



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



ALEX SANTOS DE DEUS

**IMPACTO ENERGÉTICO E NO SOLO DECORRENTE
DO USO DE BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO
DE CANA-DE-AÇÚCAR E CAPIM-ELEFANTE**

JOÃO PESSOA - PB
2020

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO

ALEX SANTOS DE DEUS

**IMPACTO ENERGÉTICO E NO SOLO DECORRENTE DO USO DE
BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E
CAPIM ELEFANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Raphael Abrahão

Coorientador
Dr. Roseilton Fernandes dos Santos

**JOÃO PESSOA - PB
2020**

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

486i Deus, Alex Santos de.
Impacto energético e no solo decorrente do uso de biossólido industrial na produção de cana-de-açúcar e capim-elefante / Alex Santos de Deus. - João Pessoa, 2020.
88 f. : il.

Orientação: Raphael Abrahão.
Coorientação: Roseilton Fernandes dos Santos. Dissertação
(Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Fertilizantes. 2. Biossólido industrial. 3. Plantas
- Nutrição. 4. Solo - Fertilidade. 5. Cana-de-açúcar.
6. Capim-elefante. I. Abrahão, Raphael. II. Santos, Roseilton Fernandes dos.
III. Título.

UFPB/BC

CDU 631.8

ALEX SANTOS DE DEUS

**IMPACTO ENERGÉTICO E NO SOLO DECORRENTE DO USO DE
BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E
CAPIM ELEFANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Banca examinadora:

Prof. 1 – Dr. Raphael Abrahão: Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – Orientador

Prof. 2 – Dr. Roseilton Fernandes dos Santos: Departamento de Solos e Engenharia Rural (UFPB) – Co-orientador

Prof. 3 – Dr. Lázaro de Souto Araújo (UFPB) – Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais - Examinador externo

Suplentes

Prof. 4: Dra. Kelly Cristiane Gomes da Silva – Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) - Examinadora interna

Prof. 5: Dr. José Felix da Silva Neto – Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – Examinador externo

Orientador
Drº Raphael Abrahão

Coorientador
Drº Roseilton Fernandes dos Santos

**JOÃO PESSOA - PB
2020**

Dedico à Deus, minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que em todo tempo esteve presente em minha vida, nas boas ações que eu tenha feito e me auxiliando a controlar minhas reações diante as situações. À minha querida mãe, Meyre, minha parceira, amiga, que sem ter a experiência de tê-la como Mãe, não seria a metade do que sou. Ao meu Pai Genauro de Deus (in memoriam), você me insinuou que nunca é tarde para o amor fraterno ser restaurado.

À minha querida Avó Marieta, o qual me ensinou 90% de como viver com os diferentes e fazer do servir ao próximo um dos meus maiores prazeres. Às minhas irmãs, Aldenir e Ângela, onde tenho a satisfação de ter o convívio fraternal, mesmo na ausência. Às minhas queridas irmãs de alma, as três Marias (Maria Letícia, Maria Clara e Maria Regina), que a cada dia me ensina o poder dos detalhes em cada jeito de ser. À Marta Costa, Alba Correia e Magnólia Santos pelo incentivo.

Ao Prof. Raphael, pela disponibilidade para ser meu orientador, sendo muitas vezes paciente com meus erros naturais, principalmente nesta fase de aprendizagem. Grato por tudo. Aos Professores Roseilton e Lázaro de Souto pelos ensinamentos e as contribuições durante toda parte prática e escrita desta dissertação.

Agradeço também, as professoras Kelly Gomes e Flávia pelo incentivo de participar deste Mestrado, onde tive muitas experiências importantes para meu crescimento profissional. À Lidjane Fernandes, por todo apoio e por vivenciar de perto todos os momentos bons e não tão bons durante este período de formação acadêmica.

Aos amigos e amigas: Jaqueline Pereira, Patrícia Abraão, Yanna Nascimento, Lieska Teixeira, Ingrid Lélis, Alex Pimentel, Kalline Carneiro, Habila Yusuf, Izanilde, Jessica Nascimento, Grazi, Raquel Andrade, Raquel Santos, Lidiane, Elisiane, Jhonny Tysson, Gilmana Thais, Wallysson de Medeiros, Talles Neves, Cleiton Sousa. Elas e eles representam tantas outras e outros que tive a satisfação e alegria de compartilhar momentos únicos, aprendendo ser melhor em todos estes momentos e sentidos.

Finalizo agradecendo a todos que compõe a Universidade Federal da Paraíba, em especial as pessoas do Centro de Energias Renováveis e Alternativas - CEAR, do menor ao maior cargo, por ter me acolhido de braços abertos, com paciência e maestria. Agradeço também à PB Ambiental pela disponibilidade e apoio durante todo processo experimental.

RESUMO

O biossólido é o lodo proveniente de estação de tratamento de efluente, tendo em sua composição uma quantidade significativa de matéria orgânica e nutrientes que o tornam utilizável na agricultura como adubo. Estudos comprovam os bons resultados que esta prática normalmente traz para o solo, a cultura implantada e a viabilidade econômica do cultivo. O presente estudo buscou entender a viabilidade da disposição do biossólido produzido pela estação de tratamento de efluente de uma indústria têxtil do polo industrial de João Pessoa/PB no solo, como potencial fonte de nutrientes no plantio de cana-de-açúcar e do capim-elefante. Para isto, foi realizado um experimento em fazenda experimental no município de Pedras de Fogo-PB. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, compostos por 6 (seis) tratamentos: sem adubação, adubação convencional, 1x, 2x, 4x e 8x a dose de biossólido recomendada pela Resolução CONAMA 375/06, com três repetições cada, totalizando 18 (dezoito) parcelas experimentais para cada cultura. Foram utilizadas variedades cultivadas pelos agricultores da região. Além das análises realizadas diretamente com a cana-de-açúcar e o capim-elefante, buscou-se entender também os efeitos que o biossólido pode agregar ao solo, investigando as possíveis perdas ou ganhos físico-químicos e a possível contaminação por metais pesados. O principal resultado esperado é entender se o uso do biossólido como fertilizante pode substituir os fertilizantes comerciais, dando mais benefícios ambientais, assim como bons níveis de produtividade para cana-de-açúcar e o capim-elefante. Foram observados também, que o coeficiente de variação (c.v.) de todas as variáveis envolvidas na análise, tanto para a cana-de-açúcar como para o capim-elefante, foi inferior a 20%, indicando uma boa homogeneidade dos dados. A partir dos resultados alcançados ao longo do tempo total do experimento, aproximadamente 02 anos, pode-se constatar que o biossólido se mostrou viável para aplicação no solo, desde que sua dosagem seja feita de acordo com a dosagem calculada pela Resolução Conama 375/06.

Palavras-Chave: Fertilização, *Saccharum officinarum*, planta forrageira, nutrientes

ABSTRACT

The Biosolids are sludge from an effluent treatment plant, with a significant amount of organic matter and nutrients in its composition that make it usable in agriculture as a fertilizer. Studies prove the good results that this practice normally brings to the soil, the implanted culture and the economic viability of cultivation. The present study sought to understand the feasibility of the disposal of the biosolid produced by the effluent treatment station of a textile industry in the industrial pole of João Pessoa / PB in the soil, as a potential source of nutrients in the planting of sugarcane and grass. elephant. For this, an experiment was carried out on an experimental farm in the municipality of Pedras de Fogo-PB. The experimental design used was randomized blocks, composed of 6 (six) treatments: without fertilization, conventional fertilization, 1x, 2x, 4x and 8x the dose of biosolid recommended by CONAMA Resolution 375/06, with three repetitions each, totaling 18 (eighteen) experimental plots for each culture. In addition to the analyzes carried out directly with sugar cane and elephant grass, we also sought to understand the effects that biosolids can add to the soil, investigating possible physical-chemical losses or gains and possible contamination by heavy metals. The main expected result is to understand whether the use of biosolids as a fertilizer can replace commercial fertilizers, giving more environmental benefits, as well as good levels of productivity for sugar cane and elephant grass. It was also observed that the coefficient of variation (c.v.) of all variables involved in the analysis, for both sugarcane and elephant grass, was less than 20%, indicating good data homogeneity. From the results obtained over the total time of the experiment, approximately 02 years, it is observed that the biosolid was shown to be viable for application to the soil, provided that its dosage is made according to the dosage calculated by Conama Resolution 375/06.

Key words: Fertilization, *Saccharum officinarum*, forage plant, nutrients

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Representação esquemática do delineamento experimental (SILVA, 2018).	29
Figura 3.1. Representação esquemática do delineamento experimental (SILVA, 2018).	48
Figura 3.2. Percentuais, em volume, dos elementos SiO_2 e Al_2O_3 determinados pela fluorescência de raio-x no solo cultivado com cana-de-açúcar.....	49
Figura 3.3. Percentuais, em volume, dos elementos Fe_2O_3 , TiO_2 , SO_3 , P_2O_3 , ZrO_2 , Cl no solo determinados pela fluorescência de raio-x no solo cultivado com cana-de-açúcar.....	50
Figura 4.1. Representação esquemática do delineamento experimental (NEVES, 2017).	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Tipos e processos de tratamento de efluentes da indústria têxtil.....	20
Tabela 1.2. Físico-química de lodo gerado por indústria têxtil.	21
Tabela 2.1. Caracterização físico-química do biossólido utilizado no experimento.	30
Tabela 2.2. Quantidade aplicada de biossólido no solo da experimentação, calculado de acordo com a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).....	32
Tabela 2.3. Estágio de maturação da cana-de-açúcar.	35
Tabela 2.4. Análise química do solo onde foi realizado o experimento antes do cultivo experimental.	37
Tabela 2.5. Análise química do solo 1 dia antes do corte da cana-de-açúcar.	38
Tabela 2.6. Resultados (p-valores) associados às principais fontes de variação em delineamento em blocos casualizados para as variáveis: Talos, Altura, Biomassa e Brix.	40
Tabela 2.7. Resultados associados às variáveis Talos, Altura, Biomassa e Brix para diferentes tipos de dosagens de fertilização para a cana-de-açúcar.....	41
Tabela 4.1. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.	60
Tabela 4.2. Quantidade aplicada de biossólido no solo da experimentação, calculado de acordo Resolução 375/ 06 (BRASIL, 2006).....	61
Tabela 4.3. Caracterização química do solo onde foi realizado o experimento.	66
Tabela 4.4. Análise química do solo após implantação do experimento.	66
Tabela 4.5. Resultados (p-valores) associados às variáveis altura das plantas (AP) e peso total (PT).....	68
Tabela 4.6. Teste de Tukey ao nível de 5% de significância para os tratamentos: Peso Total (PT) e Altura de Planta (AP).	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

Ca - Cálcio

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMC - Carboximetilcelulose

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FDA – Fibra em Detergente Ácido

FDN – Fibra em Detergente Neutro

GWP - *Global Warming Potencial*

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

ISO - *International Organization for Standardization*

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

K - Potássio

KCl - Cloreto de potássio

Mg – Magnésio

MM – Matéria mineral

MO – Matéria orgânica

MS – Matéria seca

NaOH – Hidróxido de sódio

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número Mais Provável

P - Fósforo

P₂O₅ - Superfosfato simples

PB - Paraíba

pH – Potencial hidrogeniônico

PPGER – Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis

PVA – Acetato de Polivinila

N - Nitrogênio

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

TKN – Nitrogênio Kjeldahl Total

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1. INTRODUÇÃO	16
1.2. OBJETIVOS	18
1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
1.3.1. Contextualizando a produção do biossólido na indústria têxtil	19
1.3.2. Caracterização do biossólido gerado	21
1.3.3. Tratamento do lodo gerado	22
1.3.4. O uso do biossólido na agricultura	22
1.3.5. Legislação vigente para o uso do biossólido na agricultura	23
1.3.6. Cultura da cana-de-açúcar	24
1.3.7. A Cultura do capim elefante	26
CAPÍTULO 2 (ARTIGO): Efeito do biossólido de indústria têxtil para a fertilidade do solo e para a produção da cana-de-açúcar	27
2.1. INTRODUÇÃO	28
2.2. METODOLOGIA	29
2.2.1. Área experimental	29
2.2.2. Caracterização do solo	30
2.2.3. Taxa de aplicação do biossólido e fertilizante comercial	30
2.2.4. Método de plantio	32
2.2.5. Irrigação	33
2.2.6. Coleta, processamento e análise das amostras de solo	34
2.2.7. Determinação do estágio de maturação	35
2.2.8. Determinação da produtividade	36
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
2.3.2. Análise de produtividade	39
2.4. CONCLUSÃO	42
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO 3 (ARTIGO): Concentração de metais e óxidos em solo agrícola de cana-de-açúcar tratado com biossólido de indústria têxtil	45
3.1. INTRODUÇÃO	46
3.2. METODOLOGIA	47
3.2.1. Área experimental	47
3.2.2. Quantificação dos elementos nas amostras	48

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.4. CONCLUSÃO.....	51
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
CAPÍTULO 4 (ARTIGO): Efeito do biossólido de indústria têxtil para o solo e para a produção do capim-elefante – <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone	56
4.1. INTRODUÇÃO	57
4.2. METODOLOGIA.....	58
4.2.1. Área experimental	58
4.2.2. Caracterização do solo	59
4.2.3. Taxa de aplicação do biossólido e fertilizante comercial	60
4.2.4. Método de plantio	62
4.2.5. Irrigação	63
4.2.6. Coleta, processamento e análise das amostras de solo	64
4.2.7. Determinação da produtividade.....	64
4.3. RESULTADO E DISCUSSÃO	65
4.3.2. Análise de produtividade	67
4.4. CONCLUSÃO.....	70
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA DISSERTAÇÃO	78
ANEXO 1.....	87
ANEXO 1: Descrição do perfil do solo da área de estudo	87

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL

1.1. INTRODUÇÃO

O crescimento industrial em áreas urbanas e a disposição dos resíduos por elas produzidas causam grandes impactos, sejam eles positivos ou negativos. Um impacto ambiental negativo a ser considerado é a contaminação dos recursos hídricos, muito influenciado pelo despejo de águas residuárias em mananciais hídricos. A poluição dos corpos hídricos que recebem rejeitos industriais tem aumentado significativamente, o que pode causar problemas para a saúde humana com reflexo na qualidade de vida da população, tornando a água um recurso mais escasso (STACHIW, 2005). As indústrias que têm algum tipo de despejo líquido em qualquer corpo hídrico, para atenderem à legislação, implantaram ou estão implantando Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) para tratar seus efluentes hídricos e descartarem o mesmo em conformidade com a legislação vigente.

Segundo Pedroza et al. (2010), nestes sistemas de tratamento de águas residuárias, a água retorna aos mananciais com certo grau de pureza. No entanto, na maioria dos tratamentos, principalmente nos de natureza biológica, ocorre a geração de um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, chamado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999). Normalmente, o lodo oriundo de ETE's é desidratado e disposto em aterros sanitários, porém desde agosto de 2014 essa disposição é proibida pela lei 12.305/10 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Essa prática sobrecarregava os aterros, diminuía sua vida útil e era muito onerosa, sendo desperdiçado um resíduo que possui diversas formas energéticas de ser aproveitado: agricultura, incineração como forma de se produzir algum tipo de energia, matéria-prima para fabricação de tijolos e biomassa para queima (SILVA, 2018).

Devido ao seu grande potencial em disponibilização de matéria orgânica e nutriente, uma alternativa muito utilizada para o seu aproveitamento é o uso como fertilizante. Segundo Andreolli et al. (2006), o lodo de esgoto quando apresenta características que permitam o seu uso agrícola é denominado de biossólido. É de suma importância compreender se a fertilização com estes resíduos industriais pode ser semelhante à fertilização mineral em relação à fertilidade do solo e produtividade dessas culturas.

A presente dissertação do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER) da Universidade Federal da Paraíba está organizada em forma de artigos

científicos, em conformidade com as Normas para Elaboração de Dissertações do PPGER. Dessa forma, inicialmente está apresentada uma introdução geral, seguida dos objetivos e da revisão bibliográfica. Os capítulos seguintes são artigos científicos organizados e prontos para publicações. Esses artigos são independentes, mas estão estritamente relacionados, já que tratam do mesmo tema geral da dissertação.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade da disposição do biossólido produzido pela ETE de uma indústria têxtil do polo industrial de João Pessoa/PB no solo, como potencial fonte de nutrientes no plantio de cana-de-açúcar e do capim-elefante.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- Avaliar os potenciais ganhos físico-químicos no solo com a aplicação do biossólido;
- Verificar o potencial de contaminação do solo com a aplicação do biossólido;
- Avaliar a produção da cultura da cana-de-açúcar com o uso do biossólido em comparação ao fertilizante comercial;
- Avaliar a produção da cultura do capim-elefante com o uso do biossólido em comparação ao fertilizante comercial.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.3.1. Contextualizando a produção do biossólido na indústria têxtil

O crescente aumento industrial ao longo dos anos, em particular o setor de beneficiamento de produto, vem se tornando o maior responsável pela geração de efluentes líquidos, causando grandes impactos negativos ao meio ambiente. Com isto, os órgãos fiscalizadores vêm sendo mais rígidos na aplicação das leis ambientais, fazendo com que as indústrias criem alternativas para solucionar estes impactos.

Neves (2017) relata que é grande o consumo de água no processo de beneficiamento de produtos industriais, surgindo assim, a necessidade de uso mais consciente desta água, em especial no beneficiamento de produtos na indústria têxtil, onde o consumo de água é alto. A maior parte dos despejos da indústria têxtil são líquidos, tendo sua origem a partir das etapas de tinturarias de fios e tecidos, estamparia, lavanderia, engomadeiras e todas as etapas de beneficiamento que utilizam água (SILVA, 2018).

A indústria têxtil também gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, principalmente lodos com alta carga orgânica, muitos corantes e compostos químicos, que são tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Estes resíduos gerados pelo setor variam de acordo com o desenvolvimento de novos reagentes, novas técnicas, levando em consideração a demanda de consumo dos tipos de tecidos e das diversas cores. Ressalta-se que são necessárias várias operações para dar ao tecido o máximo de propriedades, conseqüentemente, gerando diferentes despejos, principalmente os despejos hídricos (NEVES, 2017).

Resultados encontrados em estudos realizados com efluentes industriais têxteis mostram que estes tipos de resíduos contêm altos teores de corantes e sólidos suspensos, além de serem altamente alcalinos. Com a finalidade de reduzir esta problemática, Freitas (2002) descreve tratamentos primários, secundários e terciários, objetivando a remoção de grandes quantidades de poluentes e a diminuição dos sólidos totais, turbidez, cor, reduzindo também seu poder de toxicidade.

Peres e Abrahão (1998) resumem as opções de tratamento para cada tipo de processo (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Tipos e processos de tratamento de efluentes da indústria têxtil.

Tratamento	Tipo de processo	Operação unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação/Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação/Precipitação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Lagoas de estabilização Filtros biológicos
Terciário	Químico	Coagulação/Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osiose reversa Evaporação

Fonte: Peres e Abrahão (1998).

Para atender aos critérios legislatórios apontados pelos órgãos ambientais responsáveis, a indústria conta com a estação de tratamento de efluentes (ETE'S). No intuito de reaproveitar as águas residuárias e/ou despejá-las em qualquer manancial hídrico, é fundamental que se passe por um processo de tratamento, onde na maioria das vezes são gerados muitos resíduos sólidos. O mais significativo é um resíduo semissólido, pastoso e de natureza orgânica, chamado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

Segundo Barneto et al. (2009), em 2005, a produção espanhola de lodo de esgoto foi de 1.120.000 toneladas de matéria seca. Seu principal uso foi a disposição no solo, aproximadamente 725.000 toneladas. De acordo com Khai (2007), metade do lodo de esgoto produzido nos Estados Unidos é aplicado ao solo.

Na comunidade europeia, mais de 30% do lodo de esgoto produzido é utilizado como fertilizante na agricultura. Estima-se que a produção de lodo no Brasil está entre 1.500.000 a 2.200.000 toneladas de matéria seca por ano (PEDROZA et al., 2010).

1.3.2. Caracterização do biossólido gerado

Para saber a composição química do lodo, faz-se necessário saber o local de onde foi originado, se em ETE de rejeitos industriais, domésticos ou hospitalares, e quais os sistemas de tratamentos foram empregados no processo de geração do lodo.

Lambais e Carmo (2008) relatam que apesar de ter sua composição química variável, os biossólidos são ricos em matéria orgânica e nutrientes essenciais para as plantas e microrganismos. Os mesmos autores destacam que dependendo da origem das águas residuárias, os biossólidos podem conter quantidades elevadas de metais, como Zn, Cu e Cd, ou xenobiontes, além de microrganismos patogênicos a animais e humanos. Martinelli et al. (2002) relatam que corantes com metais pesados e agentes patogênicos fazem parte dos outros componentes constantemente encontrados na composição do lodo.

A Tabela 1.2. exemplifica de uma maneira geral a composição físico-química de lodo gerado por ETE de indústria têxtil.

Tabela 1.2. Físico-química de lodo gerado por indústria têxtil.

Parâmetros	Resultados
DQO (mg/L)	39,326
Densidade (g/mL)	1,090
Teor de umidade (%)	94,5
Teor de Sólidos Totais (mg/L)	42899
Sólidos Fixos (%)	49,9
pH	4,46
Sulfetos (mg/L)	62,6
SiO ₂ (%)	3,5
Al ₂ O ₃ (%)	11,50
SO _x (%)	3,98
Fe ₂ O ₃ (%)	0,15
P ₂ O ₅ (%)	6,05
Cl (%)	0,34
TiO ₂ (%)	0,34
MgO (%)	0,22
K ₂ O (%)	0,006
CaO (%)	0,22
ZnO (%)	0,025
CuO (%)	0,052

Fonte: adaptado de Andreoli et al. (2001).

1.3.3. Tratamento do lodo gerado

Mesmo com muitas tecnologias sendo desenvolvidas para diminuir a produção de lodo em ETE's, a produção de lodo tende a crescer com a implantação de novas estações de tratamento de efluentes.

O adensamento, estabilização, condicionamento e disposição final, geralmente, são etapas seguidas nos processos de tratamento do lodo das ETE's. Segundo Pedroza et al. (2010), tratar o lodo através dos processos físico-químico e biológico, auxiliará na geração de lodos estáveis e com menos volume, visando com isto, reduzir custos com o processo e facilitando seu manuseio.

1.3.4. O uso do biossólido na agricultura

Atualmente existe uma grande preocupação em realizar o reaproveitamento dos efluentes oriundos de estação de tratamento, especialmente na agricultura. Pedroza et al. (2010) relatam que o tratamento do lodo gerado em ETE's vem ganhando cada vez mais importância no Brasil, pelo aumento do número de novas estações criadas e pelas demandas oriundas das legislações em vigor.

O aumento da poluição ambiental, o alto consumo energético utilizado na cadeia de fertilizantes e os custos elevados de produção fazem das alternativas para o uso de resíduos orgânicos em áreas agrícolas uma opção viável do ponto de vista econômico e também sócio-ambiental (SANTOS et al., 2011).

Autores como Ferreira e Andreoli (1998) relatam que a utilização do biossólido em áreas agrícolas vem sendo uma alternativa promissora, auxiliando na reciclagem dos nutrientes, na devolução do carbono orgânico para o solo e nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta, além do aumento da produtividade das culturas, apresentando impacto ambiental positivo, quando realizada em condições seguras.

Esta utilização tem como principais benefícios a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). Como este material em geral é pobre em potássio, normalmente há necessidade de se adicionar este elemento ao solo na forma de adubos minerais (BETTIOL; CAMARGO, 2000).

Os lodos de esgotos são, de uma maneira geral, fertilizantes nitrogenados. Além do N, o lodo de esgoto contém P e micronutrientes essenciais, como Fe, Cu, Mn e Zn.

Normalmente a concentração de K no lodo de esgoto é baixa para suprir as necessidades das culturas agrícolas. Quando aplicado em taxas agronômicas, os lodos de esgotos podem reduzir em muito o custo de produção, pela menor utilização de fertilizantes minerais solúveis (LAMBAIS; SOUZA, 2000).

Segundo Ferreira e Andreoli (1998), o uso agrícola deve necessariamente passar por regras que definam as exigências de qualidade do material a ser reciclado, os métodos de estabilização do resíduo, sua desinfecção e também exigências que impeçam o seu uso em determinadas situações. No Brasil, a utilização deste material ainda não é difundida, pelo fato de poucas cidades serem dotadas de estação de tratamento de esgoto. Por este motivo ainda são poucos os produtores que aderiram à utilização de biossólido; motivo este que ainda causa dúvidas sobre a forma de aplicação (PAEZ, 2011).

1.3.5. Legislação vigente para o uso do biossólido na agricultura

A disposição do biossólido em áreas agrícolas deve estar regulamentada às regras que definam cuidados para desinfecção e estabilização que assegurem a qualidade do resíduo a ser utilizado (ANDREOLI et al., 1998). A resolução CONAMA Nº 375/2006, define os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola/florestal. A mesma resolução define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados; determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto sejam submetidos a processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores, para que possam ser utilizados na agricultura. O artigo 6º desta resolução dispõe que, para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70 (BRASIL, 2005).

A legislação federal define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, enquanto a legislação estadual, no caso do estado do Paraná, a complementa, dispondo sobre licenciamento ambiental com condições e padrões ambientais, além de outras providências, para empreendimentos de saneamento (POGGERE et al., 2012). A maioria dos outros estados brasileiros seguem critérios descritos na RESOLUÇÃO CONAMA 375/06.

Segundo a RESOLUÇÃO CONAMA 375, no artigo 17, após caracterizado o lodo e o solo, a norma estabelece os critérios para a taxa de aplicação no solo:

“a aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha), segundo a recomendação agronômica oficial do Estado, e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto ou produto derivado (N_{disp} em kg/t), calculado de acordo com o Anexo III desta Resolução”

Como todo resíduo sólido, o lodo tem que ser classificado de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). A norma estabelece as seguintes classificações de resíduos: classe 1, que são os resíduos perigosos, e classe 2 que são os não perigosos. Ainda dentro da classe 2 existem 2 classificações: classe IIA que são os não inertes e classe IIB que são os inertes. Em seu artigo 13, a RESOLUÇÃO CONAMA 375 estabelece que os lodos classificados na classe A poderão ser aplicados para o cultivo de qualquer cultura, enquanto que os classificados na classe B ficam restritos ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada.

1.3.6. Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma gramínea pertencente à família das poaceas, logo, é amplamente cultivada pelo acúmulo de sacarose nos colmos. Segundo Soares (2013), a produtividade econômica da cana-de-açúcar é determinada pelo acúmulo de sacarose nos colmos, constituído de nós e entrenós em diferentes estágios fisiológicos: entrenós maduros, em maturação e imaturos.

A cana-de-açúcar surgiu no Brasil entre os séculos XV e XVI trazida por Cristóvão Colombo, em sua segunda viagem às Américas, iniciando assim o plantio da cultura no país. A literatura relata que o primeiro estado brasileiro a plantar a cana foi o estado de Pernambuco, no século XVI (FORNAZIERI JUNIOR et al., 1999).

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar no mundo, onde pesquisa e investimento em conjunto com expansão da área de produção têm trazido bons resultados (SILVA, 2018). O crescente desempenho do agronegócio dos últimos anos refletiu esta contribuição. Dentre tantos motivos para escolha da cana-de-açúcar, as adaptações aos tipos climáticos e aos solos favoreceram seu cultivo. Levando em

consideração também o poder de comercialização tanto da cana-de-açúcar crua quanto dos seus derivados, gerando lucratividade e sendo parte importante no desenvolvimento da economia do país.

Além de historicamente a cana-de-açúcar ser uma das principais culturas agrícolas do Brasil, ela mostra-se com grande versatilidade de utilização, bem como fonte de alimentação animal, na produção de açúcar, álcool, cachaça, rapadura entre outros derivados da mesma. A relevância da cana-de-açúcar no agronegócio brasileiro é indiscutível e apesar do Brasil destacar-se no cenário internacional por toda sua tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a indústria (COSTA, 2005).

Entre os fatores de produção e desenvolvimento tecnológico, que faz parte do principal aspecto de maior interesse a ser considerado em uma usina sucroalcooleira, é a escolha das variedades de cana-de-açúcar. Uma vez que as variedades são responsáveis pelo fornecimento da matéria-prima para a indústria, caracterizada como sendo colmos de cana-de-açúcar em apropriado estágio de maturação, onde estão armazenados os carboidratos de reserva (MATSUOKA, 2000).

Atualmente, as usinas procuram utilizar variedades com características adaptáveis às condições de cada região, geneticamente melhoradas, atendendo as necessidades por uma planta que produza mais, seja resistente às pragas e doenças, tenha teores médios de fibras e altos teores de sacarose.

A cana-de-açúcar vem, a muitos anos, se destacando no agronegócio sucroalcooleiro. Segundo informações da UNICA (União das Indústrias de Cana de Açúcar), a cana é responsável por ocupar uma área de cerca de 8,1 milhões de hectares, equivalente a 2,3% da área agrícola do país, com uma produção correspondente a 657,18 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (UNICA, 2016).

Apesar da importância da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil, o rendimento nacional ainda é baixo. Segundo os dados do 4º e último levantamento da safra de cana-de-açúcar 2017/2018, a produção média foi de 633,26 milhões de toneladas, o que corresponde a 3,6% a menos em relação à safra anterior, que foi de 657,18 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

A principal estratégia para o aumento da produtividade é através de mais investimentos nos programas de melhoramento genético, buscando avanços no desenvolvimento de cultivares melhoradas e mais produtivas, tolerantes às variações

bióticas e abióticas, de modo a se extrair o potencial máximo da cultura sob condições específicas (CONAB, 2018).

1.3.7. A Cultura do capim elefante

O capim elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone - é originário da África e possui uma grande capacidade de produção de forragem por ter uma alta eficiência fotossintética. É uma planta perene, cespitosa, de porte ereto podendo atingir 3 m de altura, porém, quando ultrapassa 1,8 m seu valor nutricional tende a decrescer, principalmente em digestibilidade e em proteína, provavelmente devido à elevação do teor de lignina (JACQUES, 1997).

O cultivo do capim elefante ocorre naturalmente em vários países, a sua ocorrência natural se dá em áreas com precipitação pluvial superior a 1000/mm/ano (TCACENO e BOTREL, 1997). Adapta-se bem a vários tipos de solo com umidade suficiente, mas com pouca tolerância a solos mal drenados. Mesmo sendo uma planta cespitosa, não cobrindo totalmente o solo, esta é utilizada em áreas acidentadas com razoável controle de erosão, permitindo o surgimento de espécies herbáceas de menor porte.

Durante o período das chuvas, e quando manejado intensivamente, o capim- elefante pode atingir produções diárias superiores a 200 kg/ha de matéria seca, com teor de proteína bruta em torno de 15% (GOMIDE, 1994). Por outro lado, a estacionalidade da produção de forragem durante o período seco do ano é bastante acentuada, constituindo uma das principais limitações dessa espécie forrageira. Assim, para a maioria das cultivares existentes, somente 10-15% da produção anual de forragem são produzidos durante o período da seca (BOTREL; ALVIM, 1992).

CAPÍTULO 2 (ARTIGO): Efeito do biossólido de indústria têxtil para a fertilidade do solo e para a produção da cana-de-açúcar

2.1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene e possui ciclo médio de quatro anos desde o plantio até a renovação das áreas plantadas. Segundo Paoliello (2006), a cana-de-açúcar é comumente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, pois necessita de uma época quente e chuvosa para o desenvolvimento vegetativo, e uma época fria e/ou seca para o enriquecimento em açúcares.

A cana-de-açúcar é uma das primeiras atividades agrícolas explorada na história brasileira. Além do mais, a demanda pelos produtos do setor energético está crescendo no âmbito mundial. Conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2018), o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, com aproximadamente 633,3 milhões de toneladas de cana na safra 2017/2018, e uma área cultivada de 8.729,5 mil hectares.

Pesquisas vêm demonstrando que a aplicação de lodo gerado em ETE em solos tropicais beneficia a produtividade e o rendimento em sacarose da cultura da cana-de-açúcar (SILVA et al., 1998). Este é caracterizado por alterar as propriedades físicas do solo, melhorando sua densidade, porosidade e capacidade de retenção de água a partir da matéria orgânica existente nele. Além disso, melhora seu nível de fertilidade, elevando o pH, diminuindo o teor de alumínio trocável, aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de fornecer nutrientes para as plantas. Por conter em sua constituição teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, o lodo promove ainda o crescimento de organismos no solo, fundamentais para a ciclagem dos elementos (MALTA, 2001).

A alternativa agrícola para disposição do lodo gerado em ETE é a mais promissora, por ser segura e viável economicamente para seu descarte e trazer consigo uma série de vantagens associadas ao seu emprego agrícola por se tratar de fonte de nutrientes, matéria orgânica e um condicionador de propriedades do solo (ABREU JÚNIOR et al., 2015).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do biossólido produzido pela ETE de uma indústria têxtil para a fertilidade do solo e produção da cana-de-açúcar.

2.2. METODOLOGIA

2.2.1. Área experimental

O experimento foi conduzido na fazenda bicas, zona rural do município de Pedras de Fogo, coordenadas geográficas S07°19'59,6'' W035°03'55,2'', no estado da Paraíba. O município está localizado na microrregião do Litoral Sul da Paraíba, com clima segundo classificação climática de Köppen-Geiger As - clima tropical (chuvas no inverno). O período chuvoso normalmente começa em fevereiro e termina em outubro, com precipitação anual média de 1.634 mm (CLIMATE, 2018).

Foram delimitadas 18 parcelas de 2 x 2 m, em um delineamento de blocos casualizados com 6 tratamentos e 3 repetições. Os blocos foram compostos conforme a Figura 2.1.

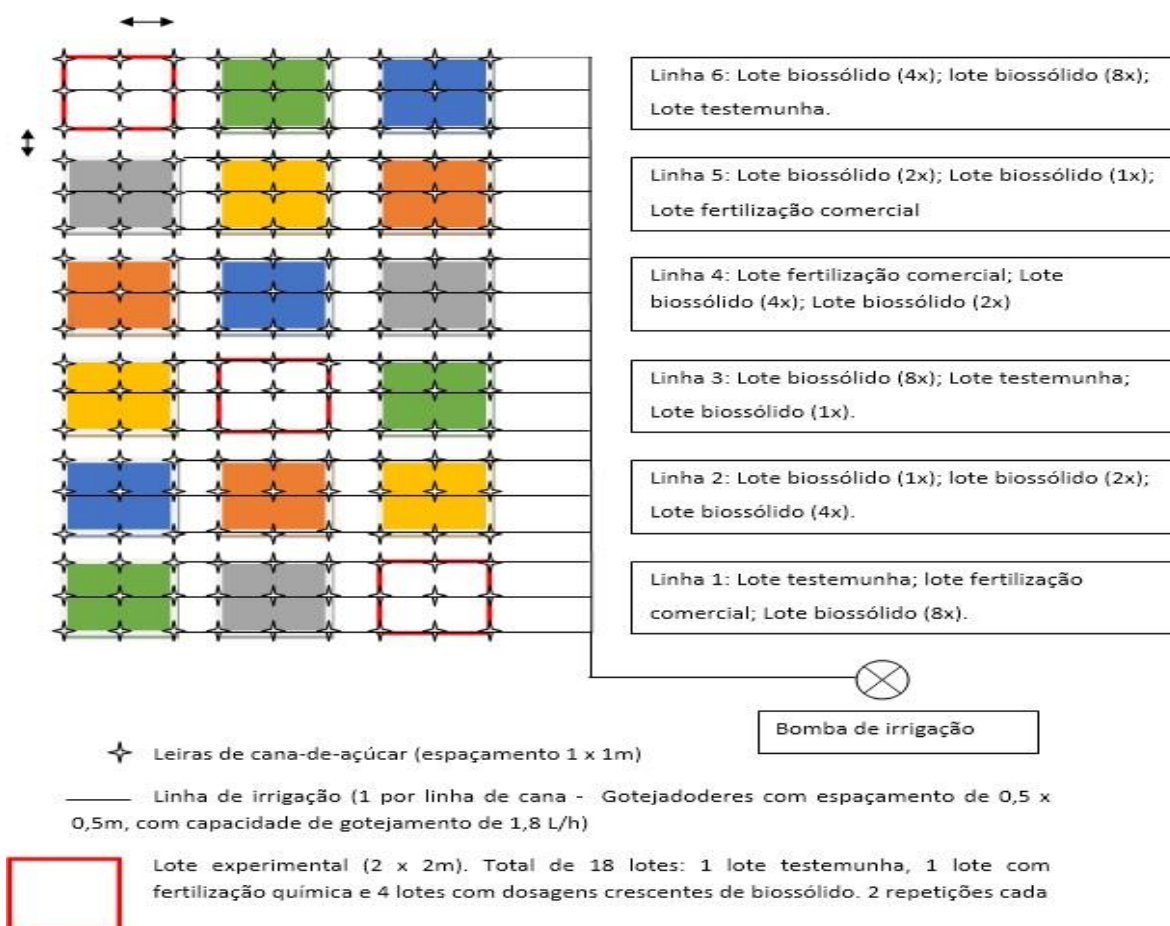


Figura 2.1. Representação esquemática do delineamento experimental (SILVA, 2018).

2.2.2. Caracterização do solo

O experimento foi conduzido nos anos 2016, 2017 e 2018 consecutivos com aplicação do biossólido nesta área, que nunca havia recebido biossólido antes. O solo da área experimental foi classificado como Espodossolo Ferri-Humilúvico Órtico espessarênico, de textura arenosa, baixa fertilidade natural, má drenagem e de médio teor de matéria orgânica, presença de camadas de impedimento e risco elevado de contaminação do lençol freático e de alagamento (DOS SANTOS et al., 2018). A descrição do perfil deste solo está no Anexo 1 desta dissertação.

2.2.3. Taxa de aplicação do biossólido e fertilizante comercial

O biossólido usado no experimento foi produzido por uma indústria têxtil localizada no distrito industrial de João Pessoa/PB, e caracterizado conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Caracterização físico-química do biossólido utilizado no experimento.

Parâmetro	Quantidade
Carbono orgânico total	0,23 g/kg
Chumbo	< 1 mg/kg
Cobre	275 mg/kg
Coliformes termotolerantes	92 NMP/g de ST
Fósforo	1780 mg/kg
Nitrato	< 6,1 mg/kg
Nitrito	< 1,2 mg/kg
Nitrogênio amoniacal	238 mg/kg
Nitrogênio total	7320 mg/kg
pH (suspensão a 5%)	7,90 mg/kg
Potássio	3450 mg/kg
Umidade	15%
Zinco	34,5 mg/kg

Fonte: (SILVA, 2018)

Segundo a Resolução Conama 375/06, a taxa de aplicação é calculada a partir da quantidade de nitrogênio existente no biossólido e pelo requerimento desse mesmo elemento para o desenvolvimento da cultura a ser cultivada. Assim, a taxa de aplicação do biossólido foi calculada pela equação 1 (BRASIL, 2006).

Equação 1:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \text{N recomendado (kg/ha)} / \text{N disponível (kg/t)} \quad (1)$$

Onde:

N recomendado = Quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura, segundo a recomendação oficial do Estado;

N disponível = Calculado segundo anexo 3 da Resolução Conama 375/06.

Com isto, foram calculados os montantes para o biossólido de 2x, 4x e 8x, dosagem essas superiores em 2, 4 e 8 vezes a calculada de acordo com a Resolução Conama 375/06. Dessa forma, podemos observar os valores da quantidade de biossólido aplicado no experimento.

Equação 2:

$$\text{Ndisp} = (\text{FM}/100) \times (\text{K}_{\text{Kj}} - \text{N}_{\text{NH}_3}) + 0,5 \times (\text{N}_{\text{NH}_3}) + (\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2}) \quad (2)$$

Onde:

FM= Fração de mineralização do nitrogênio (%);

Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio Kjeldahl = nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal (N_{Kj}) (mg/kg);

Nitrogênio amoniacal (N_{NH_3}) (mg/kg);

Nitrogênio Nitrato e Nitrito ($\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2}$) (mg/kg).

Vitti et al. (2005), recomenda a adubação da cana-de-açúcar da seguinte maneira:

- Solo com teor de argila < 25% utilizar 100 a 150 kg de P_2O_5 /ha em área total, acrescidos de 100kg de P_2O_5 /ha no sulco de plantio.
- Em areias quartzosas (neossolos quartzarênicos) e latossolos aplicar no máximo 100 kg de K_2O /ha no sulco de plantio, e o restante em cobertura, antes do fechamento do canavial.

Utilizando os dados da caracterização do biossólido, chegou-se às taxas de dosagem apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Quantidade aplicada de biossólido no solo da experimentação, calculado de acordo com a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Biossólido	Quantidade
Biossólido 1x	2,4 kg/lote
Biossólido 2x	4,8 kg/lote
Biossólido 4x	9,6 kg/lote
Biossólido 8x	19,2 kg/lote

Fonte: Autor

O sistema de tratamento utilizado pela empresa é o sistema biológico de lodos ativados de aeração prolongada seguido por um sistema de ultrafiltração. Antes de ser aplicado, o lodo passou por um processo de estabilização alcalina a partir do aumento do seu pH com adição de cal hidratada, tanto para redução de patógenos como para redução da atração de vetores, atendendo ao artigo primeiro da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Foram realizados em laboratório, ensaios com o biossólido bruto com a cal de acordo com a metodologia exigida na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). A partir da concentração de 30% de cal no lodo seco, as amostras atenderam aos requisitos necessários para pH acima de 12 após 48 horas e pH acima de 11,5 após 24 h. Portanto, chegou-se a proporção de 30% de cal para a quantidade de lodo em base seca.

A taxa de aplicação do fertilizante comercial, de acordo com informações levantadas com profissionais das usinas e produtores da região, foram proporções de 80 kg P₂O₅/ha por ano, 80 kg de KCl/ha por ano e 100 kg N/ha utilizando a uréia. Todos foram aplicados de uma só vez no sulco de plantio. Assim, buscou-se aplicar a fertilização utilizada pelos produtores locais para uma justa comparação frente às parcelas com biossólido.

2.2.4. Método de plantio

Para a realização do experimento, foram necessários alguns cuidados com o terreno. Sendo assim, foi feita a limpeza manual do terreno seguida da aração com tração mecânica. Para Lopes (2004), o preparo do solo deve ser feito de forma a facilitar a brotação das mudas e germinação das sementes.

O plantio foi realizado por sulcos de aproximadamente 15 cm de profundidade. Os colmos de cana-de-açúcar foram cortados em pedaços com três gemas em metros

linear de sulco. Há uma variação muito grande de recomendações de plantio pelos agricultores da região. No dia 10/10/2017, após aproximadamente um mês de experimento, foi feito o replantio das mudas que não brotaram, para eliminar a possibilidade de diferença de qualidade entre as mudas. Nessa ocasião também foram contabilizadas as germinações.

O espaçamento utilizado entre mudas foi de 1 m. Foram utilizadas mudas de cana-de-açúcar retiradas das propriedades vizinhas onde foi realizado o experimento, cuja variedade é conhecida como RB 92579. Foi utilizado 1 m de espaçamento, pois é o espaçamento normalmente utilizado pelos agricultores da região, onde os mesmos indicam que há uma maior produção e evita a competição e entrelaçamento entre os colmos nos sulcos e no desenvolvimento da planta.

2.2.5. Irrigação

Para a irrigação foram utilizados tubos gotejadores de polietileno de 16 mm de espessura, com espaçamento de 0,50 m por gotejador, com vazão nominal de 1,5 L/h. Cada gotejador tem a espessura de 0,7 mm. Foi instalada uma tubulação entre as linhas da cana-de-açúcar. Um termômetro digital (Incoterm) também foi instalado no campo experimental, com medições de temperaturas máximas e mínimas para cálculo da evapotranspiração de referência a partir da equação 3 (HARGREAVES; SAMANI, 1982).

Onde:

Equação 3:

$$ET_0 = 0,0023 * (T_{méd} + 17,78) * (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} * (R_A * 0,408) \quad (3)$$

ET_0 - Evapotranspiração de referência (mm/h)

$T_{méd}$ - Temperatura média

$T_{máx}$ - Temperatura máxima

$T_{mín}$ - Temperatura mínima

R_A - Radiação extraterrestre (MJ / m^2)

Para a utilização dessa equação foram coletadas diariamente as temperaturas máximas e mínimas para o cálculo final do tempo de irrigação necessário para o dia. A temperatura média foi calculada de acordo com a equação 4.

Equação 4:

$$T_{\text{méd}} = (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) / 2 \quad (4)$$

Depois de calculada a evapotranspiração de referência, determinou-se a evapotranspiração da cultura através da equação 5.

Equação 5:

$$ET_C = ET_0 * K_c \quad (5)$$

Onde:

ET_0 – Evapotranspiração de referência;

ET_C - Evapotranspiração da cultura (mm/h); K_c - Coeficiente de cultivo, adimensional.

Calculada a ET_C , é possível calcular a lâmina de irrigação de acordo com a equação 6.

Equação 6:

$$Li = (ET_C / Ei) * 100 \quad (6)$$

Onde:

Li - Lâmina de irrigação (mm/dia);

Ei - Eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (%).

Calculada a lâmina de irrigação, foi possível calcular o tempo de irrigação necessário por dia no sistema, conforme a equação 7.

Equação 7:

$$Ti = Li * 10000 / N_p * N_e * q_e \quad (7)$$

Onde:

Ti = Tempo de irrigação (h);

N_p = Número de plantas por hectare;

N = Número de emissor por planta;

q_e = Vazão do emissor, L/h.

2.2.6. Coleta, processamento e análise das amostras de solo

Os procedimentos de amostragem foram realizados em consonância com o manual de descrição e coleta de solos no campo, página 89, item H (SANTOS et al., 2015). Foram realizadas duas amostragens de solo: uma antes do experimento ser iniciado, e a outra no final do ciclo, 1 dia antes do corte da cana-de-açúcar.

Para a amostragem do solo antes do experimento, foram coletadas 10 amostras na profundidade de 0-20 cm e misturadas formando uma amostra composta. Para as

amostragens antes dos cortes, utilizou-se a mesma metodologia de amostras compostas (SANTOS et al., 2015).

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, DSER/CCA/UFPB para análises. Dentre as análises químicas de rotina, foram analisadas: sódio (Na), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), pH e matéria orgânica (MO). Todos os parâmetros analisados foram feitos seguindo o Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA et al., 2017).

2.2.7. Determinação do estágio de maturação

O método de determinação do estágio de maturação se baseia no fato de que a maturação da cana-de-açúcar ocorre da base para o ápice do colmo. Com isso, a partir do conhecimento do índice de maturação obtido pela relação entre o brix nessas partes da cana, é possível prever o estágio de maturação da planta. O método pressupõe os passos a seguir:

- Selecionar as amostras na área canavieira;
- Separar as bases e as pontas dos colmos das amostras;
- Proceder aos cortes nestas partes de tal forma a obter uma quantidade de caldo suficiente para determinação do brix.

Esta avaliação pode ser realizada no campo utilizando um refratômetro de campo “portátil” (CALDAS, 2012). O estágio de maturação da cana-de-açúcar está descrito na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Estágio de maturação da cana-de-açúcar.

Índice de maturação	Estágio de maturação
<0,60	Cana verde
0,60 – 0,85	Cana em maturação
0,85 – 1,00	Cana madura
>1,00	Cana em declínio de maturação

Fonte: Adaptado de Caldas (2012).

2.2.8. Determinação da produtividade

A altura das plantas foi medida com uma trena no dia do corte, após 11 meses do plantio, assim como a quantidade de talos em cada lote. A cana-de-açúcar foi cortada e foram selecionadas aleatoriamente três amostras de cada lote de acordo com o critério da coluna do meio, ou seja, utilizou-se a cana que estava na fileira do meio, para que não sofresse influência dos outros lotes.

No estudo realizado com cana-de-açúcar e com capim-elefante em Pedras de Fogo/PB, Neves (2017) e Souza (2018), selecionaram aleatoriamente três plantas da linha do meio de cada lote e os resultados foram apresentados como uma média. Diante da semelhança dos experimentos com esta experimentação, foi usada a mesma metodologia.

No campo, foram quantificados os talos (quantidade), altura, biomassa e Brix para que pudessem ser realizadas de acordo com as metodologias descritas por Caldas (2012). Após o corte, o peso total das plantas de cada lote foi aferido utilizando uma balança tipo industrial.

Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, proposto em 1965 por Shapiro & Wilk (1965), e tem como objetivo verificar a hipótese de normalidade de uma população a partir de uma amostra. Uma grande vantagem deste teste é ser bastante sensível, até mesmo em quantidades pequenas de amostras (SHAPIRO; WILK, 1965).

Os dados coletados foram avaliados mediante a aplicação da análise de variância (ANOVA) através da estatística F, onde verificou-se se havia diferença significativa entre os tratamentos, sendo necessário a aplicação de um teste de comparações de médias, o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo foi limitado à escolha dos principais parâmetros de fertilidade, no caso nutrientes, como o fósforo, potássio e a matéria orgânica, bem como a CTC do solo. As Tabelas 2.4 e 2.5 apresentam o resultado alcançado a partir da análise química do solo, nos parâmetros de fertilidade do solo, um dia antes da colheita da cana-de-açúcar.

De acordo com os dados apresentado na Tabela 2.4 e 2.5, foi possível observar que para o parâmetro de pH, tanto antes quanto após a implantação do experimento, não houve um aumento significativo do mesmo, estando o pH entre 6,4 a 6,8 (Tabela 2.4) e

6,0 a 6,4 (Tabela 2.5), pois, quando comparados com valores de referência classificados por Sobral et al. (2015), estes resultados se enquadram em acidez fraca, o que não causa problemas para a cana-de-açúcar e nem na disponibilidade dos nutrientes para o solo.

Segundo Jones Jr (2012), solos com acúmulos de sais prejudicam diretamente todo processo de desenvolvimento das culturas implantadas, prejudicando as raízes, aumentando a toxidez por íons específicos advindos do sódio, magnésio e cálcio, conseqüentemente alterando as condições químicas do solo. Ainda assim, pode ser identificado que os níveis de sódio encontrados no solo em estudo, após a colheita da cana-de-açúcar, são considerados baixos, quando comparados com os resultados encontrados antes da implantação do experimento. Usman et al. (2012) destacam em seu estudo com uso do lodo de esgoto na agricultura, que os teores de cálcio, magnésio e sódio são importantes para identificação da salinidade do solo.

Tabela 2.4. Análise química do solo onde foi realizado o experimento antes do cultivo experimental.

Tratamentos	Médias								
	P (mg/dm ³)	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺ (cmol/dm ³)	Mg ²⁺ (cmol/dm ³)	H +Al ³⁺ (cmol/dm ³)	Na ⁺ (cmol/dm ³)	K ⁺ (cmol/dm ³)	CTC (cmol/dm ³)	M.O. (g/kg)
Testemunha	21,0	6,5	2,7	0,09	2,9	0,09	0,1	5,8	15,3
Fertilizante comercial	18,0	6,4	3,2	1,00	1,3	0,07	0,7	6,3	23,5
Biossólido 1x	20,0	6,6	2,6	0,91	2,0	0,11	0,6	6,2	15,6
Biossólido 2x	24,3	6,7	2,8	0,95	2,1	0,09	0,6	6,5	17,4
Biossólido 4x	34,0	6,8	3,8	1,10	2,5	0,09	0,7	8,2	19,2
Biossólido 8x	27,7	6,5	1,8	0,83	2,0	0,08	0,7	5,4	32,3

Fonte: Autor

Tabela 2.5. Análise química do solo 1 dia antes do corte da cana-de-açúcar.

Tratamentos	Médias								
	P (mg/dm ³)	pH (H ₂ O)	Ca ⁺² (cmol _c /dm ³)	Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	H ⁺ + Al ²⁺ (cmol _c /dm ³)	Na ⁺ (cmol _c /dm ³)	K ⁺ (cmol _c /dm ³)	CTC (cmol _c /dm ³)	M.O. (g/kg)
Testemunha	29,77	6,0	2,3	0,93	5,1	0,07	0,1	8,5	16,4
Fertilizante comercial	20,55	6,4	2,2	1,02	2,7	0,22	0,1	6,2	11,9
Biossólido 1x	21,85	6,0	2,2	1,00	5,2	0,10	0,00	8,5	16,1
Biossólido 2x	26,45	6,0	3,3	0,74	4,0	0,07	0,01	8,1	15,5
Biossólido 4x	36,72	6,3	3,3	1,67	4,4	0,09	0,06	9,6	18,8
Biossólido 8x	36,81	6,0	2,2	0,89	5,3	0,07	0,08	8,6	16,3

Fonte: autor

Os teores médios de potássio observados nas Tabelas 2.4 e 2.5 mostram que com o uso de biossólido este teor tende a diminuir. Esta condição de diminuição deste elemento era esperando devido às baixas concentrações de potássio no biossólido utilizado e às plantas absorverem esse elemento para manutenção do seu ciclo de vida. Também pode ter ocorrido devido ao solo da área ser muito arenoso e com facilidade para ocorrência de lixiviação.

Jones Jr (2012) destaca que o potássio e o fósforo são macronutrientes importantes na essencialidade nutricional das culturas, devido a isto, quanto menor for o teor destes nutrientes no solo, maior será o risco de se interromper o desenvolvimento da planta. Neves (2017) revela que o biossólido fornece quantidades significantes de nitrogênio e fósforo, e pouca quantidade de potássio, ao ser disponibilizado no solo, necessitando de uma complementação nutricional com adubação fosfatada, podendo auxiliar na disposição destes nutrientes para as plantas.

Quanto à CTC, foi possível visualizar na Tabela 2.4 que este parâmetro era muito baixo, deixando visível que nos lotes aplicados com biossólido, houve um aumento significativo deste índice de fertilidade do solo destacado na Tabela 2.5. Segundo Sobral et al. (2015) a CTC é um dado importante a ser considerado no manejo da adubação. O mesmo autor relata que em solos com baixa CTC o parcelamento do nitrogênio e do potássio é necessário, evitando assim, perdas por lixiviação.

Alguns autores destacam que o índice ideal para CTC em solos arenosos é de 10 cmol_c/dm³ (LOPES, 1998; JONES JR, 2012), sendo assim, observou-se que os valores

mais significativos foram nos tratamentos com biossólido, corroborando com Silva (2018) que teve bons resultados com a aplicação do biossólido.

A partir da interpretação da Tabela 2.4 em relação à matéria orgânica, podemos verificar que este índice não teve tantas melhorias, quando confrontados com os índices encontrados na Tabela 2.5. Esta queda significativa de matéria orgânica pode ter ocorrido por lixiviação, uma vez que a região onde esteve localizado o experimento teve períodos prolongados de chuva. Contudo, Usman et al. (2012) ressaltam que a matéria orgânica em solos arenosos, mesmo em poucas quantidades, tem um papel importante no processo de retenção do solo, como também, torna o ambiente propício para a ação dos microrganismos que mineralizam os nutrientes do solo.

É fundamental e importante o aporte da matéria orgânica no solo, pois melhora seu potencial produtivo e causa efeitos benéficos às propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo (BARBOSA et al., 2002).

2.3.2. Análise de produtividade

A Tabela 2.6 descreve os resultados encontrados das variáveis que se referem à produtividade da cana-de-açúcar utilizada neste estudo. De acordo com os dados analisados através da estatística F, observamos que não houve diferença significativa entre as variáveis Talos e Brix ao nível de 5% de significância pelo Teste F, enquanto que se observou diferença significativa entre as variáveis Altura e Biomassa ao nível de 5% de significância pelo Teste F.

Tabela 2.6. Resultados (p-valores) associados às principais fontes de variação em delineamento em blocos casualizados para as variáveis: Talos, Altura, Biomassa e Brix.

F. Variação	G.L	Est. F	p-valor
Talos	2	2,32	0,149
	5	2,3	0,123
c.v	14,21%		
S-W	0,96536 p=0,70		
Altura	2	5,36	0,026*
	5	6,37	0,00657**
c.v	9,97%		
S-W	0,94071 p=0,29		
Biomassa	2	1,31	0,311
	5	13,686	0,0003**
c.v	10,25%		
S-W	0,9356 p=0,24		
Brix	2	1,69	0,233
	5	1,32	0,331
c.v	11,27%		
S-W	0,95133 p=0,44		

Fonte: Autor

*Teste F-Fisher ao nível de 5% de significância indica rejeição da hipótese nula informando que existe diferença entre os tratamentos.

**Teste de normalidade de Shapiro-Wilks $p < 0,05$ indicam que se rejeita a hipótese nula.

Foi possível verificar que existe diferença entre as variáveis Altura e Biomassa, e não houve diferença entre as demais variáveis através do teste F. Assim, fez-se necessário a aplicação do Teste de Tukey para comparar as médias das variáveis Altura e Biomassa, demonstrando que houve diferença significativa conforme a Tabela 2.7. De acordo com o Teste de normalidade de Shapiro-Wilks (S-W), observamos que todos os tratamentos apresentaram uma distribuição normal, ou seja, a hipótese nula foi aceita indicando que estes dados foram extraídos de uma população com distribuição normal, S-W ($p > 0,05$).

Observa-se também, que o coeficiente de variação (c.v) de todas as variáveis envolvidas na análise foi inferior a 20%, indicando uma boa homogeneidade dos dados de acordo Pimentel-Gomes; Garcia (2002).

Tabela 2.7. Resultados associados às variáveis Talos, Altura, Biomassa e Brix para diferentes tipos de dosagens de fertilização para a cana-de-açúcar.

Talos (quantidade)	Altura (m)	Biomassa (kg)	Brix
Biossólido 8x= 99a	Biossólido 8x = 2,58a	Biossólido 8x= 107,36a	Biossólido 8x= 21,33a
Biossólido 4x= 80a	Biossólido 4x = 2,10ab	Biossólido 4x= 95,7ab	Biossólido 2x= 21a
Biossólido 1x= 78,3a	Biossólido 2x =1,96b	Testemunha= 92,21ab	Biossólido 4x= 19,66a
Fertilizante Comercial= 76a	Fertilizante Comercial =1,87b	Biossólido 1x= 81,5bc	Biossólido 1x= 19a
Biossólido 2x= 73a	Testemunha =1,86b	Biossólido 2x= 67,58c	Testemunha= 18,3a
Testemunha= 72a	Biossólido 1x= 1,76b	Fertilizante Comercial = 58,36 c	Fertilizante Comercial = 17,66a

Fonte: Autor

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Com respeito à maturação da cana-de-açúcar, a Tabela 2.7 nos faz constatar que nos parâmetros Talos e Brix não houve diferença no estágio de maturação, consequentemente, a cana-de-açúcar de todos os lotes atingiram a maturação em igualdade. Ao contrário destes resultados, Silva (2018) em sua experimentação com uso de biossólido para cana-de-açúcar, conseguiu resultados superiores tanto para Talos como para Brix nos lotes em que utilizou o biossólido.

Para os resultados de Altura, pode-se constatar que o biossólido 1x não se diferenciou do fertilizante comercial e nem da testemunha, havendo intersecção nos tratamentos fertilizante comercial, biossólido 2x e testemunha, demonstrando que esses lotes que foram tratados com biossólidos não obtiveram eficiência superior, tendo o biossólido 8x o resultado mais expressivo, com plantas maiores às do lote biossólido 1x que tem a dosagem recomendada pela Resolução 375/06.

Com relação à variável biomassa, observou-se que não houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey nos lotes Biossólido 4x e Testemunha. Os lotes onde foi aplicado o Biossólido 8x foram os que apresentaram os melhores resultados na produção de biomassa, mostrando a eficiência dessa quantidade de biossólido para o incremento da biomassa. Tanto neste estudo quanto no estudo de Silva (2018), pode-se constatar que o uso do biossólido mostrou resultados expressivos referente à biomassa, principalmente quando as dosagens foram maiores que a recomendada pela Resolução 375/06, resultando em ganhos de biomassa para a cana-de-açúcar.

Alguns autores como Oliveira (2016), Neves (2017) e Silva (2018) afirmam que o uso do biossólido para produção da cana-de-açúcar manifestou bons resultados,

destacando que quanto maior a dosagem com o bio sólido, melhores são as condições das variáveis relacionadas a biomassa e altura. Todavia, mesmo com os bons resultados, estes autores sugerem que outros estudos sejam realizados, podendo assim, ser verificado se haverá danos ao solo ou cultura a partir de sucessivas aplicações do bio sólido.

2.4. CONCLUSÃO

Há viabilidade do uso do bio sólido gerado em ETE de indústria têxtil como fertilizante para produção da cana-de-açúcar, disponibilizando os nutrientes essenciais e melhorando as características de fertilidade do solo, sem prejudicar a produção.

Foi possível observar e constatar também que o período de maturação da cana-de-açúcar foi igual para todos os tratamentos, ou seja, ao mesmo tempo a planta conseguiu se desenvolver plenamente, independente da quantidade de bio sólido utilizado e mesmo no tratamento com fertilizante comercial. Dessa forma, não se diferindo na quantidade de açúcar disponível na mesma.

Com a aplicação do bio sólido na agricultura, consegue-se aproveitar um resíduo que era desperdiçado em aterros, dando uma destinação final e adequando o mesmo à legislação vigente e diminuindo o uso de fertilizantes comerciais. Assim, essa prática que pode reduzir custos com fertilizantes para os agricultores, se apresenta também de forma sustentável.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal.** In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. Tópicos em Ciência do Solo IV. Viçosa: SBCS, 2005. p.391-470. **Alcooleiros do Brasil.** Piracicaba, 2012. 744p.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. **Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos.** Sanare, Curitiba, v.17, n.17, p. 94-101, 2002.

- BRASIL. Lei n 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 15 novembro de 2018.
- BRASIL. Resolução n 375, de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 15 de novembro 2018.
- CALDAS, C. Novo Manual para Laboratórios Sucroalcooleiros. **Técnicos Açucareiros e CLIMATE-DATA**. Clima: Pedras de Fogo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/42653/>. Acesso em 27 janeiros. 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira. Cana de açúcar**. Safra 2017/2018, 2018.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Estimation of potential evapotranspiration**. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE, Nova Iorque, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982.
- JONES JR, J. Benton. **Plant nutrition and soil fertility manual**. CRC press, 2012.
- LOPES, Alfredo Scheid. Manual internacional de fertilidade do solo. **Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1998.
- LOPES, B. A. O capim-elefante. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Viçosa, 2004, 66 p.
- MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ**. 2001. 68 p. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.
- NEVES, T.I. **Aproveitamento energético do biossólido gerado por indústria têxtil como fertilizante para produção de capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach) Morrone**. Dissertação. CEAR/UFPB. João Pessoa, 2017.

- OLIVEIRA, J.R.S. **Qualidade de solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos**. Dissertação de mestrado da Universidade Rural de Pernambuco. Recife, 2016.
- PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. Bauru. 180p. Dissertação “mestrado em engenharia” - Faculdade de Engenharia, Campos de Bauru, Universidade Estadual Paulista. **2006**.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7^a ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, vol. 52, No.3/4. pp. 591-611. 1965
- SILVA, C. S. **Aproveitamento energético de biossólido industrial têxtil na produção canaveira**. Dissertação. CEAR/UFPB. João Pessoa, 2018.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar **cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.
- SOBRAL, L. F., BARRETO, M. D. V., Da Silva, A. J., & Dos Anjos, J. L.. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E)**, 2015.
- TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G.. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, v.4. 2017.
- USMAN, K., KHAN, S., GHULAM, S., KHAN, M. U., KHAN, N., KHAN, M. A., & KHALIL, S. K. **Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications**, 2012.

CAPÍTULO 3 (ARTIGO): Concentração de metais e óxidos em solo agrícola de cana-de-açúcar tratado com biossólido de uma indústria têxtil

3.1. INTRODUÇÃO

O lodo de Estação de Tratamento de Efluente (ETE) nos últimos anos vem sendo estudado como um potencial fertilizante, podendo ser semelhante ao de outros resíduos orgânicos utilizados na adubação do solo e, nessa perspectiva, o uso na agricultura está sendo uma forma alternativa e viável para sua disposição no ambiente. São muitas as vantagens agronômicas da aplicação do bio sólido no solo, dentre tantas podem ser destacadas: a ciclagem de nutrientes e energia (matéria orgânica) nele contidos, utilização como melhoria nas propriedades físicas e químicas do solo, somando-se com os aspectos de sustentabilidade ambiental (NEVES et al., 2018).

No Brasil, o uso agrícola do lodo de ETE industrial é uma prática ainda incipiente, apesar de alguns trabalhos experimentais já existirem, mostrando o efeito do aumento da produtividade das culturas utilizadas (Neves, et al., 2018; SILVA, 2018; Neves et al., 2019). De tantos motivos que limitam o uso do bio sólido na agricultura, a escassez de informações científicas sobre os efeitos do mesmo em relação às propriedades físicas, químicas e biológicas em solos de condições tropicais são grandes, sendo necessários mais estudos utilizando o bio sólido como fonte de nutrientes. Tais informações são necessárias para orientar as recomendações de aplicação sob condições edafo-climáticas locais, pois as normas de utilização do lodo adotadas atualmente no país derivam, em parte, de normas estabelecidas para condições de clima temperado (CETESB, 2005).

Dos tantos riscos típicos ao uso inadequado e contínuo do lodo de ETE no solo, há possibilidade de contaminação de lençóis freáticos e cursos de água com nitrato e metais, que presentes em excesso na água destinada ao uso doméstico e na irrigação, podem causar problemas de saúde no homem e animais que a consomem. Seu uso inadequado pode também diminuir consideravelmente a produção agrícola (NEVES, 2017).

O nitrato é uma das formas de nitrogênio aproveitadas pelas plantas, resulta da mineralização do nitrogênio orgânico contido no solo, seja ele original ou adicionado por meio de resíduos orgânicos contidos no lodo. Assim, quando a quantidade presente no solo excede a capacidade de absorção das raízes das plantas, há a possibilidade de

lixiviação por meio de fatores como clima e tipo de solo, ou por excesso de irrigação, podendo, ao longo do tempo, atingir o lençol freático e os corpos de água.

Trabalhos sobre o tema desenvolvidos no Brasil indicam que, dependendo das doses de lodo aplicado e da frequência de aplicação, quantidades expressivas de nitrato podem ser lixiviadas da camada arável do solo, trazendo risco de contaminação das águas subterrâneas (ANDRADE, 1999; ANJOS; MATTIAZZO, 2001; OLIVEIRA, 2016). Um dos fatores de impactos negativos, a partir do acúmulo em função de aplicações sucessivas, são os metais pesados. Esses elementos vêm causando preocupação com relação à segurança ambiental necessária para viabilidade do uso deste resíduo na agricultura. Silva et al. (2002) relatam que a quantidade de um determinado elemento no solo representa a capacidade potencial do solo de fornecê-lo à planta e é função principalmente do material de origem do solo, bem como da ação antrópica, com por exemplo o descarte de resíduos agroindustriais por períodos relativamente prolongados no solo.

A Resolução Conama 375/06 Brasil (2006) define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Apesar de ser específica para esgotos sanitários, e também por não haver uma legislação específica para o uso agrícola de lodos gerados em ETE's industriais, normalmente no Brasil se utiliza a resolução Conama 375/06 Brasil (2006) como referência para aplicação dos biossólidos gerados em ETE's de segmentos industriais.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos negativos da utilização do biossólido de uma ETE de indústria têxtil no solo a partir da análise por Fluorescência de Raio-X – FRX em área de produção de cana-de-açúcar.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Área experimental

O referido experimento foi conduzido na cidade de Pedras de Fogo, zona rural da cidade, localizada no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. Coordenadas geográficas S07°19'59,6'' W035°03'55,2''. O período chuvoso normalmente começa em fevereiro e termina em outubro, com precipitação anual média de 1.377 mm (CLIMATE, 2018).

O solo da área de estudo é Espodossolo Ferri-humilúvico órtico espessarênico (DOS SANTOS et al., 2018). Foram delimitados 18 parcelas de 2 x 2 m, em um

delineamento de blocos casualizados com 6 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos foram: fertilização química, 1x, 2x, 4x e 8x a dosagem calculada segundo anexo 3 da resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006) e testemunha (apenas irrigada, sem utilização de insumos). Os blocos foram compostos conforme a Figura 3.1. O solo foi cultivado com cana-de-açúcar por dois anos seguidos, com essa exata configuração.

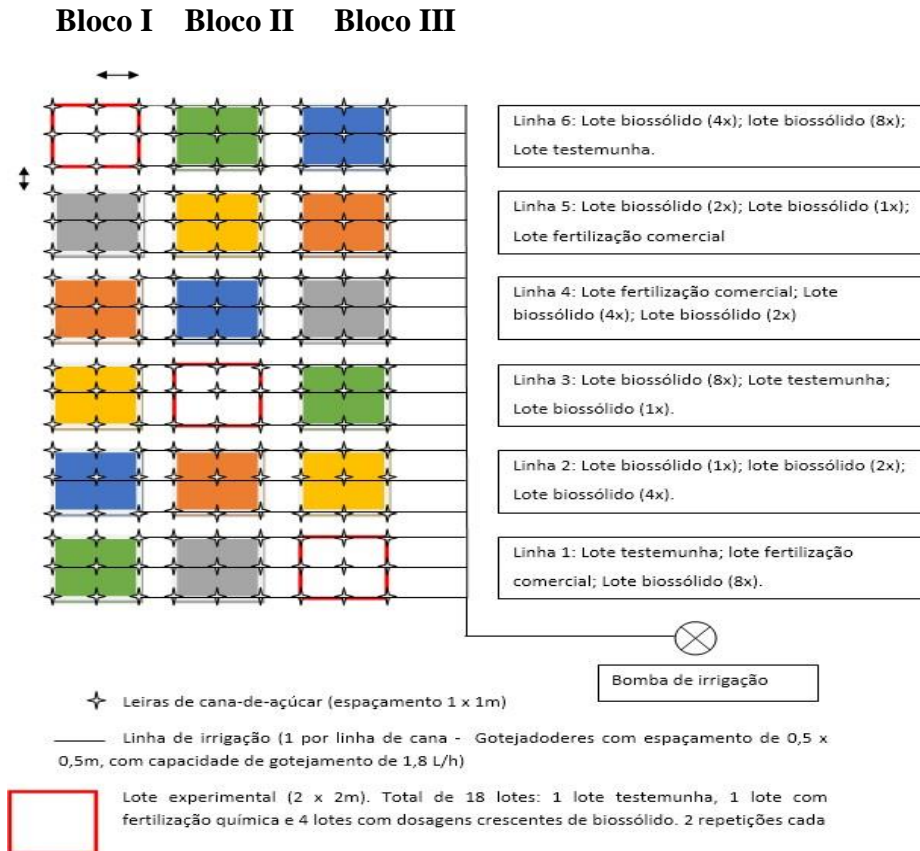


Figura 3.1. Representação esquemática do delineamento experimental (SILVA, 2018).

Todas as informações sobre a taxa de aplicação do biossólido, taxa de aplicação do fertilizante comercial, coleta e processamento das amostras do solo, estão mencionados no capítulo anterior, nos tópicos 2.2.3 e 2.2.6.

3.2.2. Quantificação dos elementos nas amostras

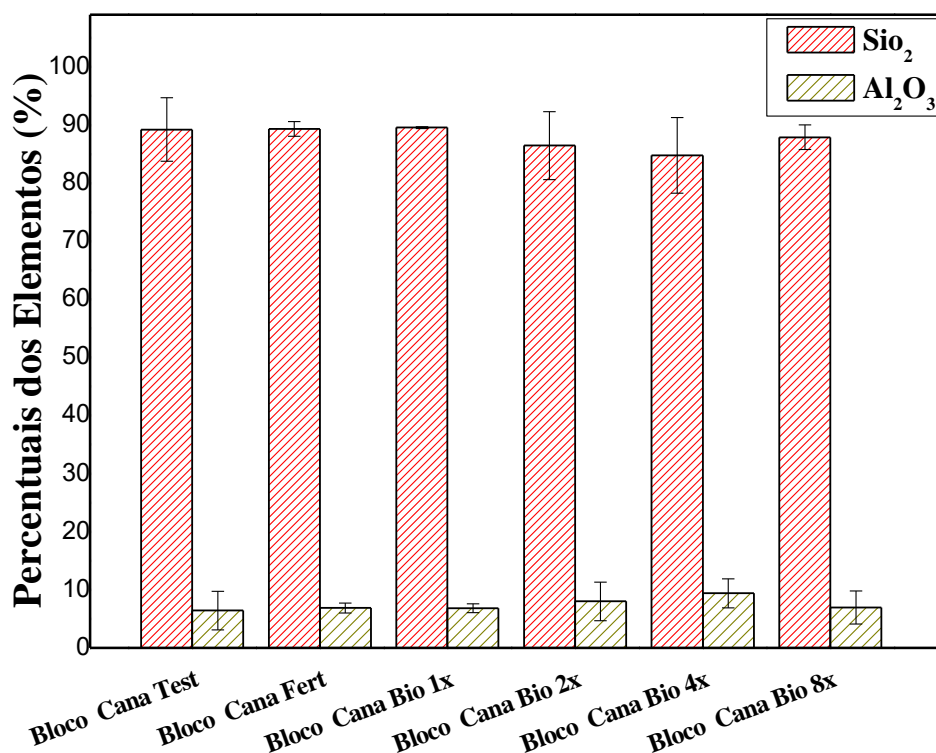
Para quantificar os metais pesados nas amostras, foi realizada a caracterização química, através da análise de fluorescência de Raio-X (FRX). A FRX é uma técnica utilizada por meio dos métodos instrumentais rotineiros empregados nas análises de elementos em rochas, solos, cimentos, dentre outros (MORI et al., 1999; WEINDORF; CHAKRABORTY, 2016).

A FRX tem se mostrado uma técnica muito versátil, sendo aplicada em vários tipos de amostras, onde inclui-se os estado sólido e líquido, bem como, faz uma varredura a ponto de identificar todos os elementos nela contida, sem eliminação de qualquer característica da amostra, oferecendo também a grande vantagem de ser uma técnica analítica não destrutiva (SKOOG et al., 2009).

Autores como Gazley e Fisher (2014), Weindorf et al. (2014a) destacam que esta técnica além de identificar e quantificar, permite caracterização química dos vários materiais sólidos analisados, de forma simultânea, e a relação do mesmo com outras propriedades.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os percentuais dos elementos encontrados nas amostras dos solos da área experimental em estudo estão organizados e expressados nas Figuras 3.2 e 3.3.

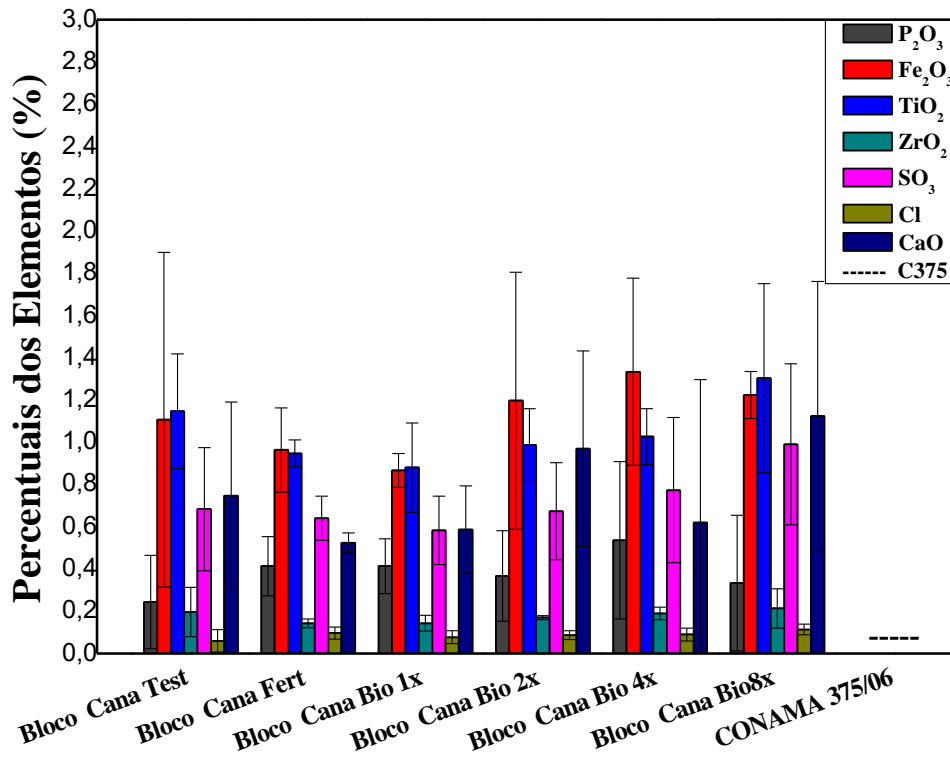


Fonte: Autor

Figura 3.2. Percentuais, em volume, dos elementos SiO_2 e Al_2O_3 determinados pela fluorescência de raio-x no solo cultivado com cana-de-açúcar.

As Figuras 3.2 e 3.3 deixam evidentes que nos blocos que foram utilizados biossólidos não houve identificação de metais pesados, pois o biossólido de ETE

geralmente não tem estes elementos em sua composição. Os elementos encontrados no biossólido utilizado neste estudo foram Trióxido de fósforo (P_2O_3), Óxido de Ferro (Fe_2O_3), Dióxido de Titânio (TiO_2), Dióxido de Zircônio (ZrO_2), Óxido sulfúrico (SO_3), Cloro (Cl), Óxido de Cálcio (CaO). As concentrações desses elementos encontradas não representam riscos ao ambiente (SILVEIRA; ALLEONI & GUILHERME, 2003).



Fonte: Autor

Figura 3.3. Percentuais, em volume, dos elementos Fe_2O_3 , TiO_2 , SO_3 , P_2O_3 , ZrO_2 , Cl no solo determinados pela fluorescência de raio-x no solo cultivado com cana-de-açúcar.

A Figura 3.2 destaca um elevado nível de SiO_2 em todas as amostras analisadas, o que era esperado para este elemento, pois, segundo Menegale et al. (2015) o SiO_2 é um dos elementos mais abundantes da costa terrestre e está presente em todos os solos, frequentemente encontrado na forma de óxido de silício. O SiO_2 está muito presente em solos jovens, onde é diretamente relacionado ao grau de intemperização destes tipos de solos (IBGE, 2009).

Na Figura 3.3 os teores totais de óxidos seguiram a ordem $Fe_2O_3 > TiO_2 > SO_3 > P_2O_3 > ZrO_2 > Cl$, com um teor médio de Fe_2O_3 de 1,4% e um teor médio de Cl de 0,1% nos blocos tratados com o biossólido. Devido à maioria dos elementos

serem óxidos, mesmos alguns autores como Barthes et al. (2008); Igwe et al. (2009); Jozefaciuk; Czachor (2014) comprovarem que os óxido de ferro auxiliam na estabilização dos agregados naturais do solo, os mesmo autores alerta que, de forma excessiva, este óxido poderá causar danos ao solo.

Quanto a utilização da FRX, Silva et al. (2018) ao utilizar fluorescência de raios-X portátil (pFRX) em diferentes métodos de preparo de solo, destaca que o seu uso tem sido muito importante na agilidade de quantificação dos elementos dos solos analisados, bem como na identificação destes elementos. Mancini et al. (2019) relata que esta técnica ainda é pouco utilizada em estudos que envolvem solos, mas, quando utilizada, faz dela uma ferramenta de fundamental importância, principalmente, na identificação de elementos que podem ser prejudiciais ao solo, a exemplo dos metais pesados.

Todos os elementos encontrados nos tratamentos não se enquadram nos elementos prejudiciais ao solo mencionado na CONAMA 375/06, comprovando que o biossólido usado neste estudo pode ser utilizado no solo sem causar contaminações por metais pesados ou quaisquer outros tipos de elementos que venham ocasionar problemas no solo e na produção da cana-de-açúcar, corroborando com os resultados encontrados por Neves et al.(2018) com a utilização do biossólido na produção de capim-elefante. Essa afirmação é válida para os dois primeiros anos de cultivo da cana-de-açúcar. Estudos sobre o efeito cumulativo de longo prazo precisam ser realizados para entendimento da segurança do uso desse tipo de biossólido por mais tempo.

Contudo, poucos são os estudos que utilizam a FRX para identificação dos elementos que compõem o biossólido, ocasionando assim, limitações para poder ser discutido neste estudo e poder compará-lo com outros estudos que abordem essa problemática.

3.4. CONCLUSÃO

Conclui-se que, dos óxidos de ferro encontrados no estudo, houve a predominância do Trióxido de fósforo (P_2O_3) nos tratamentos com biossólido.

Pode-se comprovar que não houve nenhum tipo de impacto negativo com o uso do biossólido por dois anos consecutivos, principalmente em relação aos metais pesados, deixando claro que o biossólido atende os requisitos legais estabelecido na resolução vigente.

É importante salientar que o desenvolvimento de novos estudos, utilizando a FRX como método de caracterização, é necessário para avaliar as possíveis contaminações no solo com a utilização do biossólido, principalmente em dosagens subsequentes de vários anos.

Dessa forma, é possível aproveitar o biossólido de indústria têxtil normalmente não aproveitado, agregando valor ao processo de produção de cana-de-açúcar e diminuindo o uso de fertilizantes comerciais.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. 1999. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 65p.
- ANJOS, A. R. M. dos; MATTIAZZO, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolos tratados com biossólido e cultivado com milho. **Scientia Agricola**, v. 58, n.2, p.337-344, abr./jun. 2001.
- BARTHÈS, B. G., KOUAKOUa, E., LARRÉ-LARROUY, M. C., RAZAFIMBELO, T. M., DE LUCA, E. F., AZONTONDE, A., & FELLER, C. L. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. **Geoderma**, v. 143, n. 1-2, p. 14-25, 2008.
- BRASIL. Lei n 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 19 jun. 2018.
- BRASIL. Resolução CONAMA n 375, de 29 de agosto de 2006. Resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. Ed./ Conselho Nacional do Meio Ambiente. – Brasília: Conama, 2008. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em:< www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 17 de agosto 2018.
- CETESB-COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO. AMBIENTAL. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no**

estado de São Paulo (Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005). São Paulo, 2005.

- CLIMATE-DATA. Clima: Pedras de Fogo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/42653/>. Acesso em 12 julho de 2018.
- DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., DOS ANJOS, L. H. C., De OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- GAZLEY, M. F.; FISHER, L. A. A review of the reliability and validity of portable X-ray fluorescence spectrometry (pXRF) data. In: GAZLEY, M. F.; FISHER, L. A. **Mineral Resource and Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice.** 2ª Ed. p.69-82, 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Manual Técnico de Geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- IGWE, C. A.; ZAREI, M.; STAHR, K. Colloidal stability in some tropical soils of southeastern Nigeria as affected by iron and aluminium oxides. **Catena**, v. 77, n. 3, p. 232-237, 2009.
- JOZEFACIUK, Grzegorz; CZACHOR, Henryk. Impact of organic matter, iron oxides, alumina, silica and drying on mechanical and water stability of artificial soil aggregates. Assessment of new method to study water stability. **Geoderma**, v. 221, p. 1-10, 2014.
- MANCINI, M., WEINDORF, D. C., CHAKRABORTY, S., SILVA, S. H. G., DOS SANTOS TEIXEIRA, A. F., GUILHERME, L. R. G., & CURI, N. Tracing tropical soil parent material analysis via portable X-ray fluorescence (pXRF) spectrometry in Brazilian Cerrado. **Geoderma**, 337, 718-728. 2019.
- MENEGALE, ML de C.; CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.
- MORI, P.; REEVES, S.; CORREIA, C. T. & HAUKKA, M. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, Sao Paulo University. **Brazilian Geoscience Magazine.** 29:441-446, 1999.

- NEVES, T. I. **Aproveitamento energético do biossólido gerado por indústria têxtil como fertilizante para produção de capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach) Morrone**. Dissertação. CEAR/UFPB. João Pessoa, 2017.
- NEVES, T. I., ABRAHÃO, R., UYEDA, C. A., SILVA, C.S., & DEUS, A. S. Assessment of the physicochemical characteristics of soil planted with elephant grass—*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone—following application of biosolid and chemical fertilization. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 39(1), 13274. 2019.
- NEVES, Talles Iwasawa; UYEDA, Claudio Augusto; CARVALHO, Mônica; ABRAHÃO, Raphael. Environmental evaluation of the life cycle of elephant grass fertilization—*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone—using chemical fertilization and biosolids. **Environ Monit Assess**. 2018.
- OLIVEIRA, J. R. S. **Qualidade de solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos**. Dissertação de mestrado da Universidade Rural de Pernambuco. Recife, 2016.
- SILVA, C. S. **Aproveitamento energético de biossólido industrial têxtil na produção canavieira**. Dissertação. CEAR/UFPB. João Pessoa, 2018.
- SILVA, J. E., Resck, D. V. S., & Sharma, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26, 487–495. 2002.
- SILVA, J. E., Resck, D. V. S., & Sharma, R. D.. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26, 487–495. 2002.
- SILVEIRA, Maria Lucia Azevedo; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferracciú; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 4, p. 793-806, 2003.
- SKOREK, R., et al., Dispersive Micro Solid-Phase Extraction Using Multiwalled Carbon Nanotubes for Simultaneous Determination of Trace Metal Ions by Energy-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. *ED SPECTROSCOPY*, v. 67, n. 2, 2013.

WEINDORF, D. C.; BAKR, N.; ZHU, Y. Advances in portable X-ray fluorescence (pXRF) for environmental, pedological, and agronomic applications. **Advances in Agronomy**, 128:1- 45, 2014a.

WEINDORF, D. C.; CHAKRABORTY, S. Portable X-ray fluorescence spectrometry analysis of soils. **Methods of Soil Analysis**, v.1, n.1, 2016.

**CAPÍTULO 4 (ARTIGO): Efeito do bio sólido de
uma indústria têxtil para o solo e para a
produção do capim-elefante – *Cenchrus
purpureus* (Schumach.) Morrone**

4.1. INTRODUÇÃO

O biossólido é um lodo semissólido proveniente de estações de tratamento de efluentes, que tem em sua composição quantidades elevadas de nutrientes e matéria orgânica, sendo frequentemente aproveitado como fertilizante agrícola. Com isto, vem apresentando o papel importante na restauração da fertilidade do solo, principalmente em solos com baixa fertilidade.

Com a promulgação da lei 12.305/10 Brasil (2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a disposição de resíduos que possam ser aproveitados em aterros foi proibida. O biossólido apresenta potencial para ser aproveitado em várias áreas e seu possível uso na agricultura como fertilizante é uma delas, sendo um uso de baixo custo operacional (ANDREOLI, 1998).

Não se discute o potencial agrônômico do biossólido, porém é necessário o seu uso ambientalmente correto, de modo a não provocar qualquer dano ao meio ambiente e a saúde pública ou até mesmo prejuízos ao produtor rural (LUDUVICE, 2000). Selivanovskaya et al. (2003) destacam que o biossólido, quando adicionado como matéria orgânica, torna-se um método alternativo para melhoria de solos pouco férteis, auxiliando no crescimento das plantas, além de diminuir os impactos negativos causados na disposição final deste resíduo.

Melo e Marques (2000) relatam que o principal efeito físico do biossólido no solo, ocasionado pela alta presença de matéria orgânica, é a melhoria do estado de agregação das partículas, influenciando diretamente na diminuição da densidade, aumento da aeração e retenção de água. Em relação aos aspectos químicos, o biossólido pode proporcionar uma elevação dos teores de nutrientes, carbono orgânico, da capacidade de troca iônica, condutividade e pH (CAVALLARO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 2002). No entanto, contaminações também podem ocorrer, devido à possível presença de substâncias como metais pesados, microrganismos patogênicos e até mesmo excesso de nutrientes que compõe o biossólido (NEVES, 2017).

A aplicação do biossólido como fertilizante agrícola é regida por normativa federal, a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Se aplicado com racionalidade e de acordo com o que rege a normativa supracitada, o uso do biossólido como fertilizante é uma ótima alternativa para melhora da fertilidade do solo, proporcionando condições

para o cultivo de alguma cultura agrícola, agregando assim valor econômico ao processo.

Das várias alternativas do uso do biossólido na agricultura, uma delas é utilizá-lo na produção do capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, que é uma planta forrageira utilizada para alimentação animal e até mesmo para uso energético. Esta forrageira está presente em todas as regiões do Brasil devido ao seu alto vigor, produtividade e facilidade de implantação (MAGALHÃES et al., 2009). Segundo Lima et al. (2010), o capim-elefante é adaptado às condições de clima e solo em quase todo o país, sendo uma boa alternativa de forrageira perene, de alto potencial de formação de matéria seca e alto valor nutritivo.

Rocha et al. (2006) relatam que nos sistemas atuais de produção animal atribui-se grande importância à utilização do capim-elefante, quer seja na forma de pastejo, quer seja como reserva forrageira para corte, tendo em vista o rápido crescimento, bem como, sua produção de massa verde nos períodos da chuva. Deste modo, o biossólido se torna uma alternativa muito interessante para a fertilização do solo para produção dessa forrageira, já que possui boa disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes que poderão sanar suas necessidades nutricionais.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do biossólido produzido pela ETE de uma indústria têxtil para a fertilidade do solo e produção do capim-elefante.

4.2. METODOLOGIA

4.2.1. Área experimental

O experimento está localizado na fazenda Bicas, zona rural da cidade de Pedras de Fogo - PB, coordenadas geográficas S07°19'59,6'' W035°03'55,2'', na região Sudeste da Paraíba. O período de chuvas nesta região inicia-se em fevereiro e termina no mês de outubro, com precipitação anual média de 1.634 mm (CLIMATE-DATA, 2018).

Foram delimitadas 18 parcelas de 2 x 2 m, em um delineamento de blocos casualizados com 6 tratamentos e 3 repetições. Os blocos foram compostos conforme a Figura 4.1.

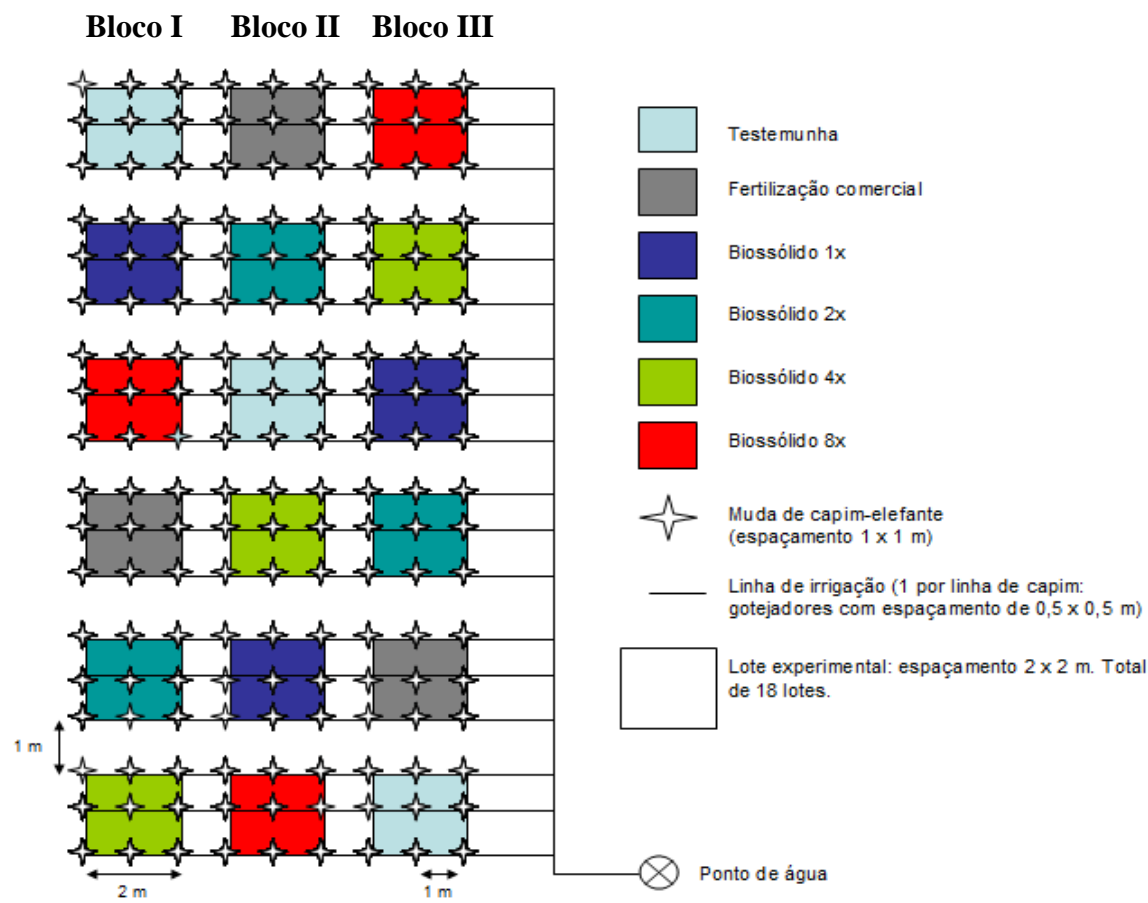


Figura 4.1. Representação esquemática do delineamento experimental (NEVES, 2017).

4.2.2. Caracterização do solo

O experimento foi conduzido nos anos 2016, 2017 e 2018 consecutivos com aplicação do biossólido nesta área, que nunca havia recebido biossólido antes. O solo da área experimental foi classificado como Espodossolo Ferri-Humilúvico Órtico espessarênico, de textura arenosa, baixa fertilidade natural, má drenagem e de médio teor de matéria orgânica, presença de camadas de impedimento e risco elevado de contaminação do lençol freático e de alagamento (SANTOS; CURI & SHIMIZU, 2015). A descrição do perfil deste solo está no Anexo 1 desta dissertação.

4.2.3. Taxa de aplicação do biossólido e fertilizante comercial

O biossólido usado no experimento foi produzido por indústria têxtil localizada no distrito industrial de João Pessoa/PB, e caracterizado conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.

Parâmetro	Quantidade
Carbono orgânico total	0,23 g/kg
Chumbo	< 1 mg/kg
Cobre	275 mg/kg
Coliformes termotolerantes	92 NMP/g de ST
Fósforo	1780 mg/kg
Nitrato	< 6,1 mg/kg
Nitrito	< 1,2 mg/kg
Nitrogênio amoniacal	238 mg/kg
Nitrogênio total	7320 mg/kg
pH (suspensão a 5%)	7,90 mg/kg
Potássio	3450 mg/kg
Umidade	15%
Zinco	34,5 mg/kg

Fonte: (SOUSA, 2018)

Segundo a resolução Conama 375/06, a taxa de aplicação é calculada a partir da quantidade de nitrogênio existente no biossólido e pelo requerimento desse mesmo elemento para o desenvolvimento da cultura a ser cultivada. Assim, a taxa de aplicação do biossólido foi calculado pela equação 1 (BRASIL, 2006).

Equação 1:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \text{N recomendado (kg/ha)} / \text{N disponível (kg/t)} \quad (1)$$

Onde:

N recomendado = Quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura, segundo a recomendação oficial do Estado;

N disponível = Calculado segundo anexo 3 da Resolução Conama 375/06.

Com isto, foram calculados os montantes para o biossólido de 2x, 4x e 8x, dosagem essas superiores em 2, 4 e 8 vezes a calculada de acordo com a Resolução

Conama 375/06. Dessa forma, podemos observar os valores da quantidade de bio-sólido aplicado no experimento.

Equação 2:

$$N_{disp.} = (FM/100) \times (K_{Kj} - N_{NH_3}) + 0,5 \times (N_{NH_3}) + (N_{NO_3} + N_{NO_2}) \quad (2)$$

Onde:

FM= Fração de mineralização do nitrogênio (%);

Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio Kjeldahl = nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal (N_{Kj}) (mg/kg);

Nitrogênio amoniacal (N_{NH_3}) (mg/kg);

Nitrogênio Nitrato e Nitrito ($N_{NO_3} + N_{NO_2}$) (mg/kg).

Vitti et al. (2005), recomenda a adubação da cana-de-açúcar da seguinte maneira:

- Solo com teor de argila < 25% utilizar 100 a 150 kg de P_2O_5 /ha em área total, acrescidos de 100 kg de P_2O_5 /ha no sulco de plantio.
- Em areias quartzosas (neossolos quartzarênicos) e latossolos aplicar no máximo 100 kg de K_2O /ha no sulco de plantio, e o restante em cobertura, antes do fechamento do canavial.

Utilizando os dados da caracterização do bio-sólido, chegou-se às taxas de dosagem apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Quantidade aplicada de bio-sólido no solo da experimentação, calculado de acordo com a Resolução 375/ 06 (BRASIL, 2006).

Bio-sólido	Quantidade
Bio-sólido 1x	27,0 kg/lote
Bio-sólido 2x	54,0 kg/lote
Bio-sólido 4x	108,0 kg/lote
Bio-sólido 8x	216,0 kg/lote

Fonte: Autor

O sistema de tratamento utilizado pela empresa é o sistema biológico de lodos ativados de aeração prolongada seguido por um sistema de ultrafiltração. Antes de ser aplicado, o lodo passou por um processo de estabilização alcalina a partir do aumento do seu pH com adição de cal hidratada, tanto para redução de patógenos como para

redução da atração de vetores, atendendo ao artigo primeiro da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Foram realizados em laboratório, ensaios com o bio sólido bruto com a cal de acordo com a metodologia exigida na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). A partir da concentração de 30% de cal no lodo seco, as amostras atenderam aos requisitos necessários para pH acima de 12 após 48 horas e pH acima de 11,5 após 24 h. Portanto, chegou-se a proporção de 30% de cal para a quantidade de lodo em base seca.

De acordo com informações levantadas com profissionais das usinas e produtores da região, a quantidade de fertilizante comercial aplicada no experimento foi nas proporções de 100 kg P₂O₅/lotes, 100 kg de KCl/lotes, 200 kg N/lotes, utilizando a uréia. Todos foram aplicados de uma só vez no sulco de plantio. Assim, buscou-se aplicar a fertilização utilizada pelos profissionais e produtores do entorno para, posteriormente, realizar a comparação frente às parcelas com bio sólido.

4.2.4. Método de plantio

Para a realização do experimento, foram necessários alguns cuidados com o terreno. Sendo assim, foi feita a limpeza manual do terreno seguida da aragem e gradagem com máquinas. Para Lopes (2004), o preparo do solo deve ser feito de forma a facilitar a brotação das mudas e germinação das sementes.

O plantio foi realizado por sulcos de aproximadamente 15 cm de profundidade. Os colmos foram cortados em pedaços com três gemas dentro do próprio sulco. Evangelista e Lima (2002) dizem que há um maior perfilhamento em pedaços de colmos contendo de 3 a 5 gemas. No dia 10/10/2017, após aproximadamente um mês de experimento, foi feito o replantio das mudas que não brotaram, para eliminar a possibilidade de diferença de qualidade entre as mudas. Nessa ocasião também foram contabilizadas as germinações.

O espaçamento utilizado entre mudas foi de 1 m. Foram utilizadas mudas de capim-elefante retiradas das propriedades vizinhas onde foi realizado o experimento, cuja variedade do capim-elefante é conhecida como *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. Foi utilizado 1 m de espaçamento, pois é o espaçamento normalmente utilizado pelos agricultores da região, onde os mesmos indicam que há uma maior produção, evitando também a competição e entrelaçamento entre os colmos nos sulcos no desenvolvimento da planta.

4.2.5. Irrigação

Para a irrigação foram utilizados tubos gotejadores de polietileno de 16 mm de espessura, com espaçamento de 0,50 m por gotejador, com vazão nominal de 1,5 L/h. Cada gotejador tem a espessura de 0,7 mm. Foi instalada uma tubulação entre as linhas do capim-elefante.

Um termômetro digital (Incoterm) também foi instalado no campo experimental, com medições de temperaturas máximas e mínimas para cálculo da evapotranspiração de referência a partir da equação 3 (HARGREAVES; SAMANI, 1982).

Equação:

Onde:

$$ET_0 = 0,0023 * (T_{méd} + 17,78) * (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} * (R_A * 0,408) \quad (3)$$

ET_0 - Evapotranspiração de referência (mm/h)

$T_{méd}$ - Temperatura média

$T_{máx}$ - Temperatura máxima

$T_{mín}$ - Temperatura mínima

R_A - Radiação extraterrestre (MJ / m²)

Para utilização dessa fórmula foram coletadas diariamente as temperaturas máximas e mínimas para o cálculo final do tempo de irrigação necessário para o dia. A temperatura média foi calculada de acordo com a equação 4.

Equação 4:

$$T_{méd} = (T_{máx} - T_{mín}) / 2 \quad (4)$$

Depois de calculada a evapotranspiração de referência, determinou-se a evapotranspiração da cultura através da equação 5.

Equação 5:

$$ET_C = ET_0 * K_c \quad (5)$$

Onde:

ET_0 – Evapotranspiração de referência;

ET_C - Evapotranspiração da cultura (mm/h); K_c - Coeficiente de cultivo, adimensional.

Calculada a ET_C , é possível calcular a lâmina de irrigação de acordo com a equação 6.

Equação 6:

$$Li = (ET_C / E_i) * 100 \quad (6)$$

Onde:

Li - Lâmina de irrigação (mm/dia);

Ei - Eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (%).

Calculada a lâmina de irrigação, foi possível calcular o tempo de irrigação necessário por dia no sistema, conforme a equação 7.

Equação 7:

$$T_i = L_i * 10000 / N_p * N_e * q_e \quad (7)$$

Onde:

T_i = Tempo de irrigação (h);

N_p = Número de plantas por hectare;

N = Número de emissor por planta;

q_e = Vazão do emissor, L/h.

4.2.6. Coleta, processamento e análise das amostras de solo

Os procedimentos de amostragem estão em consonância com o Manual de descrição e coleta de solos no campo, página 89, item H (SANTOS et al., 2015). Foram realizadas duas amostragens de solo: uma antes de iniciarmos o experimento, e a outra no final do ciclo, e a outra 1 dia antes do corte do capim-elefante.

Para a amostragem do solo antes do experimento, foram coletadas amostras na profundidade de 0-20 cm e misturadas formando uma amostra composta. Para as amostragens antes dos cortes, utilizou-se a mesma metodologia para formar amostras compostas (SANTOS et al., 2015).

4.2.7. Determinação da produtividade

As amostras de capim-elefante foram coletadas após 4 meses de plantio, foi cortado manualmente, e a massa verde pesada parcela por parcela. Para o parâmetro altura de planta, foram selecionadas aleatoriamente três plantas da linha do meio de cada parcela e os resultados foram usados como uma média. Em relação ao peso total, foi feita da seguinte forma: foi pesada a massa verde de todos os lotes.

No estudo realizado com capim-elefante em Pedras de Fogo/PB, Neves (2017), pesou a produção de cada parcela e os resultados foram apresentados como uma média. O peso total das plantas de cada lote foi aferido utilizando uma balança tipo industrial.

Diante da semelhança dos experimentos com esta experimentação, foi usada a mesma metodologia.

Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, proposto em 1965 por Shapiro & Wilk (1965), e tem como objetivo verificar a hipótese de normalidade de uma população a partir de uma amostra. Uma grande vantagem deste teste é ser bastante sensível, até mesmo em quantidades pequenas de amostras (SHAPIRO; WILK, 1965).

Os dados coletados foram avaliados mediante a aplicação da análise de variância (ANOVA) através da estatística F, onde verificou-se se havia diferença significativa entre os tratamentos, sendo necessário a aplicação de um teste de comparações de médias, o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4.3. RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com os dados apresentados, no parâmetro pH (Tabela 4.3 e Tabela 4.4), observou-se que após a calagem os teores do pH nos solos com o uso de biofósforo ficaram um pouco mais básicos, ainda assim próximos a neutralidade, quando comparados com a análise feita antes a fertilização do solo com o biofósforo.

Foi possível observar também, que após a implantação do experimento, não houve um aumento significativo do pH nos lotes com biofósforo, exceto no biofósforo 8x (Tabela 4.4), que é considerado acidez alta quando comparados com valores de referência classificados por Sobral et al. (2015), os demais resultados se enquadram em acidez fraca, e fazendo com que eles não prejudiquem a produção do capim-elefante, menos ainda, na disponibilidade dos nutrientes para o solo.

Um dos fatores que prejudicam as raízes, a implantação das culturas e aumenta toxidez através do sódio, magnésio e cálcio, é o acúmulo de sais, alterando de forma direta as condições químicas do solo (JONES JR, 2012). Os resultados encontrados para o pH assemelham-se aos encontrados em outros trabalhos que utilizaram o biofósforo calado antes da implantação, onde houve uma diminuição de pH, deixando-o neutro ou próximo a neutralidade (OLIVEIRA et al., 2002; NEVES et al., 2018).

No que se refere ao fósforo, os dados revelaram que o mesmo teve um aumento crescente nos lotes fertilizados com biofósforo, em relação ao lote testemunha, destacando-se os lotes biofósforo 1x e biofósforo 4x. Este acréscimo de fósforo era esperado, pela quantidade biofósforo incorporado no solo. Estes resultados estão parecidos com os encontrados por Castillo et al. (2011) e Neves (2017) que ao utilizar o

biossólido na produção do capim-elefante, verificaram que ao aumentar as doses de biossólido, aumenta-se também as concentrações deste e outros nutrientes no solo.

Tabela 4.3. Caracterização química do solo onde foi realizado o experimento.

Tratamentos	Médias								
	P (mg/dm ³)	pH (H ₂ O)	Ca (cmol _c /dm ³)	Mg (cmol _c /dm ³)	H ⁺ +Al ²⁺ (cmol _c /dm ³)	Na (cmol _c /dm ³)	K ⁺ (cmol _c /dm ³)	CTC (cmol _c /dm ³)	M.O. (g/kg)
Testemunha	36,4	6,5	2,08	0,90	2,22	0,11	0,08	5,39	17,1
Fertilizante comercial	25,2	6,7	4,80	1,12	2,06	0,13	0,06	8,17	29,9
Biossólido 1x	37,8	7,5	2,75	0,85	0,74	0,13	0,08	4,28	24,5
Biossólido 2x	103,6	7,1	2,45	0,89	0,57	0,10	0,11	4,39	67,7
Biossólido 4x	37,8	7,3	4,02	1,05	2,07	0,08	0,10	6,32	19,8
Biossólido 8x	63,0	7,7	4,60	0,95	0,16	0,17	0,07	5,95	21,5

Fonte: autor

Tabela 4.4. Análise química do solo após implantação do experimento.

Tratamentos	Médias								
	P (mg/dm ³)	pH (H ₂ O)	Ca ⁺² (cmol _c /dm ³)	Mg (cmol _c /dm ³)	H ⁺ +Al ²⁺ (cmol _c /dm ³)	Na ⁺ (cmol _c /dm ³)	K ⁺ (cmol _c /dm ³)	CTC (cmol _c /dm ³)	M.O. (g/kg)
Testemunha	57,52	6,2	3,09	1,15	5,1	0,11	0,04	9,44	19,95
Fertilizante comercial	28,01	5,9	5,70	1,37	2,7	0,13	0,06	10,98	17,87
Biossólido 1x	51,82	6,5	3,89	1,37	5,2	0,10	0,08	10,52	17,13
Biossólido 2x	59,45	6,6	3,43	0,95	4,0	0,13	0,05	8,34	16,61
Biossólido 4x	33,71	6,4	4,35	2,05	4,4	0,08	0,09	10,96	15,61
Biossólido 8x	68,95	7,1	4,68	1,54	5,3	0,17	0,05	11,72	24,47

Fonte: autor

É preciso destacar que o potássio e o fósforo fazem parte dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta, por este motivo, a falta destes elementos no solo pode comprometer todo o ciclo vegetativo da planta (JONES JR, 2012). Castillo et al. (2011) relata que quanto menor for a quantidade dos elementos essenciais disponíveis no solo para a planta, maior será o risco de perda total da produção, ocasionando muitos danos econômicos.

Analisando os dados (Tabela 4.3) antes do início do experimento em comparação com os dados após o experimento, observou-se um pequeno aumento de nutrientes nos lotes com o biossólido após o experimento (Tabela 4.4), onde para a maioria dos parâmetros analisados neste estudo os que contêm biossólido apresentaram teores superior aos encontrados antes do início do experimento, com exceção ao P do biossólido 2x.

Quanto à CTC, ficou nítido que os lotes aplicados com biossólido, tiveram uma tendência crescente de valores deste índice de fertilidade do solo em relação ao mesmo índice antes da implantação do experimento, como visto na Tabela 4.3 e Tabela 4.4. Sobral et al. (2015) destacam que a CTC faz parte de um dos índices importantes a ser considerado no manejo da adubação. Ressaltam também, que em solos com baixa CTC o parcelamento do nitrogênio e do potássio é necessário, evitando assim, perdas por lixiviação.

Segundo os autores Jones Jr (2012) e Teixeira et al. (2015) o índice ideal para CTC em solos arenosos tem que estar entre 10 a 15 $\text{ctmol}/\text{dm}^{-3}$. Conseguiu-se assim, observar que os valores mais significativos foram nos tratamentos com biossólido, corroborando com Neves et al. (2019) que teve bons resultados com a aplicação do biossólido.

Em relação à matéria orgânica, constatou-se que este índice não teve bons resultados com a aplicação do biossólido. Isto pode ter ocorrido através da lixiviação, uma vez que no período da implantação do experimento houve uma quantidade de chuva acima da média local, e como o solo é muito arenoso, pode ter contribuído para a ocorrência deste evento. Esses resultados são contrários aos encontrados em alguns trabalhos, como o de Binder et al. (2002), Castillo et al., (2011), Silva (2018) e Neves et al. (2019), que concluíram que o biossólido é uma ótima fonte de matéria orgânica para o solo e conseqüentemente para a cultura implantada neste solo.

4.3.2. Análise de produtividade

De acordo com os dados analisados através da estatística F, observamos que houve diferença significativa entre os tratamentos Peso Total e Altura de Planta ao nível de 5% de significância pelo Teste F. Utilizou o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparar as médias dos tratamentos Peso Total e Altura de Planta, demonstrando que houve diferença significativa conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Resultados (p-valores) associados às variáveis altura das plantas (AP) e peso total (PT).

F. Variação	G.L.	Est. F	P-valor
PT	2	2,00	0,186
	5	12,92	0,0004***
c.v	20,16%		
S-W	0,95049 p=0,432		
AP	2	2,33	0,147
	5	0,81	0,569
c.v	23,97%		
S-W	0,9734 p=0,9188		

Fonte: Autor

*Teste F-Fisher ao nível de 5% de significância indica rejeição da hipótese nula informando que existe diferença entre os tratamentos.

***Teste de normalidade de Shapiro-Wilks $P < 0,05$ indicam que se rejeita à hipótese nula.

De acordo com o Teste de normalidade de Shapiro-Wilks (S-W) apresentado por Abbasi (2013), observamos que todos os tratamentos apresentaram uma distribuição normal, ou seja, a hipótese nula foi aceita indicando que estes dados foram extraídos de uma população com distribuição normal, S-W ($p > 0,05$).

Observa-se também, que o coeficiente de variação (c.v) de todas as variáveis envolvidas na análise foi de 20% para o PT, indicando uma boa homogeneidade dos dados e 23% para AP, indicando uma heterogeneidade dos dados de acordo com Pimentel-Gomes; Garcia (2002).

Observa-se também, que o coeficiente de variação (c.v) de todas as variáveis envolvidas na análise foi inferior a 20%, indicando uma boa homogeneidade dos dados de acordo com Pimentel-Gomes; Garcia (2002).

Tabela 4.6. Teste de Tukey ao nível de 5% de significância para os tratamentos: Peso Total (PT) e Altura de Planta (AP).

Peso Total	Altura de Planta
Biossólido 8x = 51,63a	Biossólido 4x = 2,88a
Biossólido 4x = 45,21a	Biossólido 8x = 2,70a
Biossólido 2x = 31,17b	Biossólido 1x = 2,67a
Biossólido 1x = 25,61b	Testemunha = 2,33a
Testemunha = 23,76b	Fertilizante Comercial = 2,28a
Fertilizante Comercial = 16,37b	Biossólido 2x = 2,06a

Fonte: Autor

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Com relação à variável altura de planta, observou-se que não houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey para esta variável na produção do capim-elefante.

No que se refere ao peso total nos lotes tratados com bio sólido, a Tabela 4.6 mostra que os lotes bio sólido 4x e bio sólido 8x, tiveram diferença significativa em relação aos lotes com fertilização química e testemunha, constatando que nos lotes tratados com bio sólido houve um maior rendimento.

Contrariando estes resultados, Neves (2017) em sua experimentação com uso de bio sólido para produção do capim-elefante, conseguiu resultados superiores em todos os lotes tratados com o bio sólido.

Os lotes bio sólido 8x e bio sólido 4x, apresentaram os melhores resultados na produção de biomassa, mostrando a eficiência dessa quantidade de bio sólido para o incremento da biomassa. Neste estudo e no estudo de Neves (2017), pode-se constatar que o uso do bio sólido mostrou resultados expressivos referente à biomassa, principalmente quando as dosagens foram maiores que a recomendada pela Resolução 375/06, resultando em ganhos de biomassa para a capim-elefante.

Silva; Resck e Sharma (2002), Silva (2018) e Neves et al. (2019) concluíram, com aplicação de lodo de esgoto para a cultura de milho, cana-de-açúcar e capim-elefante, que houve uma produtividade maior se comparado com a adubação química comercial e a parcela testemunha.

Alguns autores como Neves (2017) e Silva (2018) afirmam que o uso do bio sólido para produção do capim-elefante e cana-de-açúcar manifestou resultados significativos. Estes mesmo autores sugerem que outros estudos sejam realizados, deste modo, poderá ser verificado se haverá danos ao solo ou a cultura a partir de aplicações sucessivas do bio sólido.

4.4. CONCLUSÃO

Há viabilidade do uso do biossólido como fertilizante na produção do capim-elefante, tendo ele disponibilizado os nutrientes essenciais para e melhorado as características de fertilidade do solo, sem causar problemas na produção.

Foi possível constatar que o biossólido conseguiu atender as demandas nutricionais das plantas, incrementando biomassa vegetal apta a ser utilizada na alimentação animal, auxiliando a planta a desenvolver plenamente antes, principalmente nos lotes com maiores dosagens de biossólido.

Com a aplicação do biossólido na agricultura, consegue-se aproveitar um resíduo que era desperdiçado, dando uma destinação final, adequando o mesmo a legislação vigente, diminuindo o uso de fertilizantes comerciais, e consequentemente proporcionando uma economia com insumos agrícolas para os agricultores.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, N. Shapiro-Wilks test in evaluation of asymptotic distribution on estimators of measure of kurtosis and skew. In: **International Mathematical Forum**. p. 573-576. 2013.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. C.; FERREIRA, B. R. P.; BONNET, E. S.; PEGORINI, R. G. K. I. A gestão dos biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto doméstico. **Engenharia e Construção**, n. 24, 1998.
- BINDER, D. L.; DOBERMANN, A.; SANDER, D. H.; CASSMAN, K. G. Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 2, p. 531-543, 2002.
- BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 16 de jun. 2017.
- BRASIL. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- CASTILLO, M. S.; SOLLENBERGER, L. E.; VENDRAMINI, J.; WOODARD, K. R.; O'CONNOR, G. A.; SILVEIRA, M. L.; SARTAIN, J. B. Incorporation of municipal biosolids affects organic nitrogen mineralization and elephantgrass biomass production. **Agronomy journal**, v. 103, n. 3, p. 899-905, 2011.
- CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. **Soil Science**, ed. 156, p. 63-70, 1993.
- CLIMATE-DATA. Clima: Pedras de Fogo (2018). Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42653/>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

- EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Silagens: do cultivo ao silo. Lavras, **Editora UFPA**, 2ª ed., 210 p. 2002.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimation of potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982.
- JONES JR., J. B. Plant nutrition and soil fertility manual. **CRC press**. 2012.
- LIMA, E. S.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; ANDRADE, E. N.; DEMINICIS, B. B.; MORAIS, J. P. G.; COSTA, D. P. B.; ARAÚJO, S. A. C. Características agronômicas e nutritivas das principais cultivares de capim-elefante do Brasil. *Veterinária e Zootecnia*, p. 324-334, 2010.
- LOPES, B. A. O capim-elefante. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Viçosa, 66 p. 2004.
- LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do distrito federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 153-162, 2000.
- MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; COSTA, N. L.; PINTO, M. S. C.; FILHO, W. J. E. M. Influência da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. **REDVET: Revista eletrônica de veterinária**, v. 10, n. 4, 13 p. 2009.
- MELO, W. J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: **EMBRAPA Meio Ambiente**, p. 109-141, 2000.
- NEVES, T. I. Aproveitamento energético do biossólido gerado por indústria têxtil como fertilizante para a produção de capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. 2017. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

- NEVES, T. I., UYEDA, C. A., SILVA, C.S., & ABRAHÃO, R. Production and Bromatological Characteristics of Elephant Grass—*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone—Planted Under Application of Industrial Biosolid and Chemical Fertilization. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 4, 132 p. 2018.
- NEVES, T. I.; ABRAHÃO, R.; UYEDA, C. A.; SILVA, C. S.; DEUS, A. S. Assessment of the physicochemical characteristics of soil planted with elephant grass—*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone—following application of biosolid and chemical fertilization. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 39, n. 1, 13274 p. 2019.
- OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, ed. 26, p. 505-519, 2002.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. 2002.
- R CORE TEAM. R. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.
- ROCHA, F. C.; GARCIA, R.; FREITAS, A. W. P.; BERNARDINO, S. F.; ROCHA, G. C. Amonização sobre a composição química e digestibilidade da silagem de capim – elefante. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 228-233, 2006.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7^a ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2015.
- SELIVANOVSKAYA, S. Y.; LATYPOVA, V. Z.; ARTAMONOVA, L. A. Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. **Journal of Environmental Science and Health – Part A**, v. 38, n. 8, p. 1549-1556, 2003.

- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido: A experiência de Brasília. In: IMPACTO AMBIENTAL DO USO DO LODO DE ESGOTO. Jaguariúna, **Embrapa Meio Ambiente**, p. 143-151, 2002.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.
- SILVA, C. S. Aproveitamento energético de biossólido industrial têxtil na produção canavieira. 2018. 85 f. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós Graduação em Energias Renováveis) CEAR/Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, 2018.
- SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. D. V.; DA SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J. L. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos** (INFOTECA-E), v. 1, p. 1-15, 2015.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, v. 4, 2017.
- VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. Vitti, G. C.; Otto, R.; Ferreira, L. R. P. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. In: Belardo, G. C.; Cassia, M. T.; Silva, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. v. 7, n. 1, p. 177-205, 2015.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados alcançados ao longo do tempo total do experimento, aproximadamente 02 anos, pode-se constatar que o biofóssido se mostrou viável para aplicação no solo, desde que sua dosagem seja feita de acordo com a dosagem calculada pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). A produtividade da cana-de-açúcar e do capim-elefante em média foi similar nos tratamentos com o biofóssido dosado de acordo com os cálculos da normativa e tendo melhores resultados que os tratamentos onde foram utilizados os fertilizantes químicos, apresentando assim, as culturas da cana-de-açúcar e do capim-elefante, boas características nos tratamentos com biofóssido.

Ao longo do experimento, foi realizada a descrição geral do solo em campo, com a finalidade de conhecer o solo da área de estudo, bem como, para poder identificar suas potencialidades e limitações de acordo com suas características. Foram também realizadas análises do solo antes da implantação do experimento e 1 dia antes do corte das culturas implantadas, a fim de conhecer as propriedades químicas do solo e suas possíveis carências nutricionais. O tratamento de fertilização do solo com biofóssido nas culturas da cana-de-açúcar e do capim-elefante mostrou-se possível e viável, diminuindo assim o uso com fertilizantes comerciais, causando economia para o agricultor, já que se trata de um resíduo que seria descartado e que poderá ser aproveitado.

Não foi observado qualquer tipo de contaminação ao solo, a partir das análises de Fluorescência de raio-X realizadas nos tratamentos e também pelas pequenas quantidades apresentadas na composição inicial do biofóssido de metais pesados, comprovando, a partir dos resultados obtidos, que todas as concentrações estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução Conama 375/06.

Apesar dos tratamentos onde foram dosadas quantidades de biofóssido superiores ao preconizado pela Resolução Conama 375/06 terem apresentado resultados satisfatórios de produtividade nas culturas da cana-de-açúcar e do capim-elefante, novos estudos são necessários principalmente para avaliar se efeitos cumulativos poderão contaminar o solo e a planta, a partir de quantidades sucessivas do biofóssido.

Assim, conseguiu-se provar a viabilidade do biofóssido como fertilizante, aproveitando este resíduo que era desperdiçado nos aterros, diminuindo os custos com fertilizantes comerciais, conseguindo trazer benefícios à produção da cana-de-açúcar e do capim-elefante, de forma mais sustentável.

Por fim, pode-se concluir que o biossólido foi benéfico para o solo, para a produtividade das culturas implantadas neste estudo, sem causar contaminação com metais pesados, excesso de óxidos ou qualquer elemento químico que cause danos ambientais, além de diminuir os custos da disposição final do biossólido para os gestores de ETE's.

**CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS DE TODA DISSERTAÇÃO**

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. 77 p. Disponível em: < <http://www.videverde.com.br/docs/NBR-n10004-2004.pdf> > Acesso em: 22 de julho. 2018.
- ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. **Tópicos em Ciência do Solo IV**. Viçosa: SBCS, p.391-470. 2005.
- ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 65p. 1999.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. C.; FERREIRA, B. R. P.; BONNET, E. S.; PEGORINI, R. G. K. I. A gestão dos biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto doméstico. **Engenharia e Construção**, n. 24, Curitiba, 1998.
- ANDREOLI, C. V.; TAMANIN, C. R.; HOLSBACH, B.; PEGORINI, E. S.; NEVES, P. S. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: Biossólidos -Alternativas de uso de resíduos do saneamento. **Editora ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental)**, Rio de Janeiro, 2006.
- ANDREOLI, C.V., PEGORINI, E.S., FERNANDES, F. **Disposição do lodo de esgoto no solo**. In: ANDREOLI, C. V., SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coords.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. DESA/UFGM, SANEPAR. v. 6, p. 319-395, 2001.
- ANJOS, A. R. M. dos; MATTIAZZO, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolos tratados com biossólido e cultivado com milho. **Scientia Agricola**, v. 58, n.2, p.337-344, abr./jun. 2001.
- ASPLAN. Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba. Disponível em: < <http://asplanpb.com.br/>> Acesso em 10 de janeiro de 2017.
- BAER, W. A industrialização e o desenvolvimento econômico do Brasil. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1965.
- BARNETO, A. G. et al. Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 86, n. 1, p. 108-114, 2009.

- BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J. 1992. Avaliações agronômicas de cultivares de capim-
elefante em duas regiões fisiográficas do Estado de Minas Gerais. *Pesq.
Agropecu. Bras.*, 27(6):835-839.
- BRASIL. Lei n 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos
Sólidos; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras
providências. Disponível em:
<www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 19
jun. 2018.
- BRASIL. Resolução CONAMA n 375, de 29 de agosto de 2006. Resoluções vigentes
publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. Ed./ Conselho Nacional
do Meio Ambiente. – Brasília: Conama, 2008. Define critérios e procedimentos,
para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de
esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível
em:< www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 17 de
agosto 2018.
- BRASIL. Resolução n 375, de 29 de agosto de 2005. Define critérios e procedimentos,
para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de
esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível
em: < www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 28
de novembro 2018.
- BRIERGES, F. O; PARANHOS, S. B. Cultura e adubação da cana de açúcar. Anais do
Instituto Brasileiro de Potassa, 1964.
- CALDAS, C. Novo Manual para Laboratórios Sucroalcooleiros. Técnicos Açucareiros e
Alcooleiros do Brasil. Piracicaba, 2012. 744p.
- CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on
chemical properties of acid soils. *Soil Sci.*, Ed. 156, p. 63-70, 1993.
- CETESB-COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO.
AMBIENTAL. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado
de São Paulo (Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005).
São Paulo, 2005.
- CHEN, J. C. P.; CHOU, C. Cane Sugar Handbook. A manual for cane sugar
manufacturers and their chemists. 12nd.ed. New York John Wiley & Sons, 1993.
- CLIMATE-DATA. Clima: Pedras de Fogo. Disponível em: [https://pt.climate-
data.org/location/42653/](https://pt.climate-data.org/location/42653/). Acesso em 12 julho de 2018.

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Cana de açúcar. Safra 2015/2016, 2015.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Cana de açúcar. Safra 2016/2017, 2018.
- CORTEZ, L. A. B.; JUNIOR, R. B.; ALMEIDA, E. Energia da cana-de-açúcar. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Eds). Bioenergia e Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais -. Viçosa: 2013. p 17-58.
- COSTA, M. C. G. Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- CRUZ, S. H. Bagaço e palha da cana de açúcar são fontes de celulose para gerar álcool. Disponível em: WWW.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va08-materias-primas03.pdf Acesso em 17 de dezembro de 2016.
- EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Silagens: do cultivo ao silo. Lavras, Editora UFLA, 2ª ed., 210p, 2002.
- FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. 460p.
- FORNAZIERI JUNIOR, A. et al. Manual Brasil Agrícola: principais produtos agrícolas. **San Martin-SP: Ícone**, p. 381-390, 1999.
- FREITAS, K.R. Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil. 2002. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- GERMEK, H. A. Análise de decisão sobre o aproveitamento do palhiço da cana de açúcar, posto na unidade industrial, para fins de cogeração. Universidade Estadual Júlio Mesquita Filho – Campus Botucatu, 2005.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Ed 3. ren. e amp., 2.reimpr. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 400p. GOMES, F.P; LIMA,U.A. A cana de açúcar no mundo. In: Cultura e adubação da cana de açúcar. Instituto Brasileiro de Potassa – São Paulo, 1964.
- GOMIDE, J. A. 1994. Formação e utilização de capineira de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M., ALVIM, M.J., XAVIER, D.F. (Eds.).Capim-elefante: produção e utilização. Coronel Pacheco, MG: Embrapa-CNPGL. p.81-115.

- GUIMARÃES, A. C. R. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) submetidas a déficit hídrico**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimation of potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, Nova Iorque, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982.
- INSA – Instituto Nacional do Semiárido. Manejo de Irrigação utilizando o modelo de Hargreaves e Samani. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013, 10p.
- JACQUES, A. C. A. Caracteres morfológicos e suas implicações no manejo. In: CARVALHO, M. M. et al. **Capim – elefante produção e utilização**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 1997. P 31 – 46.
- KHAI, N. M. **Effects of using wastewater and biosolids as nutrient sources on accumulation and behaviour of trace metals in Vietnamese soils**. 2007. 71p. Tese (Doutorado) - Universidade Sueca de Ciências Agrícolas.2007. Uppsala: 2007.
- LAMBAIS, M. R.; CARMO, J. B. do. Impactos da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1129-1138, 2008.
- LIMA, E. S.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; ANDRADE, E. N.; DEMINICIS, B. B.; MORAIS, J. P. G.; COSTA, D. P. B.; ARAÚJO, S. A. C. Características agronômicas e nutritivas das principais cultivares de capim-elefante do Brasil. *Veterinária e Zootecnia*, Set., p. 324-334, 2010.
- LOPES, B. A. O capim-elefante. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Viçosa, 2004, 66 p.
- LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do distrito federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 153-162, 2000.
- MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; COSTA, N. L.; PINTO, M. S. C.; FILHO, W. J. E.M. Influência da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. *REDVET: Revista eletrônica de veterinária*, vol. 10, nº 4, 13 p, 2009.

- MALTA, T. S. Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ. 2001. 68 p. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.
- MARTINELLI, U.A.; PERON, A.P.; MARTINS, E.P.; SCHARF, M.; BUDAG, N.; MENEZES R. R.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C., O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n. 2, p. 303-313, 2002.
- MATSUOKA, S. Relatório anual do programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Araras, UFSCar, CCA, DBV, 2000.
- MELO, W. J.; MARQUES, M .O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 109-141, 2000.
- MORI, P.; REEVES, S.; CORREIA, C. T. & HAUKKA, M. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, Sao Paulo University. **Revista Brasileira de Geociência**. 29:441-446, 1999.
- NEVES, T. I. **Aproveitamento energético do biossólido gerado por indústria têxtil como fertilizante para produção de capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach) Morrone**. Dissertação. CEAR/UFPB. João Pessoa, 2017.
- OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Ed. 26, p. 505-519, 2002.
- OLIVEIRA, J. R. S. **Qualidade de solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos**. Dissertação de mestrado da Universidade Rural de Pernambuco. Recife, 2016.
- PAEZ, D. **Utilização do lodo de esgoto na produção de mudas e no cultivo de eucalipto**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.
- PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. Bauru, 180p. Dissertação “mestrado em engenharia” - Faculdade de Engenharia, Campos de Bauru, Universidade Estadual Paulista. 2006.

- PEDROZA, M. M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, 2010.
- PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA J. F; PICKLER A. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 89-188, jul./dez. 2010.
- PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. **Características e Sistemas de Tratamento de Águas Residuais das Indústrias Têxteis – Uma Primeira Abordagem**. Química Têxtil, p. 22 – 39, 1998.
- POGGERE, G. C., SERRAT, B. M., MOTTA, A. C. V., BITTENCOURT, S., DALPISOL, M., & ANDREOLI, C. V. Lodos de esgoto alcalinizados em solos do estado do Paraná: taxa de aplicação máxima anual e comparação entre métodos para recomendação agrícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 17(4), 429-438. 2012.
- RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de pré tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana de açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. Tese de doutorado em Engenharia Química. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- ROCHA, F. C.; GARCIA, R.; FREITAS, A. W. P. et al. Amonização sobre a composição química e digestibilidade da silagem de capim – elefante. **Revista Ceres**, viçosa, n. 53, p. 228-233, 2006.
- RODRIGUES, D; ORTIZ, L. Em direção a sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil. 2006. Disponível em: < [HTTP://www.vitaecivilisorg.br/anexos/etanol_sustentabilidade.pdf](http://www.vitaecivilisorg.br/anexos/etanol_sustentabilidade.pdf)> Acesso em: 14 de junho de 2018.
- RODRIGUES, L. D. A cana de açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação. Juiz de Fora – MG, 2010. Especialização.
- ROSSETO, R. Árvore do conhecimento cana de açúcar maturação.2012. Disponível em < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 28 de novembro de 2018.
- SANTOS C. H.; FILHO, H.G.; SANTOS, J.C.; PENTEADO, B.B. Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras ‘Ponkan’ manejados com resíduos sólidos e adubação química, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.1, p.75–83, 2011.

- SANTOS et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025 > Acesso em 01 de dezembro de 2018.
- SANTOS et al. Produção de Enatol Celulosico a partir da cana de açúcar. In: Bioenergia e Biorrefinaria: Cana de açúcar e espécies florestais. Viçosa, MG: Os Editores, 2013.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.
- SELIVANOVSKAYA, S.Y.; LATYPOVA, V.Z.; ARTAMONOVA, L.A. Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. *Journal of Environmental Science and Health – Part A*, v. 38, n. 8, p. 1549-1556, 2003.
- SILVA, C. S. Aproveitamento energético de biossólido industrial têxtil na produção canavieira. Dissertação. CEAR/UFPB. João Pessoa, 2018.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.
- SILVA, J. E., Resck, D. V. S., & Sharma, R. D. (2002). Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, 487–495.
- SOARES, J. S. M. Caracterização estrutural e funcional da proteína udp-glucose pirofosforilase envolvida na biossíntese e acúmulo de sacarose em cana de açúcar. 2013, 112 p. Tese (Doutorado em Biologia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
- SOUSA, E. R. Noções sobre qualidade da água. Monografia em Engenharia Cível – Lisboa, Portugal, 2001.
- STACHIW, R. Modelagem e Simulação do Processo de adsorção de compostos orgânicos em xisto retornado. Tese (Doutorado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005, 207 p.

- STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- TCACENO, F. A.; BOTREL, M. A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim - elefante. In/: CAVALHO, M. M. et al. **Capim – elefante produção e utilização**. 2. ed. Brasília: Emprapa, 1997. P 1 – 30.
- UNICA. União da Indústria da Cana de Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>> Acesso em 27 de janeiro de 2017. São Paulo, Brasil, 2016.
- VALSECHI, O; OLIVEIRA, E.R. A cana de açúcar como matéria-prima. In: Cultura e adubação da cana de açúcar. Instituto Brasileiro de Potassa – São Paulo, 1964.
- VASCONCELOS, J. N. Derivados da cana-de-açúcar. STAB: açúcar, álcool e subprodutos, v. 20, n. 3, p. 16-18, 2002.
- VITTI, G. C. et al. Nutrição e adubação da cana de açúcar. 2005. Disponível em <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 28 de novembro de 2018.

ANEXO 1

ANEXO 1: Descrição do perfil do solo da área de estudo

IDENTIFICAÇÃO: P01ASD PROJETO: Dissertação: Impacto Energético e no Solo do uso de Biossólido industrial na produção da Cana-de-açúcar e do Capim-elefante

DATA: 02-Jun-17

CLASSIFICAÇÃO: Espodossolo Ferri-humilúvico órticos espessarênico.

LOCALIZAÇÃO: Área pertencente a PB AMBIENTAL, saindo de João Pessoa via BR 101 sentido Pedras de Fogo Via PB 032, Pedras de Fogo-PB, S07°19'59,6'' W035°03'55,2'', 25 M 0272000 UTM 9188888;

SITUAÇÃO: planície, 0-3, capim brachiaria.

ALTITUDE (m): 168,00.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E

CRONOLOGIA: Sedimentos arenosos, Formação Barreiras, Terciário

MATERIAL DE ORIGEM: Solo alóctone.

PEDREGOSIDADE: não pedregosa.

ROCHOSIDADE: não rochosa.

RELEVO LOCAL: plano.

RELEVO REGIONAL: suave ondulado.

EROSÃO: não aparente, laminar.

DRENAGEM: mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: floresta subcaducifolia ou cerrado tropical subcaducifólio

USO ATUAL: Experimento de campo.

DESCRITO E COLETADO POR: Professor Roseilton Fernandes dos Santos, Alex Santos de Deus, Ian Victor de Almeida, Ruanna Ribeiro Borges.

Ap - 0-25 cm: Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seca); Cinzento muito escuro (10YR 3/1, umida); areia; grãos simples; solta, solta, não plastica, não pegajosa; poros muito pequenos, abundantes; transição plana, clara;

A2 - 25-75 cm: Cinzento-claro (10YR 6/1, seca); Cinzento-escuro (10YR 4/1, umida); areia; grãos simples; solta, solta, não plastica, não pegajosa; poros muito pequenos, abundantes; transição plana, clara;

E - 75-150 cm: Branco (10YR 8/2, seca); Cinzento-claro (10YR 6/1, umida); areia; grãos simples; solta, solta, não plastica, não pegajosa; poros muito pequenos, pequenos, abundantes; transição plana, clara;

Bh - 150-200 cm: Bruno (10YR 5/3, seca); Bruno-escuro (10YR 4/3, umida); areia; grãos simples; solta, solta, não plastica, não pegajosa; poros pequenos, comuns; transição plana, clara;

Bsm - 200+ cm: Amarelo (10YR 7/8, seca); Amarelo-brunado (10YR 6/8, umida); Amarelo-brunado (10YR 6/8, umida amassada); areia franca; moderada, grande, muito grande, blocos angulares, blocos subangulares; extremamente dura, extr. firme, não plastica, não pegajosa; poros pequenos, comuns;

OBSERVAÇÕES:

OBS 01: No dia da descrição morfológica e amostragem de solos do perfil constatou-se que havia chovido muito no local nos dias anteriores;

OBS 02: No horizonte Bsm observou-se também a presença do horizonte plácico. Foi coletado fragmento deste horizonte para análises de micromorfologia, FRX, DRX e MEV.

OBS 03: Consultar as páginas 425 a 432 do BT n° 15 (Brasil, 1972) sobre ocorrência de PODZOL Hidromórfico na Paraíba, incluindo características físico-químicas e mineralógicas.