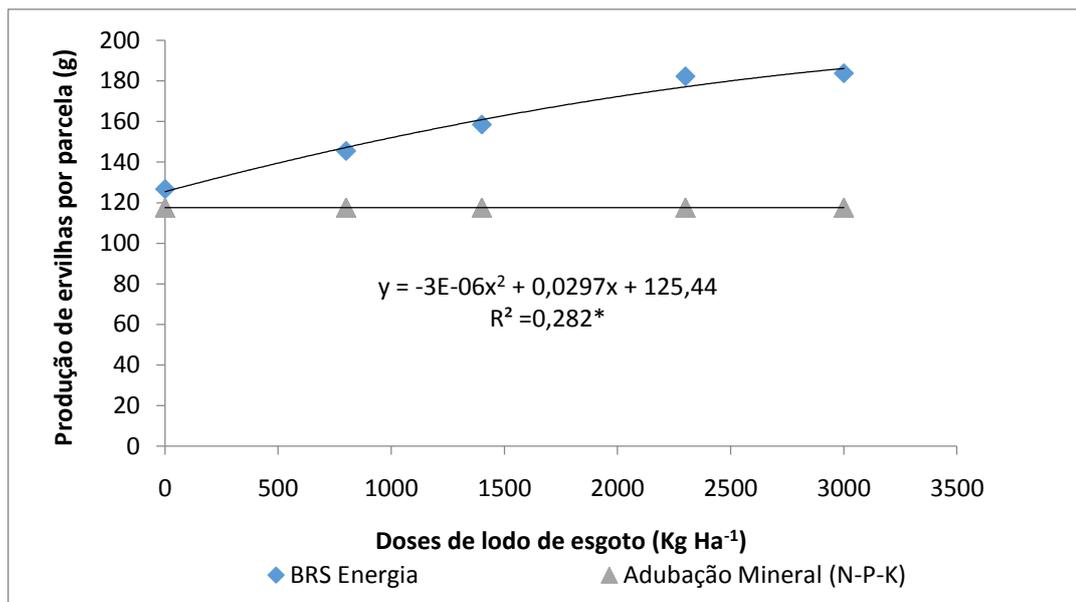


Figura 17- Produção de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar BRS Energia de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

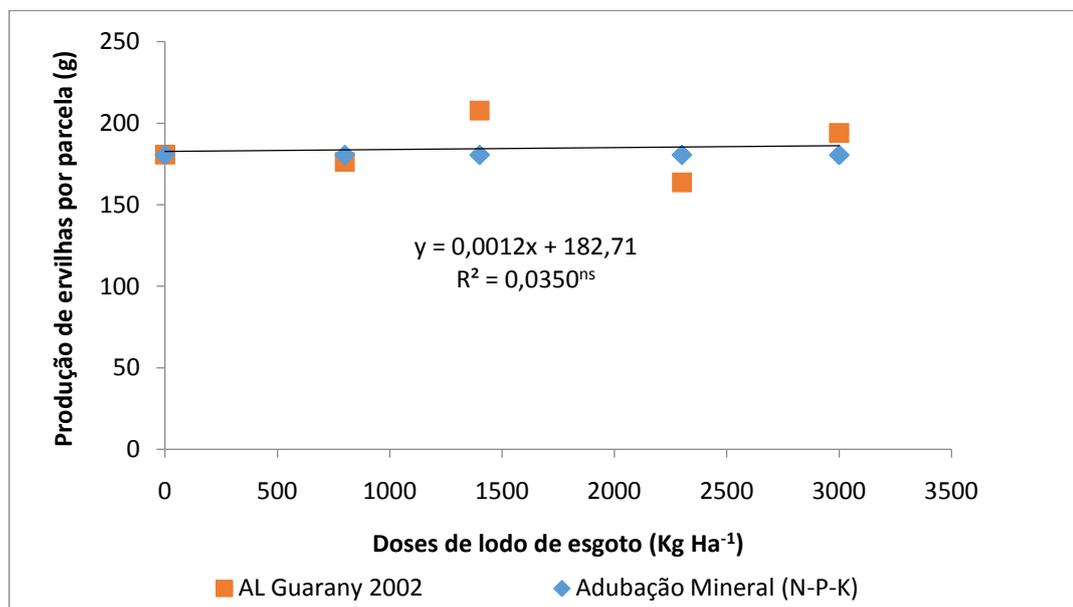


Figura 18- Produção de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar AL Guarany 2002, de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Número de vagens

Para a variável número de vagens emitidas por parcela, somente a ervilha cultivada nos vasos onde foi conduzida a variedade BRS Energia apresentou variação significativa em função das doses de lodo residual (Figura 19).

Na ervilha semeada nos baldes onde foram conduzidos os tratamentos com a variedade BRS Energia, a emissão de vagens produtivas, assim como sua produção total foi maior no tratamento com maior dosagem de lodo, ao passo que este apresentou em média cerca de 65 vagens e a testemunha e o tratamento mineral 40 vagens (Figura 19).

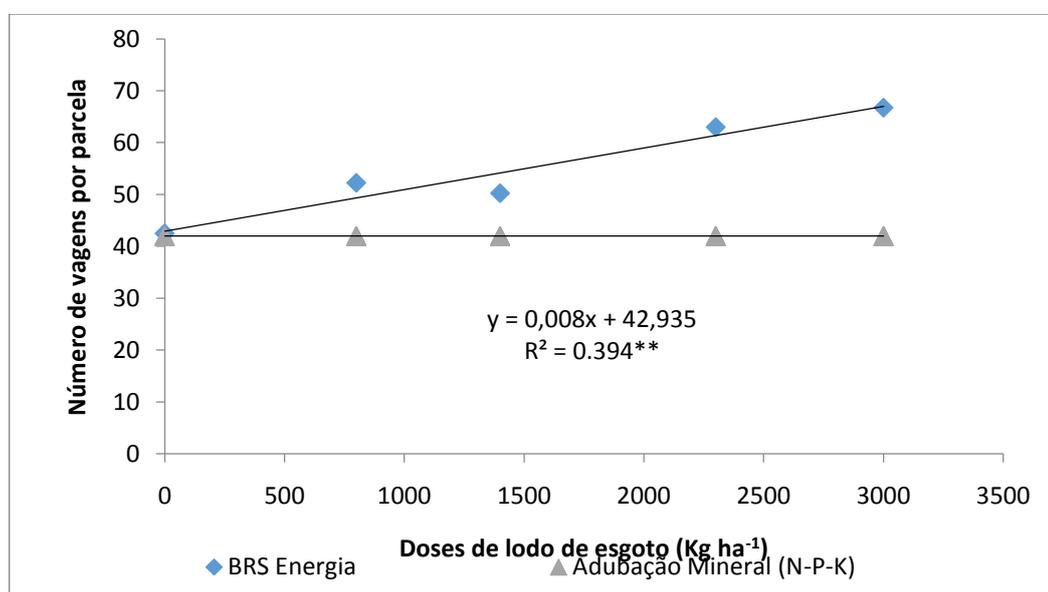


Figura 19- Número de vagens emitidas de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar BRS Energia de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

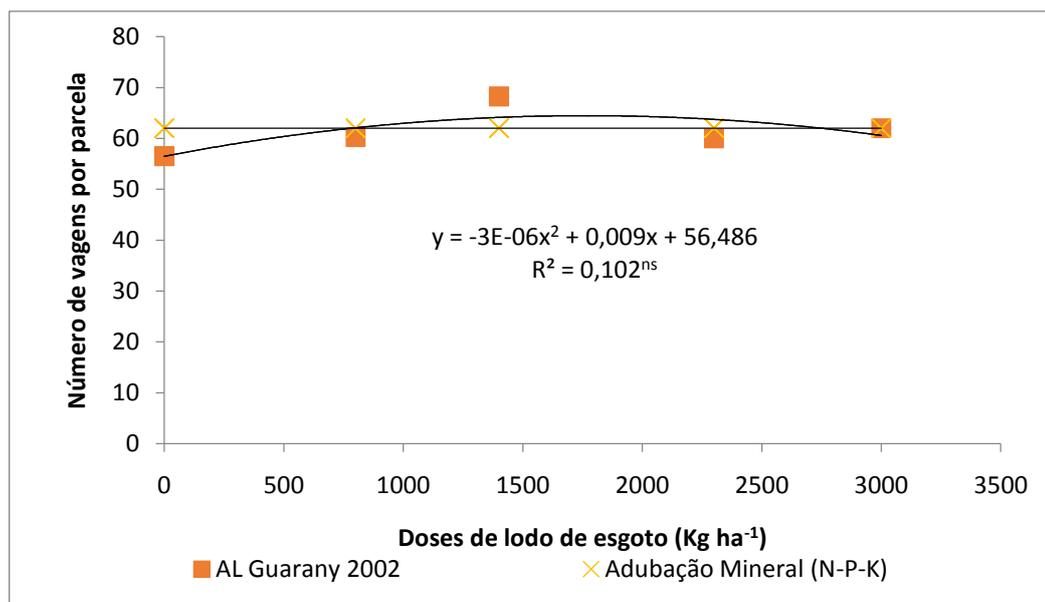


Figura 20 - Número de vagens emitidas de ervilha Itapuã 600 cultivada em telado, sob efeito residual no local da cultivar AL Guarany 2002 de doses com lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *** Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O número de vagens da ervilha semeada nos baldes onde foram conduzidos os tratamentos com a variedade AL Guarany não variaram significativamente em função da dose residual, porém os tratamentos com LE se igualaram ao tratamento com adubação mineral e produziram em média 65 vagens, da mesma forma que a ervilha semeada nos baldes previamente cultivados com a BRS Energia (Figura 19 e 20).

4.4 CONCLUSÕES

O uso de lodo de esgoto aplicado em base sólida no cultivo de mamona é agronomicamente viável e podemos considera-lo uma fonte alternativa de adubação orgânica para uso desta oleaginosa.

Mesmo após um ciclo com a cultura da mamona há efeito residual de nutrientes provenientes do LE que podem beneficiar a cultura sucessora.

5 CAPÍTULO II

APTIDÃO AMBIENTAL PARA O USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA.

5.1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto é rico em nutrientes e matéria orgânica, podendo ser utilizado na agricultura como fertilizante. Entretanto, por conter em sua composição diversos poluentes, como os metais pesados e agentes patogênicos, o uso continuado e sem critérios técnicos na agricultura pode resultar em aumento nos teores desses elementos no solo (OLIVEIRA& MATTIAZZO, 2001). Para tanto, a Resolução do CONAMA 375/2006, define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto.

Em solos tratados com lodo de esgoto, a mobilidade de metais pesados tem sido apontada como nula ou muito baixa (EMMERICH et al., 1982 & CHANG et al., 1984). Os teores de metais pesados nos tecidos das plantas dependem do pH do solo, da natureza do metal, do teor de matéria orgânica e da capacidade do solo em reter cátions (CHANG et al., 1987 citado por RANGEL et al., 2006). A contaminação patogênica do lodo se dá principalmente em razão do material fecal contido, portanto, são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitas, e embora a grande maioria desses organismos seja inofensiva, alguns grupos de patógenos são considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal (ANDREOLI, 2001).

A disposição do lodo de esgoto no solo tem mostrado alta aceitabilidade em diversas culturas, entretanto pesquisas de aceitabilidade pela fauna edáfica ainda são escassas. A fauna edáfica tem papel fundamental na fragmentação e incorporação dos resíduos ao solo, criando condições favoráveis a ação decompositora dos microrganismos (BAYER, 1999). De acordo com Silva et al., (2004) a mesofauna trabalha na mobilidade vertical de nutrientes assimiláveis, favorecendo o sistema radicular das plantas, para isto Araújo et al., (2009) citam que

no estudo da fauna edáfica é necessário utilizar a medida de diversidade e uniformidade de espécies que avalia o equilíbrio dos mesmos e julga a qualidade dos agrossistemas.

Com base no exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade sanitária e ambiental do lodo de esgoto; e inserido num sistema de produção, avaliar a translocação de metais para os tecidos vegetais e o efeito do resíduo sobre a mesofauna edáfica.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Lodo de esgoto

Para a instalação do experimento com a utilização de lodo de esgoto na agricultura, foi auferida uma autorização de uso e manejo do mesmo junto ao órgão ambiental local denominado Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (FEPAM); ao qual autorizou a coleta do material na ETE, o transporte entre os municípios, o armazenamento e a alocação do material na Embrapa Clima Temperado. O lodo de esgoto foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos da Companhia Riograndense de Saneamento (ETE-CORSAN), localizada no município de Rio Grande/RS.

O Lodo de esgoto utilizado é oriundo de tratamento aeróbico (reator biológico) onde os microrganismos decompõem grande parte dos patógenos, este foi desaguado em leito de secagem em janeiro de 2013 e coletado em dezembro de 2013 contendo as seguintes características químicas: M.O (8,42%), N (4,52%), P (1,5%), K (0,36), Ca (2,81%) e Mg (0,46%).

Para testes de aptidão e afinidade na agricultura, foram instalados experimentos (em campo e em casa de vegetação) com doses de lodo de esgoto utilizando a cultura da mamona na safra 2013/2014 em Pelotas/RS. Utilizou-se as cultivares BRS Energia e AL Guarany 2002 sob seis tratamentos sendo cinco utilizando lodo de esgoto nas doses (0; 800; 1.500; 2.300; 3.000 Kg ha⁻¹) e o sexto tratamento utilizando somente a adubação comercial (NPK) recomendada para a cultura. Nestes experimentos foram avaliadas questões ambientais, como a aceitabilidade da fauna edáfica perante a aplicação do resíduo, teores totais de metais pesados e agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto, conforme legislação vigente e a translocação de possíveis metais do lodo de esgoto para os tecidos vegetais.

5.2.2 Análises de metais pesados e agentes patógenos

As análises de metais pesados foram realizadas no Instituto Federal Sul-Riograndense em Pelotas/RS no Laboratório de Contaminantes Ambientais, sob orientação do Prof. Dr. Pedro José Sanches Filho. As análises microbiológicas de agentes patógenos foram realizadas no Laboratório QUIMIOAMBIENTAL em Porto

Alegre/RS. Para fim de caracterização da aptidão sanitária do uso agrícola do lodo de esgoto, os parâmetros analisados tiveram como base a comparação da resolução do CONAMA n° 375 de 2006 e a norma técnica da CETESB P4.230 de 1999.

Análises de metais pesados em amostras de LE e de solo.

O lodo de esgoto foi coletado no leito de secagem (base seca) e o solo foi coletado antes da implantação do experimento de ambiente protegido. Os mesmos foram coletados com instrumentos plásticos para evitar o contato com metais externos. As amostras de lodo de esgoto e solo foram armazenadas em potes de polietileno, previamente descontaminados, sendo armazenadas em câmara fria a 5°C até a data das análises laboratoriais.

A extração dos metais no lodo e no solo foram realizadas através de extração ácida. As amostras de sedimentos foram secas em estufa a 60°C por 48 horas, a fim de evitar o arraste dos metais pelo vapor de água. Em seguida, foram maceradas em almofariz e peneiradas. A fração < 63 µm foi utilizada para o tratamento químico de extração. Pesou-se cerca de 2 g de cada sedimento em triplicata, adicionando-se 8 mL de água régia 50% (3:1 HCl:HNO₃) e 1 mL de HClO₄, aquecendo-se por 30min a 90°C em Banho-Maria (HORTELLANI et al. 2008, procedimento com adaptações). A solução resultante foi filtrada e avolumada a 50 mL com água Milli-Q. Durante o procedimento de extração foram utilizados frascos fechados para evitar perdas por volatilização. Todos os padrões foram submetidos ao mesmo tratamento químico das amostras para as perdas serem as mesmas, mantendo a proporcionalidade entre o sinal analítico e a concentração. Os extratos foram submetidos a análises por espectrometria de absorção atômica em chama em um espectrômetro GBC 932 Plus.

Para avaliação da exatidão foi utilizada a amostra de referência de metais para sedimento. Através de leituras do branco o limite de detecção (LOD) foi calculado usando a soma da média do sinal do branco mais três vezes o seu desvio padrão, enquanto que o limite de quantificação (LOQ) foi calculado pela soma da média do sinal do branco mais dez vezes seu desvio padrão (IUPAC 1997). Os ácidos utilizados nas análises foram todos de grau analítico adquiridos da Merck, com exceção do HClO₄, de marca Vetec. (BETEMPS & SANCHES FILHO, 2012). No solo foi analisado níquel, cobre e chumbo. No lodo de esgoto analisou-se níquel, cobre, chumbo e zinco.

Análises de metais pesados em tecido vegetal

Para as análises de metais em tecido vegetal, foram utilizadas as plantas de mamona do experimento em casa de vegetação, localizada na Embrapa Clima Temperado em Pelotas/RS. O cultivo ocorreu no período de dezembro de 2013 a abril de 2014, utilizando-se baldes de polipropileno com capacidade de 20 litros, e irrigação controlada. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com seis tratamentos dispostos em quatro repetições. Cada parcela foi composta de quatro unidades experimentais, totalizando 192 baldes. A parte aérea das plantas foi coletada no encerramento do ciclo da cultura. As amostras da parte aérea foram secas em estufa à 65°C por 3 dias, após a secagem foi realizada a moagem em Moinho de Facas. Sabe-se que não é recomendado este tipo de moagem em contato com metal, mas torna-se inviável outro tipo de moagem vista a rigidez do caule da mamona.

A extração dos metais na parte aérea da mamona foi realizada através de extração ácida. Pesou-se cerca de 2 g de cada tecido vegetal em triplicata, adicionando-se 5 ml de HNO₃ e 1 ml de HClO₄. Os tubos foram colocados em bloco digestor sendo aquecidos até a temperatura de 210°C. Repetiu-se a adição de ml de HNO₃ e 1 ml de HClO₄ após 20 minutos de digestão (ABREU, 2005; procedimento com adaptações). A digestão da amostra foi finalizada quando a solução ficou límpida e cessou a formação de fumos brancos. Após, a solução resultante foi filtrada e avolumada a 50 ml com água Milli-Q. Durante o procedimento de extração foram utilizados frascos fechados para evitar perdas por volatilização. Todos os padrões foram submetidos ao mesmo tratamento químico das amostras para as perdas serem as mesmas, mantendo a proporcionalidade entre o sinal analítico e a concentração. Os extratos foram submetidos a análises por espectrometria de absorção atômica em chama em um espectrômetro GBC 932 Plus.

Para avaliação da exatidão foi utilizada a amostra de referência de metais tecidos vegetais. Através de leituras do branco o limite de detecção (LOD) foi calculado usando a soma da média do sinal do branco mais três vezes o seu desvio padrão, enquanto que o limite de quantificação (LOQ) foi calculado pela soma da média do sinal do branco mais dez vezes seu desvio padrão (IUPAC 1997). Os ácidos utilizados nas análises foram todos de grau analítico adquiridos da Merck, com exceção do HClO₄, de marca Vetec. (BETEMPS & SANCHES FILHO, 2012).

No tecido vegetal foram analisados níquel, cobre, chumbo e zinco somente para os tratamentos que receberam doses de lodo (T1, T2, T3, T4 e T5).

Análises de patógenos no lodo de esgoto

Não houve o acompanhamento das análises, visto que as mesmas foram terceirizadas, sendo realizadas pelo laboratório QUIMIOAMBIENTAL, porém foram informados os devidos métodos utilizados pela empresa via laudo laboratorial. Para Coliformes Termotolerantes (*E. coli*) utilizou-se o método EPA / Standard Methods 9223 B, com base em Número Mais Provável em 100 gramas. O limite de quantificação é 1,8. Para Ovos de Helminthos utilizou-se o método EPA / 625/R-92/013-Appendix I, com base em Ovos/Grama por Sólidos Totais. O limite de quantificação é 1,0. Para *Salmonella sp.* utilizou-se o método EPA / AOAC 989.13, com base em Unidade Formadora de Colônia em 25 gramas. O limite de quantificação é 1,0 resultando em ausente ou presente.

4.2.3 Avaliação da fauna edáfica

A avaliação da fauna edáfica foi realizada no experimento com mamona em campo, numa propriedade rural próxima a Embrapa Clima Temperado em Pelotas/RS no período de dezembro de 2013 a julho de 2014, em solo classificado cuja análise na profundidade 0-20 cm foi: P (2,1 mg/dm³), K (34 mg/dm³), Ca (1,8 cmol μ /dm³), Mg (1,0 cmol μ /dm³), M.O (1,4%), pH (5,9), CTC pH7 (4,7 cmol μ /dm³).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas (Fator A – Cultivar; Fator B – Adubação), compostos de seis tratamentos com quatro repetições. As parcelas foram compostas por 3 linhas de 5 metros de comprimento com espaçamento entre plantas de 0,7 m e 1,20 m entre linhas com 11.903 plantas por hectare.

Para a coleta de ácaros e colêmbolos no interior do solo, na profundidade de 0-10 cm, utilizou-se um anel de volume conhecido (353,43 cm³), as amostras foram coletadas e encaminhadas ao Laboratório de Biologia do Solo da Universidade Federal de Pelotas, e as capturas se deram pelo método Funil de Tullgren (BACHELIER, 1978 citado por SILVA et al., 2013). As coletas foram realizadas em dois períodos, uma no início do cultivo (30 DAE) e outra no final da última colheita

(120 DAE). Sendo uma amostragem em cada parcela (6 tratamentos x 4 repetições x 2 cultivares) totalizando 48 amostras coletadas em cada período.

As amostras foram distribuídas nos funis em peneira com malha de 2 mm de diâmetro, ficando estas sob a ação de lâmpadas de 15 watts durante 48 horas. Os organismos edáficos foram coletados em frascos do tipo snap-cap com capacidade de 60 ml, contendo 25 ml de álcool 80% e 4 a 5 gotas de glicerina, para evitar a evaporação do mesmo. Devido à ação do calor e luminosidade gerados pela lâmpada, os organismos caem no copo coletor para posterior contagem. O material do copo coletor foi colocado em uma bandeja de porcelana com 12 subdivisões e com o auxílio de uma lupa, os organismos foram identificados e quantificados. (CORRÊA et al., 2001 citado por OLIVEIRA et al., 2013)

O número total de grupos taxonômicos (*Acari sp.* e *Colêmbola sp.*) presentes no estudo foram avaliados pelos testes ambientais de Índice de diversidade de Shannon (H) (SHANNON & WEAVER, 1949) o qual assume valores que podem variar de 0 a 5, sendo que seu declínio é o resultado de uma maior dominância de grupos em detrimento de outros; e para análise de afinidade de uma determinada espécie a um determinado tratamento utilizou-se o Coeficiente de Afinidade (Ca).

Para o Índice de Diversidade de Shannon (H):

$H = -\sum P_i \times \log P_i$; P_i = proporção da espécie em relação ao número total de indivíduos, $P_i = n_i/N$ [n_i = proporção de cada espécie] [N = total de organismos das coletas em cada modalidade]

Para o Coeficiente de Afinidade (Ca):

$CA(Ph. \rightarrow Lt.+Lr.) = P_{ab} / (P_a + P_{ab})$; P_{ab} =número total de organismos (Ph. + Lt. + Lr.), P_a = número de organismos (Ph. em relação a Lt. + Lr.) onde; [Zero = afinidade nula] e [Um = afinidade total].

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Metais pesados em solo e lodo

Os teores dos metais Ni, Cu e Pb avaliados em amostras de solo, coletado na profundidade de 0,20 m, estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico empregado. Estes valores mostram que os teores de metais no solo são quase nulos, porém não ausentes (Tabela 8)

No lodo de esgoto, coletado após 11 meses de seu desaguamento no leito de secagem, com umidade de 24%, os teores de metais pesados avaliados, apresentaram-se muito inferiores à concentração máxima permitida na resolução do CONAMA (Tabela 8). Essa caracterização inorgânica contida no lodo demonstra a aptidão agrícola do mesmo com segurança sanitária e ambiental para os sistemas de produção. Tsutiya (1999) comenta que quanto maior a vazão de coleta de esgoto de origem doméstica, menor as concentrações de metais pesados contidos no LE.

Tabela 8 – Metais pesados em sedimentos comparados com a resolução CONAMA 375 de 2006.

	NIQUEL	COBRE	CHUMBO	ZINCO
	-----mg/Kg-----			
LQ*	1,92	1,43	0,35	0,5
SOLO (base seca)	<LQ	<LQ	<LQ	---
LODO (base seca)	18,52	13,22	<LQ	12,16
CONAMA (base seca)	420	1500	300	2800

LQ* Limite de quantificação

A normativa P4230 CETESB informa ainda, valores máximos de aplicação anual de metais pesados em solos agrícolas tratados com lodos. Estas taxas foram comparadas com a quantidade de aplicação máxima alocada nos experimentos (3.000 Kg ha⁻¹) para cada metal, considerando-se aplicação na camada 0-10 cm do solo (Tabela 9).

Tabela 9—Comparação da taxa de aplicação de LE anual máxima de metais em solos agrícolas (CETESB P4230) com o LE utilizado no experimento.

	NIQUEL	COBRE	CHUMBO	ZINCO
	-----Kg ha-1-----			
LODO (3.000 Kg)	0,05	0,03	ND	0,03
CETESB P4230	21	75	15	140

Com base na taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto em solos agrícolas, pode-se observar que os valores encontrados no lodo de esgoto da Corsan, aplicados em 3.000 Kg ha^{-1} no solo foi extremamente inferior ao estabelecido pela norma técnica da CETESB no estado de São Paulo.

Estes valores demonstram que, mesmo aplicando a maior dosagem anualmente (3.000 Kg ha^{-1}), os teores de metais pesados não atingem os limites máximos permitidos. A dosagem foi baseada no conteúdo nutricional disponível e a necessidade da cultura, porém se o mesmo fosse utilizado em função dos teores de metais pesados, este poderia ser aplicado em doses bem maiores sem preocupação de gerar uma cadeia de passivos ambientais com contaminação do solo e do lençol freático.

Metais pesados em tecidos vegetais

Os teores de níquel nas plantas tratadas com lodo de esgoto, com exceção do segundo tratamento, não foram detectados por ambas cultivares por apresentarem teores abaixo do limite de quantificação.

Na análise de metal no lodo, o Ni foi quantificado em $18,5 \text{ mg Kg}^{-1}$, o que representa nesta maior dose de 3.000 Kg ha^{-1} (Tabela 8) o equivalente a menos de 1 Kg por hectare; e por ser a maior dose, este tratamento tornou-se expressivo nos teores de metal nas plantas em comparação com as dosagens menores que apresentaram valores abaixo do limite de quantificação.

Os teores de cobre foram quantificados, porém com valores pouco expressivos. A absorção desse metal pelas plantas é mínima, visto que mesmo a maior dose de lodo de esgoto contém este elemento em pequenas quantidades. Esta pequena quantidade adicionada a 20 Kg de solo (volume do vaso utilizado no experimento) torna-se quase inexistente para ser assimilado pelas plantas. O mesmo ocorre para zinco.

Como já era esperado, o elemento chumbo esteve abaixo do limite de detecção para ambas cultivares de mamona, uma vez que o mesmo também não foi detectado no solo e no lodo de esgoto.

Tabela 10 – Metais pesados em duas cultivares de mamona (C1 e C2) com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4, e T5); de doses de LE respectivamente em Kg ha⁻¹ (0, 800, 1.500, 2.300 e 3.000).

	Ni	Cu	Pb	Zn		Ni	Cu	Pb	Zn
	-----mg/Kg-----					-----mg/Kg-----			
LQ	0,03	0,50	0,03	0,16	LQ	0,03	0,50	0,03	0,16
C1 T1	<LQ	4,80	<LQ	22,58	C2 T1	<LQ	7,29	<LQ	16,54
C1 T2	<LQ	8,71	<LQ	15,96	C2 T2	<LQ	6,15	<LQ	41,41
C1 T3	<LQ	5,01	<LQ	20,72	C2 T3	<LQ	6,29	<LQ	27,41
C1 T4	<LQ	5,93	<LQ	34,19	C2 T4	<LQ	6,43	<LQ	11,43
C1 T5	2,09	4,66	<LQ	19,40	C2 T5	8,98	4,97	<LQ	31,62

LQ* Limite de Quantificação

C1 = Cultivar BRS Energia; C2 = Cultivar AL Guarany 2002

Os teores de metais pesados absorvidos pelas plantas de mamona foram relativamente baixos, visto que a maior dose de LE (3.000 Kg ha⁻¹), pela conversão de volume para a área dos baldes se deu em 30 gramas, e esta quantidade de LE adicionada a aproximadamente 20 quilos de solo (no balde experimental) torna-se quase inexistente a presença de metais pesados. Esses metais de acordo com Kiehl (2004) ao serem alocados no solo através de adubação, estarão disponíveis as raízes e por elas assimiladas em apenas uma pequena porção. Alguns autores citam ainda este processo ocorrido na adição de compostos de lixo ou lodo de esgoto ao solo (LOGAN & CHANEY, 1983; PETRUZZELLI et al., 1985; JORDÃO et al., 1996; CANET et al., 1997; EGREJA FILHO et al., 1999; SILVEIRA et al., 2003 citados por ABREU JR et al., 2005).

Levando-se em consideração o potencial fitorremediador da mamona, apesar dos teores de metais pouco assimilados pelas plantas trabalhadas, os mesmos talvez poderiam ter sido menos assimilados se fosse qualquer outra cultura sem o potencial fitorremediador. Khan et al. (1998) citado por Azzolini (2008), analisaram a concentração de metais (Cd, Zn, Cu, Pb) em plantas que cresciam em área de depósito de resíduos de aço. Dentre as espécies estudadas, a mamona apresentou a melhor capacidade de acumulo de Zn, sendo considerada uma espécie promissora para a remoção deste metal no solo.

Apesar das plantas de mamona deste experimento apresentarem alta absorção de Zn, não pode-se julgar a mamona como um potencial fitorremediador, pois não houve o teste com outras culturas adubadas com lodo de esgoto para meio

de comparações entre espécies, e também se tornaria necessário doses maiores de LE aplicadas ao solo para tornar-se significativa a absorção de teores dos metais pelas plantas.

Pode-se afirmar que os teores de metais pesados alocados no solo pelo lodo de esgoto foram baixos, e estes ao serem incorporados a uma quantidade de solo muito superior a dosagem de lodo, tornam-se pouco disponíveis para as plantas.

Bettiol e Camargo (2000), justificam que os componentes 'antinutricionais' presentes no lodo de esgoto, caso dos metais pesados, também ocorrem em outros fertilizantes e corretivos do solo, como caso dos fertilizantes fosfatados, nitrogenados e do calcário, assim como no próprio material de origem do solo; e que apesar desses componentes não-desejáveis, nos trabalhos de pesquisa realizados em solos brasileiros desde 1980 até 2014, não há informações de toxicidade do lodo de esgoto para os vegetais.

Agentes patogênicos no lodo de esgoto

Nos parâmetros de concentração de patógenos contidos no lodo de esgoto, verifica-se a aceitação do resíduo na Resolução do CONAMA 375 de 2006, onde o resíduo se enquadra nos limites de Coliformes Termotolerantes, e *Salmonella sp.* (Tabela 11).

O limite de quantificação para Ovos de Helminhos utilizado pelo laboratório (1,0) é considerado alto ao passo que na legislação é permitido máximo 0,25 ovos; esta quantidade encontrada na análise pode ser inferior a 1 ovo, por conseguinte torna-se necessário uma nova análise de ovos de helmintos com um limite de quantificação que atenda a Classe A da Resolução do CONAMA.

Este fato se deve principalmente ao tratamento dado ao esgoto, que é por digestão com aeração prolongada adotado pela Corsan. Segundo Sperling (1997) este sistema não necessita da etapa de estabilização do lodo, pois o excedente já sai estabilizado através da biodegradação por microorganismos aeróbios.

Tabela 11 – Concentração de patógenos contidos no lodo de esgoto. Pelota/RS, 2015.

Parâmetro	LQ	Lodo de Esgoto	CONAMA 375
Coliformes Temotolerantes (<i>E.coli</i>)	1,8	<1,8 NMP / 100 g	<10 ³ NMP / g de ST
Ovos de Helminthos	1,0	<1,0 ovos / g de ST	<0,25 ovo / g de ST
<i>Salmonella sp.</i>	1,0	Ausência(25 g de ST)	Ausência em 10 g de ST

LQ: Limite de Quantificação

NMP: Número Mais Provável

ST: Sólidos Totais

*Ensaio reconhecido pela Rede Metrológica/RS, conforme NBR ISO/IEC 17025:2005

Outro fator responsável por parte de redução de patógenos presentes no lodo é a sua disposição em leito de secagem por um longo período, pois sua secagem natural pode promover uma remoção considerável de organismos devido à exposição prolongada do material ao sol, que eleva a temperatura do lodo (GONÇALVES et al., 2001).

Fauna edáfica

Os tratamentos que receberam doses de lodo de esgoto apresentaram equilíbrio faunístico entre as espécies de ácaros e colêmbolos no índice de diversidade de Shannon. A diversidade faunística quando se encontra em equilíbrio tende a refletir um ambiente sustentável em uma complexibilidade agroecossistêmica. (PURVES; HECTOR, 2000).

Na Tabela 12, o tratamento com a segunda maior adição de nutrientes ao solo (T4) foi o que apresentou maior equilíbrio faunístico nos sistemas de produção de mamona para as duas cultivares testadas. Não havendo diferença entre a adaptação da fauna entre as cultivares em cada nível de tratamento para o índice de Shannon. O tratamento com menor dose de lodo (T2) se mostrou menos eficiente na diversidade (H) de fauna, mostrando maior dominância de um grupo faunístico em detrimento de outro; o que infere no desequilíbrio da fauna.

Aos 30 e 120 dias após emergência, não houve disparidades quantitativas; tanto para os índices de Shannon e Coeficiente de Afinidade; havendo somente um pequeno aumento de fauna presente aos 120 DAE. Isto deve-se provavelmente ao fato de restos vegetais que caem da mamona pela senescência das folhas, que resulta num maior aporte de nutrientes para a fauna.

Os tratamentos com lodo de esgoto em doses maiores (T3, T4, T5) foram aceitáveis faunisticamente, corroborando no equilíbrio da fauna no solo (Tabela 13).

Tabela 12 - Índice de Shannon-Wiener (H) e Coeficiente de Afinidade (CA) de ácaros (a) e colêmbolos (c) aos 30 e 120 dias após a emergência (DAE), em cultivo de mamona sob doses de lodo de esgoto. Pelotas/RS, 2015.

CULTIVAR	TRATAMENTO	Ha	Ha	Hc	Hc	CAa	CAa	CAc	CAc
		30 D	120 D	30 D	120 D	30 D	120 D	30 D	120
BRS ENER.	T1-TESTE	0,9	1,2	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8
BRS ENER.	T2-800 Kg ha ⁻¹	1,0	1,2	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9
BRS ENER.	T3-1.500 Kg ha ⁻¹	1,0	1,0	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9
BRS ENER.	T4-2.300 Kg ha ⁻¹	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8
BRS ENER.	T5-3.000 Kg ha ⁻¹	0,7	0,6	1,2	1,3	0,8	0,8	0,9	0,9
BRS ENER.	T6-MINERAL	1,0	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9
CULTIVAR	TRATAMENTO	Ha	Ha	Hc	Hc	CAa	CAa	CAc	CAc
		30 D	120 D	30 D	120 D	30 D	120 D	30 D	120
AL G. 2002	T1-TESTE	1,1	1,5	0,7	0,4	0,8	0,8	0,8	0,7
AL G. 2002	T2-800 Kg ha ⁻¹	1,6	1,9	0,4	0,3	0,9	0,9	0,7	0,7
AL G. 2002	T3-1.500 Kg ha ⁻¹	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9
AL G. 2002	T4-2.300 Kg ha ⁻¹	0,9	0,7	0,9	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0
AL G. 2002	T5-3.000 Kg ha ⁻¹	0,7	0,6	1,1	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9
AL G. 2002	T6-MINERAL	0,7	0,8	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0

O coeficiente de afinidade, mostra que quanto mais próximo a 1, maior é a aceitabilidade da referida fauna ao resíduo no seu sistema alimentar. Tanto os ácaros, quanto os colêmbolos mostraram afinidade ao resíduo de tratamento de esgoto, portanto, o LE foi aprovado na cadeia alimentar da fauna edáfica.

Sabendo que a biodiversidade da fauna do solo pode ser utilizada na indicação da situação de um agroecossistema, os colêmbolos têm sido considerados indicadores de mudanças nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, e os ácaros para se reconhecer o grau de contaminação dos solos (PONGE et al., 1993 e IRAOLA, 2001).

Pode-se auferir essa resposta ao comportamento desses microorganismos que atuam abundantemente na liteira, à presença de fragmentos nutricionais disponíveis no lodo de esgoto; principalmente a presença de cálcio, que é bastante exigido pelos colêmbolos (BACHELIER, 1963 e WALLWORK, 1970), além do nitrogênio, que segundo Bardgett (1997), quando adicionado no solo via orgânicos pode aumentar a população de colêmbolos em 67%; pois o teor de matéria orgânica no solo aumenta a disponibilidade de alimentos ricos em N para a fauna.

5.4 CONCLUSÃO

Os metais pesados e agentes patogênicos (com exceção de ovos de helmintos) presentes no lodo de esgoto utilizado encontraram-se dentro dos limites aceitáveis pela resolução nacional que permite seu uso em atividades agrícolas como adubação orgânica.

A transferência de metais pesados detectados no lodo para as plantas de mamona é pequena ou quase inexistente;

A fauna edáfica (ácaros e colêmbolos) apresenta aceitabilidade do resíduo em sua cadeia alimentar.

6 DISCUSSÃO GERAL

Os metais pesados e agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto utilizado encontraram-se dentro dos limites aceitáveis pela resolução nacional que permite seu uso em atividades agrícolas como adubação orgânica, podendo ser aplicado, com segurança sanitária e ambiental. A transferência desses metais detectados no lodo para as plantas de mamona é mínima, sendo que a quantidade e a disponibilidade direta nos tecidos vegetais é quase inexistente.

As duas cultivares testadas, apresentaram diferenças entre as variáveis analisadas sob adubação com doses crescentes de lodo de esgoto e adubação mineral. O desempenho agrônômico das cultivares foi responsivo a adubação com lodo de esgoto, sendo que a cultivar BRS Energia se mostrou mais responsiva ao resíduo em comparação a média nacional utilizando adubação mineral recomendada.

A dosagem de 1.500 Kg ha^{-1} de lodo, a qual contém a dose recomendada de nitrogênio, apresentou resultados semelhantes ao tratamento mineral, porém os resultados de produtividade foram mais positivos nas maiores dosagens de 3.000 e 2.300 kg ha^{-1} . No entanto, a dosagem maior de lodo (com 2x mais nitrogênio recomendado) apresentou alguns efeitos controversos no teor de óleo; sendo então, indicado para a cultura da mamona nas condições deste estudo a dosagem de 2.300 Kg ha^{-1} de lodo de esgoto em base seca.

Na avaliação do efeito residual de LE com a cultivar de ervilha, o resíduo que apresentou melhor produtividade nos vasos previamente cultivados a variedade BRS Energia, ao passo que quanto maior a dosagem do experimento anterior, maior foi a emissão de vagens e produção de grãos de ervilha.

A fauna edáfica no estudo apresentou aceitabilidade do resíduo em sua cadeia alimentar, sendo este representado pela riqueza de ácaros e colêmbolos equitativamente equilibrada. Não havendo diferença entre as cultivares, somente conforme os aumentos de doses de nutrientes alocadas pelo lodo de esgoto no solo.

7 CONCLUSÃO GERAL

Os metais pesados e agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto utilizado encontraram-se dentro dos limites aceitáveis pela resolução nacional que permite seu uso em atividades agrícolas como um insumo alternativo ou adubação orgânica; e quando alocado no solo, confere a aceitabilidade da fauna edáfica. Podendo ser aplicado, com segurança sanitária e ambiental.

O lodo de esgoto em base sólida pode ser utilizado como um insumo alternativo nitrogenado para a cultura da mamona.

8 REFERÊNCIAS

ABREU JR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, 4:391-470, 2005.

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

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

AGENDA 21. <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>>**capítulo 7**, acesso em 01/01/2015.

AGENDA 2020. **Situação atual do Saneamento**. Disponível em <<http://agenda2020.com.br/propostas/saneamento/>>, acesso em 13 de julho de 2013.

AIRES, R. F. Desempenho agrônômico de cultivares de mamona no Rio Grande do Sul. **Dissertação** (PPGSPAF/UFPEL), 61p., Pelotas, 2008.

ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos. <http://www.anda.org.br/>, acesso em 15/12/2014.

ANDRADE, J. C. M., TAVARES, S. R. L., MAHLER, C. F. **O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo, Oficina de textos, 2007.

ANDREAZZA, R.; OKEKE, B. C.; LAMBAIS, M. R.; BORTOLON, L.; MELO, G. W. B.; CAMARGO, F. A. O. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, v.81, p.1149-1154, 2010.

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. Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. **Projeto PROSAB ABES**. 257p. Curitiba – PR, 2001

ARAÚJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N.; CORREIA, K. G.; PAZERA, E. Jr. Levantamento da macrofauna invertebrada do solo em área de Caatinga no semiárido da Paraíba. **GEOAMBIENTE ON-LINE**. Revista eletrônica do curso de geografia – UFG. Jataí – Goiás, n.13, p.19-31, 2009.

AZZOLINI, M. Restauração ecológica de áreas impactadas por cinzas de carvão mineral: Contribuição da mamona (*Ricinus Communis* L.) e respostas da espécie a metais pesados. **TESE DE DOUTORADO**. URGs – PPG em Botânica. Porto Alegre 2008.

BACHELIER, G. **La vie animale dans les sols**. O. R. S. T. O. M., Paris. 279p. 1963

BACHELIER, G. La faune des sols, son écologie et son action. Orstom, 1978. 391 p.
BURGES. F.; RAW, A., **Biologia Del Suelo**. Editora: OMEGA, 1971. 596p.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G.; KIIHL, T. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. **Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira**. Biosci. J., Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 90-98. 2009.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférrico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1501-1505, 2002.

BARDGETT, R. D.; GRIFFITHS, B. S. Ecology and biology of soil protozoa, nematodes, and microarthropods In: ELSAS, J. D. VAN.; TREVORS, J. T.; WELLINGTON, E. M. H **Modern Soil microbiology**. Marcel Dekker, Inc. New York: 1997. p. 129-152.

BARETTA, D. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciência Agroveterinária**, Lages, v.2, n.2, p.97-106. 2003.

BARROS, D. A. S.; PEIXOTO, J. S.; NASCIMENTO, C. W. A. & MELO, E. E. C. Conteúdo de nitrogênio e produção de biomassa em milho e feijoeiro em solos submetidos a doses de lodo de esgoto. In: FERTBIO, 3., Rio de Janeiro, 2002. Resumos. Rio de Janeiro, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. CD-ROM. 2002.

BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In.: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, Cap. 2. p.9-26. 1999.

BELTRAO, N. E. M.; SILVA, L. C.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P.; VIEIRA, D. J. FITOLOGIA. IN: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão: Campina Grande, p.37-61. 2001

BELTRÃO, N. E. M.; **Informações sobre o Biodiesel, em Especial Feito com Óleo de Mamona**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Embrapa. Campina Grande. 3p (EMBRAPA-CNPA. Comunicado Técnico). 2003

BETEMPS, G. R. & SANCHES FILHO, P. J. Estudo sazonal de metais pesados no sedimento do Saco do Laranjal – Pelotas-RS. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v. 7, n. 2, 79-84. 2012

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. **Embrapa Meio Ambiente**. 312 p. São Paulo, 2000.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. NOGUEIRA, G.A.; PRATI, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.24, n.3, p.32-35, 2006.

CAMPOS, F. S. Uso de Lodo de Esgoto na Reestruturação de Solo Degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1389-1397, 2008.

CANET, R.; POMARES, F.; TARAZONA, F. Chemical extractability and availability of heavy metals after seven years application of organic wastes to a citrus soil. **Soil Use Manag.**,13:117-121, 1997.

CARNEIRO, R. A. F. A produção do biodiesel na Bahia. **Revista Conjuntura e Planejamento**, n.112, p.35-43, 2003.

CETESB. **Norma Técnica P4.230**. 33 p. São Paulo 1999.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: novas bases de uma prevenção contra doenças e parasitas- a teoria da trofobiose**. 320 p. 2012.

CHANG, A. C.; WARNEKE, J. E.; PAGE, A. L.; LUND, L. J. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.87-91, 1984.

CHANG, A.C.; HINESLY, T.D.; BATES, T.E.; DONER, H.E.; DOWDY, R.H. & RYAN, J.A. Effects of long term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A.L.; LOGAN, T.J. & RYAN, J.A., eds. **Land application of sludge: food chain implications**. Chelsea, Lewis Publishers. p.53-66. 1987.

CHAPIN, F. S. III. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 233-260, 1980.

CHAVES, L.H.G.; GHEYI, H.R.; RIBEIRO, S. Consumo de água e eficiência do uso para cultivar de mamona Paraguaçu submetida à fertilização nitrogenada. **Engenharia Ambiental**, v.8, p.126-133, 2011.

CHIARADIA, J. J. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG, 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. Piracicaba, Universidade de São Paulo. 142p. (**Tese de Doutorado**) 2005.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E. & OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:643-652, 2008.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, **Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos**, v.2, safra 2014/15, monitoramento agrícola 105p, download em <http://www.conab.gov.br/> acesso em 12/05/2014

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.

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

CORSAN. Companhia Sul-riograndense de Saneamento. <<http://www.corsan.com.br/node/51>> Acesso em 28/12/2014

CORRÊA NETO, T. A.; PEREIRA, M. G.; CORREA, M. E. F. Deposição de ser rapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. **Revista Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.70-75, 2001.

COSTA, A. G. F.; SOARES, D. J.; ALBUQUERQUE, F. A.; (...) **Cultivo da Mamoneira**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão. 24 p. (Circular Técnica, 136). 2014

COSTA, A. N. & COSTA, A. F. S. **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o Estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper. 126p. 2011.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M; JUNIOR, E. S. N. Efeito do lixo orgânico e torta de mamona nas características de crescimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Revista Engenharia Ambiental**, v. 06, n. 01, p. 259-268. Insumos alternativos e a qualidade do solo. 2009.

CURRY, M. P.; GOOD, J. A. Soil fauna degradation and restoration. **Adv. Soil Science**. V.17, 171-215, 1992.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R. **Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola**, EL-NAIM MA, EL-HOUSSEINI M, NAEEMMH. Safety use of sewage sludge as soil conditioner. Journal of Environmental Science and Health Part A – Toxic/ Hazardous Substances and Environmental Engineering 39v.2, p.435-444, 2004.

BRASIL. Decreto nº 8.211 de 21 de março de 2014. Dispõe sobre a alteração do Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010, que regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em ...

Diário Popular, (**Jornal local**) edição impressa e online
<http://www.diariopopular.com.br/index.php?n_sistema=3075&chave_busca=494850854>, Pelotas/RS 24 de janeiro de 2014, acesso em 02/02/2015.

DYNIA, J. F.; BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Nitrato no perfil de um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com milho sob aplicações sequenciais de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 79-90. 2006

EGREJA FILHO, F. B.; REIS, E. L.; JORDÃO, C. P.; PEREIRA NETO, J. T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano. **Química Nova**, 22:324-328, 1999.

EMMERICH, W. E.; LUND, L. J.; PAGE, A. L.; CHANG, A. C. Movement of heavy metals in sewage sludge-treated soils. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p.174-178, 1982.

FORNAZIER, R.; GATIBONI, L. C.; WILDNER, L. do P.; BIANZI, D.; TODERO, C. Modificações da fauna edáfica durante a decomposição da fitomassa de *Crotalaria Juncea* L. In: XXXI **Congresso Brasileiro de Ciência do solo**. Gramado. Anais Gramado, SBCS. CD-ROOM. 2007

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; LIMA, M. R. P.; RAMALDES, D. L. C.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Capítulo 3 - Desidratação de Lodo de Esgotos 57-86 p. (**PROSAB – Rede Cooperativa de Pesquisas**). 2001

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

HORTELLANI, M. A., SARKIS, J. E. S., ABESSA, D. M. S., SOUSA, E. C. M. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do Estuário Santos – São Vicente. **Química Nova**, 31(1): 10-19. 2008

HUE, N. V. A possible mechanism for manganese phytotoxicity in Hawaii soils amended with a low-manganese sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, v.17, p.473-479, 1988.

IBGE **PAM: 2010**. Rio de Janeiro. Disponível em
<<http://www.ibge.gov.br/estatistica/feedados/consulta/2010/estado/domiciliosparticularespermanentes>>, acesso em 21 de julho de 2013.

IFA 2012, <http://ifadata.fertilizer.org/ucResult.aspx?temp=20141223021223>, acesso em 22/12/2014.

IRAOLA, V. Introducción a los Ácaros (II): **Hábitats e importancia para el hombre** **Departamento de Ecología y Zoología**. Universidad de Navarra. Pamplona (Navarra). Aracnet 7 -Boi. S.E.A., n. 28. p. 141—146. 2001. disponível em <<http://entomologia.rediris.es/aracnet/7/10acaros/index.htm>> acessado em 01 de fev. 2015.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry, **Chemistry Compendium of Chemical Terminology** 2° Edition. 1997

JORDÃO, C. P.; KIYOHARA, R. S.; DAMASCENO, R. N.; BRUNE, W.; PEREIRA, J. L. Speciation of cadmium, copper, lead and zinc in compost from Brazilian urban solid waste treatment plant. *Ci. Cult. J. Braz. Assoc. Adv. Sci.*, 48:284-287, 1996.

KHAN, A. G.; CHAUDURY, T. M.; HAYES, W. J.; KHOO, C. S.; HILL, L.; FERNANDEZ, R.; GALHARDO, P. Physical, chemical and biological characterisation of a steelworks waste site at ort Kembla, NSW Australia. **Water air soil pollution**, 104: 389-402. 1998

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 173 p., 2004.

KORCAK, R. F.; FANNING, D. S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. **Soil Science**, v.140, n.1, p.23-34, 1985.

LAVELLE P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic Pub. 654 p. 2001.

LEA, P. J.; BLACKWELL, R. D.; JOY, K. W. Ammonia assimilation in higher plants. In: K. Mengel; D. J. Pilbean (Ed.) **Nitrogen metabolism of plants**. Oxford: Claredon, 153-186 p. 1992

LIMA, A. M.; MELO, J. L. S.; MELO, H. N. S.; CARVALHO, F. G. Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L) utilizando efluente sintético contendo chumbo. **Holos**, Ano 26, Vol. 1, p.51-61, 2010.

LOBO, T. F. & GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, Temuco, v. 7, n. 3, p. 16-25, 2007.

LOBO, T. F. & GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.1, p. 118-124, 2012.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; KUMMER, A. C. B. Aplicações sucessivas de lodo de esgoto no girassol e efeito residual no trigo e triticale. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.18, n.9, p.881-886, Campina Grande-PB, 2014.

LOGAN, T. J. & CHANEY, R. L. Metals. In: **WORKSHOP ON UTILIZATION OF MUNICIPAL WASTEWATER AND SLUDGE ON LAND**, Riverside. Proceedings. Riverside, University of California, 1983. 235-323 p. 1983

LOPES, H. O. S. Fontes alternativas de Fósforo para a redução de custos do sal mineral para bovinos. (**Documentos / Embrapa Cerrados**) 44 p., 2001.

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

MARIA, I. C.; CHIBA, M. K.; COSTA, A.; BERTON R. S. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:967-974. 2010

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fé, Mn e Zn pelo milho em solos adubados com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.563-574, 2003.

MELO, V. P. de. Propriedades químicas e disponibilidade de metais pesados para a cultura do milho em dois latossolos que receberam a adição de bio sólido. 2002. 134 f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal)** - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

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.

MILANI, M. **BRS Energia**. 3. ed. Campina Grande – PB: Embrapa Algodão, Folder, 2010.

MORSELLI, T. B. G. A. **Biologia do solo**. Pelotas/RS 145 p., 2009

NAKAGAWA, J.; NEPTUNE, A. M. L. Marcha de absorção de nitrogênio , fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (*Ricinus Communis*, L.) , cultivar "campinas ". **Anais da E. S. A. "Luiz de Queiroz"**. Volume xxviii, p 323- 337. 1971.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; JÚNIOR, D. S. B; JUNIO, G. R. Z.; FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 145-151, out.-dez., 2011.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, E. P.; SOARES, L. A. A.; ALVE, A. N. Teor de óleo e produtividade da mamoneira de acordo com a adubação nitrogenada e irrigação com água salina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.991-999, 2012.

NÓBREGA, M. B. de M.; ANDRADE, F. P.; SANTOS, J. W.; LEITE, E. J. Germoplasma In: Azevedo, D. M. P.; Lima, E. F. (ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: EMBRAPA. cap.11, p.257-280. 2001

NORMA TÉCNICA. ISO 18593:2004. **Microbiologia de alimentos para consumo humano e animal** — Métodos horizontais para técnicas de amostragem de superfícies utilizando placas de contato e swabs. 2012

OLIVEIRA, F. C. & MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Sci. Agric.**, 58:581-593, 2001.

OLIVEIRA, J. P. B.; LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R. S.; JASPER, A. P. S.; SANTOS, L. N. S.; OLIVEIRA, L. B. Efeito do lodo de esgoto no desenvolvimento inicial de

duas cultivares de mamona em dois tipos de solos. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 174-180, 2009.

OLIVEIRA, P. M.; CARLOS, A. C.; MORÓN-VILLARREYES, J. A. Avaliação de etanol como solvente na extração de óleo de mamona. **Anais eletrônicos**. XIX Congresso de Iniciação Científica, XII ENPOS – UFPel, 2010.

OLIVEIRA, R. J. P.; BERNARDO, J. T.; SILVA, M. T.; KUNDE, R. J.; PAULA, B. V.; MORSELLI, T. B. G. A.; ANTUNES, M. O.; KROLOW, D. R. V. Avaliação da qualidade de solo em cultivo orgânico de ervilha crioula no município de Rio Grande – RS. **REVISTA CONGREGA URCAMP**. Bagé/RS 2013.

PEDROZA, J. P. et al. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de bio sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 483-488, 2003.

PENTEADO, S. R. **Introdução a agricultura orgânica**: normas e técnicas de cultivo. Campinas: Grafimagem, 110p. 2000

PETRUZZELLI, G.; LUBRANO, L. & GUIDI, G. Heavy metal extractability. **Biocycle**, 26:46-48, 1985.

PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 757-766. 2009

PNSB (2008). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. IBGE, Rio de Janeiro.

PONGE, J. F. **Etude écologique d'un humus forestier par l'observation d'un petit** vol. TTT- La couche Fi d'un moder sous Pirtus sylvestris. *Pedobiologia*, v.31, p. 1-64, 1998

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de bio sólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 840 p. 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/>).

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J. F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 583-594 p. 2006.

RESENDE Á. V.; MARTINS, É. S.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. L.; OLIVEIRA FILHO, E. C. suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço & Geografia**, Vol. 9, Nº 1, 19-42. 2006

ROCHA, M. T.; SHIROTA, R. Disposição final de lodo de esgoto. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau (SC), v. 1, n. 3, p. 1-24, set./dez. 1999.

ROITT, I.; BROSTOFF, J.; MALE, D. **Imunologia**. 4, ed. São Paulo: Manole, 1997.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ERISMAN, N. M. Lead uptake and tolerance of *Ricinus Communis* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18: 483-489. 2006

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. de A.; GONDIM, T. M. de S.; CARDOSO, G. D.; VIRIATO, J. R.; BELTRÃO, N. E. de M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.879-882, 2006.

SHENNON, C. E.; WEAWER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana, Universidad Illinois, Press, 117p. 1949

SILVA, M. T.; BERNARDO, J. T.; OLIVEIRA, R. J. P.; KUNDE, R. J.; PAULA, B. V.; MORSELLI, T. B. G. A. Monitoramento da mesofauna edáfica de duas linhagens de cenoura crioula. **REVISTA CONGREGA URCAMP**. Bagé/RS 2013.

SILVEIRA, M. L. A.; ALLEONI, L. R. F. & GUILHERME, L. R. G. Biosolids and heavy metals in soils. **Sci. Agric.**, 60:793-806, 2003.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2013. **Tabelas Completas de Informações e Indicadores dos Prestadores de Serviços Regionais** Dowload disponível em <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=105>>, acesso em 31/12/2014.

PEREIRA, D. C. Produção de mudas de almeirão e cultivo no campo, em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.16, n.10, p.1100–1106, 2012.

PURVES, A.; HECTOR, A. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, London, v. 405, p. 202-219, 2000.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. V.; BELTRÃO, N. E. M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. A. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: **I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA**. Anais. Campina Grande: Embrapa, 2004. CD-ROM. 2004

SAVY FILHO, A. **Mamona tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 105p. 2005

SCHNOOR, J. L. Phytoremediation of soil and groundwater: Technology evaluation report TE-02-01. Iowa: GWRTAC **Ground Water Remediation Technologies Analysis Center**, 2002.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, J. P.; CASTILHOS, R. M. V.; SILVA, S. D. A. **Adubação nitrogenada para cultivares de mamona no Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 77) 2008.

SILVA, F. C.; BOARETO A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI H. B.; PEIXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo

vermelho amarelo cultivado com cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.5, p. 831-840, 2001

SILVA, H. P. et al. Qualidade física de sementes de girasso produzido sob doses de lodo de esgoto. **Revista Verde Mossoró**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2010.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio sólido produzido no Distrito Federal. - Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v. 26, p. 487-495, 2002.

SILVA, M. T.; BERNARDO, J. T.; OLIVEIRA, R. J. P.; KUNDE, R. J.; PAULA, B. V.; MORSELLI, T. B. G. A. Monitoramento da mesofauna edáfica de duas linhagens de cenoura crioula. **REVISTA CONGREGA URCAMP**. Bagé/RS 2013.

SILVA, S. D. A. CASAGRANDE JUNIOR, J.G.; SCIVITTARO, W. B.. **A cultura da mamona no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 115p. (Sistemas de Produção, 11). 2007

SILVA, S. D. A.; CASAGRANDE JUNIOR, G.; AIRES, R. F. **Sistemas de Produção da Mamona**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado. Versão Eletrônica. (Sistemas de Produção, 11). 2007.

SOUTO, L. S.; SILVA, L. M.; LOBO T. F.; FERNANDES, D. M.; LACERDA, N. B. Níveis e formas de aplicação de lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.274-277, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. 2005.

SOUZA, N. C.; MOTA, S. B.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.5, p.478-484, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. 2010.

SPERLING, M. V. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 2. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 211 p. 1996.

SPERLING, M. V. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol 4. **Lodos Ativados**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 428 p. 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5) 1995.

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, mar. 2005.

TSUTIYA, M. T. Metais Pesados: O principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. 20° **Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária**. 753-761, Rio de Janeiro. 1999.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólido gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo d esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, cap. 4, p. 69-105. 2000.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Eds.) **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

VIEIRA, R.F. Sewage sludge effects on soybean growth and nitrogen fixation. **Biology and Fertility of Soils**, v.34, p.196-200, 2001.

VIEIRA, R. F.; TSAI, S. M.; TEIXEIRA, M. A. Utilização de lodo de esgoto na cultura do feijão: efeito sobre o crescimento e fixação simbiótica do N₂. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7, Viçosa. **Anais.Viçosa**: UFV, 2002. p.810-813, 2002.

WALSH, L. Land application of sludge an overview. In: HEATINGS ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL QUALITY, Columbus. **Anais. Columbus**, University of Ohio, Agriculture Committee, 1979. p.1-13, 1979.

WALLWORK, J. A. **Ecology of soil animals**. London, McGraw-Hill, 283 p., 1970.

WEISS, E. A. **Oilseed crops**. London: Blackwell Science, 364 p., 2000.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.4, n.1, p.60-71, 2005.