



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



CLEITON DE SOUZA SILVA

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIODSÓLIDO
INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO CANAVIEIRA**

JOÃO PESSOA - PB
2018

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO

CLEITON DE SOUZA SILVA

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOSSÓLIDO INDUSTRIAL NA
PRODUÇÃO CANAVIEIRA**

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, linha de pesquisa em Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Raphael Abrahão

**JOÃO PESSOA - PB
2018**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Cleiton de Souza.

Aproveitamento energético de biossólido industrial na produção canavieira / Cleiton de Souza Silva. - João Pessoa, 2018.

83 f. : il.

Orientação: Raphael Abrahão.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Energias renováveis. 2. Biossólido industrial. 3. Cana-de-açúcar - Produção. I. Abrahão, Raphael. II. Título.

UFPB/BC

CLEITON DE SOUZA SILVA

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BISSÓLIDO INDUSTRIAL NA
PRODUÇÃO CANAVIEIRA**

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, linha de pesquisa em Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético, para a obtenção do título de Mestre.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Claudio Augusto Uyeda – Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) – examinador externo

Profa. Dra. Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes - Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – examinadora interna

Prof. Dr. Raphael Abrahão – Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – orientador

Suplentes

Prof. Dr. Pablo Aurélio Lacerda de Almeida Pinto – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - examinador externo

Profa. Dra. Kelly Cristiane Gomes da Silva – Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) - examinadora interna

**JOÃO PESSOA - PB
2018**



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA n° 30 da Sessão de Defesa Dissertação do Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.

Ao vigésimo oitavo dia do mês de fevereiro de dois mil e dezoito foi instalada a Banca de Defesa de Dissertação do Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, às 14:00h (quatorze horas) na SALA DE MULTIMÍDIA DO BLOCO C (CCHLA), a que se submeteu a defesa pública CLEITON DE SOUZA SILVA, matrícula 20161007030, com o título "APROVEITAMENTO ENERGETICO DE BIODISSOLIDO INDUSTRIAL NA PRODUCAO CANAVIEIRA". A Comissão Examinadora esteve constituída pelos professores: RAPHAEL ABRAHAO (UFPB), RIUZUANI MICHELLE BEZERRA PEDROSA LOPES (UFPB) e CLAUDIO AUGUSTO UYEDA (IFPE). Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, o candidato foi aprovado pela Comissão Examinadora. E, para constar, foi lavrado a presente ata, assinada pelos membros da Comissão.

Observações: O aluno deve seguir todas as sugestões apresentadas pela banca em no máximo 45 dias.

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Raphael Abrahão
Orientador

Prof. Dra. Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa
Lopes
Examinador

Prof. Dr. Claudio Augusto Uyeda
Examinador

A minha família, pois sem a compreensão e o carinho que
recebi destes, nunca teria
chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me proporcionar o dom da vida.

A minha família, em especial aos meus pais que sempre esteve ao meu lado apoiando e acreditando nos meus sonhos.

A minha esposa Yara, por ter vivenciado todas as etapas desse trabalho, ajudando-me e apoiando em tudo.

Ao professor Raphael Abrahão, por ser um orientador presente, dedicado e paciente na construção do conhecimento.

Ao professor Claudio Augusto Uyeda, pela contribuição de saberes e conhecimentos que enriqueceram o trabalho.

A professora Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes, pela contribuição valiosa nas estatísticas do trabalho e sobretudo, pela paciência e incentivo.

Ao amigo Talles Iwasawa, pela contribuição nos trabalhos, no desenvolvimento do experimento e incentivo.

Ao amigo Alex de Deus, pela contribuição nas análises de solo.

A todos professores e colegas do CEAR, em especial a Susane Eterna, Dayse Nascimento e Cintia Medeiros pela amizade e incentivo.

A PB Ambiental pela disponibilidade da área para o experimento e financiamento dos custos do mesmo.

Ao amigo Robson Monteiro, gestor da PB Ambiental pelo apoio para o desenvolvimento do experimento.

A equipe da PB Ambiental, na pessoa do amigo Carlinhos, pela ajuda durante todo o período experimental.

Ao CTDR, na pessoa do professor Fábio Resende, por ter contribuído com as análises da pesquisa.

E a todos, que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho acadêmico, meu muito obrigado.

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil onde tudo que se planta dá, pode secar; que o chão que dá frutas e flores pode dar ervas daninhas; que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e destruição. O homem precisa entender que da sua boa convivência com a natureza depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza, a sua origem e o seu fim.”

Autor desconhecido

RESUMO

O bio sólido é um resíduo que pode ser utilizado na agricultura com fins fertilizantes. Até 2010, este resíduo era destinado principalmente aos aterros sanitários no Brasil. No entanto, com a lei brasileira 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ficou proibida a destinação do bio sólido aos aterros. O bio sólido é um resíduo rico em nutrientes e matéria orgânica, podendo ser aproveitado para fertilização em diversas culturas agrícolas. O presente estudo busca entender os benefícios que o bio sólido pode trazer à cana-de-açúcar, uma cultura que põe o Brasil em primeiro lugar no ranking mundial de produção. Para isto, foi realizado um experimento na fazenda experimental na cidade 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 bio sólido recomendada pela Resolução CONAMA 375/06, com três repetições cada, totalizando 18 (dezoito) parcelas experimentais. Foi utilizada a variedade RB 92579 de cana-de-açúcar. Além das análises realizadas diretamente com a cana-de-açúcar, buscou-se entender também os efeitos que o bio sólido pode agregar ao solo, investigando as possíveis perdas ou ganhos físico-químicos e a possível contaminação por metais pesados. Diante dos resultados obtidos, pode-se constatar que a maior dosagem de bio sólido trouxe ganhos significativos sob o ponto de vista da maturação, biomassa, e produção da cana-de-açúcar.

Palavras-Chave: Cana-de-açúcar, Lodo, Produtividade, Fertilidade.

ABSTRACT

Biosolid is a residue that can be used in agriculture for fertilizer purposes. Until 2010, this waste was mainly destined to landfills in Brazil. However, under Brazilian law 12,305 / 2010, which instituted the National Solid Waste Policy, the disposal of biosolids to landfills was prohibited. Biosolid is a residue rich in nutrients and organic matter, and can be used for fertilization in various crops. The present study seeks to understand the benefits that biosolids can bring to sugarcane, a culture that puts Brazil first in the world ranking of production. For this, an experiment was carried out at the experimental farm in the city of Pedras de Fogo-PB. The experimental design was a randomized complete block design, consisting of 6 (six) treatments: without fertilization, conventional fertilization, 1x, 2x, 4x and 8x the dose recommended by CONAMA Resolution 375/06, with three replicates each, totaling 18 (eighteen) experimental plots. The variety RB 92579 of cane was used. In addition to the analyzes carried out directly with sugarcane, it was also sought to understand the effects that biosolids can add to the soil, investigating possible losses or physical-chemical gains and possible contamination by heavy metals. Considering the results obtained, it can be seen that the higher biosolids dosage resulted in significant gains from the point of view of ripening, biomass, and sugarcane production.

Key words: Sugarcane, Sludge, Productivity, Fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Representação esquemática do delineamento experimental.....	34
Figura 3.1: Representação esquemática da produção de etanol celulósico.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Tipos e processos de tratamentos de efluentes	20
Tabela 1.2: Composição físico-química de lodo gerado por indústria têxtil	21
Tabela 2.1: Quantidade de biossólido aplicada ao cultivo da cana-de-açúcar no experimento desenvolvido	35
Tabela 2.2: Estabilização do estágio de maturação da cana-de-açúcar	40
Tabela 2.3: Análise química do solo	40
Tabela 2.4: Caracterização físico-química do biossólido utilizado no experimento	41
Tabela 2.5: Análise química do solo após o experimento	42
Tabela 2.6: Teste estatístico de análise de variância do resultado obtidos do índice de maturação da cana-de-açúcar.....	43
Tabela 3.1: Resultado da obtenção de etanol de segunda geração da palha da cana-de-açúcar em °GL	54
Tabela 3.2: Resultado da obtenção de etanol de segunda geração do bagaço da cana-de-açúcar em °GL	55
Tabela 3.3: Teste estatístico de análise de variância dos resultados obtidos do etanol de segunda geração proveniente da palha e do bagaço da cana-de-açúcar em °GL	56
Tabela 4.1: Teste estatístico de análise de variância dos resultados obtidos a partir de diferentes tipos e dosagens de fertilização para a cana-de-açúcar (altura, talos, brix, biomassa e fibra)	64
Tabela 4.2: Teste estatístico de análise de variância dos resultados obtidos a partir de diferentes tipos e dosagens de fertilização para a cana-de-açúcar (umidade, pol, pureza, ar, art e turbidez)	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos
ASPLAN – Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cu – Cobre
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
Fe – Ferro
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFA – Associação Internacional de Fertilizantes
K - Potássio
KCl - Cloreto de potássio
kg – Quilograma
Mn – Manganês
N - Nitrogênio
NBR – Norma Brasileira
P - Fósforo
P₂O₅ – Pentóxido de fósforo
PB - Paraíba
pH – Potencial hidrogeniônico
POPS – Poluentes Orgânicos Persistentes
PPGER – Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis
RB – Ridesa Brasil
SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná
UNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar
Zn – Zinco

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	13
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	
1.1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1.1 Objetivos.....	18
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
1.2.1. A produção de biossólido na indústria têxtil.....	18
1.2.2. Caracterização do biossólido gerado.....	21
1.2.3 Tratamento do lodo gerado.....	22
1.2.4 Fertilizante x Biossólido.....	22
1.2.5 O uso de biossólido na agricultura.....	24
1.2.6 Legislação vigente para o uso do biossólido na agricultura.....	26
1.2.7 Cultura da Cana-de-açúcar.....	27
 CAPITULO 2: ARTIGO: Consequências do uso do biossólido para o solo e a maturação da cana-de-açúcar	
2.1. INTRODUÇÃO.....	31
2.2. METODOLOGIA.....	33
2.2.1. Área experimental.....	33
2.2.2. Taxa de aplicação do biossólido	34
2.2.3 Taxa de aplicação do fertilizante comercial.....	36
2.2.4 Método de plantio	36
2.2.5 Irrigação.....	37
2.2.6 Coleta e processamento das análises de solo	39
2.2.7 Determinação do estágio de maturação.....	39
2.2.8 Análises estatísticas	40
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
2.3.1 Análise do solo	40
2.3.2. Taxa de aplicação e estabilização do biossólido	41
	14

2.4. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
CAPÍTULO 3: ARTIGO: Aproveitamento energético dos resíduos oriundos da cana-de-açúcar para obtenção de etanol de segunda geração com aplicação de biossólido	
3.1. INTRODUÇÃO.....	49
3.2. METODOLOGIA.....	51
3.2.1. Análise estatística	54
3.3. RESULTADOS e DISCUSSÃO	54
3.4. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
CAPÍTULO 4 - ARTIGO: Análise da produtividade da cana-de-açúcar sob aplicação de biossólido e fertilizante comercial	
4.1. INTRODUÇÃO.....	62
4.2. METODOLOGIA.....	63
4.2.1 Análise estatística	64
4.3. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	64
4.4. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO	73

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO

O crescimento industrial em áreas urbanas causa grandes impactos sociais, ambientais e econômicos, 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 (STACIHW, 2005). As indústrias que têm algum tipo de despejo líquido em qualquer corpo hídrico, para atenderem a 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.

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 12305/10 – 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, biomassa para queima, entre outros.

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 bio-sólido. Pesquisas vêm demonstrando que a aplicação de lodo de esgoto em solos tropicais beneficia a produtividade e o rendimento em sacarose da cultura da cana-de-açúcar (SILVA *et al.*, 1998). É interessante estudar se a adubação com tais resíduos pode ser comparável à adubação mineral em termos de produtividade e qualidade dessa cultura.

A presente dissertação de mestrado 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 da dissertação,

seguida dos objetivos e da revisão bibliográfica. Os capítulos seguintes são artigos científicos em processo de publicação ou já publicados. Esses artigos são independentes, mas estão estritamente relacionados, já que tratam do mesmo tema geral da dissertação.

1.1. Objetivos

Estudar a viabilidade da disposição do biossólido produzido pela Estação de Tratamento de Efluentes – ETE, de uma indústria têxtil do polo industrial de João Pessoa/PB no solo, como potencial fonte de nutrientes e matéria orgânica para o plantio de cana-de-açúcar.

- Avaliar os potenciais ganhos físico-químicos no solo com a aplicação do biossólido, verificando o potencial de contaminação do solo com a aplicação do biossólido;
- Avaliar e comparar a produção e o ganho energético da cultura da cana-de-açúcar com o uso do biossólido como fertilizante e também com o uso de fertilizante comercial;
- Investigar os efeitos da aplicação do biossólido no cultivo da cana-de-açúcar através de diferentes parâmetros (altura, talos, BRIX, biomassa, fibra, umidade, POL, pureza, AR, ATR).

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. A produção do biossólido na indústria têxtil

No processamento industrial têxtil, o setor de beneficiamento do produto é o maior responsável pela geração de efluentes líquidos. Devido a uma legislação ambiental mais rígida e cobranças da sociedade civil pelos seus direitos, vem se criando a necessidade de mudança nessa questão (FREITAS, 2002). De acordo com Neves (2017), como o consumo de água é grande em seu processo, surge a necessidade de fazer um uso mais racional desse elemento, principalmente nos locais onde o consumo é maior (beneficiamento do produto). Os despejos industriais líquidos correspondem a maior parte dos despejos do setor têxtil e em resumo originam-se nas etapas de: tinturarias de fios e tecidos, estamparia, lavanderia, engomadeiras e toda a parte restante do beneficiamento onde se utiliza água.

Para Hassemer e Sens (2002), o processamento têxtil é gerador de grande quantidade de despejos altamente poluidores, devido à alta carga orgânica, cor acentuada em decorrência do uso dos corantes e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Os processos e despejos gerados pelo setor variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos e novas técnicas, e também de acordo com a

demanda do consumo por outros tipos de tecidos e cores. Numerosas operações são necessárias a fim de dar ao tecido o máximo de propriedades, gerando assim, em cada etapa, diferentes despejos, principalmente os despejos hídricos (HASSEMER; SENS, 2002).

Os efluentes líquidos oriundos da indústria têxtil em sua maioria são tóxicos e geralmente não biodegradáveis e também resistentes ao processo de tratamento físico-químico. Essa não biodegradabilidade se deve ao alto consumo de corantes, surfactantes e aditivos nos processos têxteis que geralmente são compostos orgânicos de estruturas grandes e complexas (LEDAKOWICZ; GONERA, 1999).

Na ETE realizam-se operações físicas, químicas e biológicas, ou até mesmo uma combinação destas, utilizando-se de tratamentos primários, secundários e terciários com o objetivo de remover estas partículas e poluentes, diminuindo assim os sólidos totais, turbidez, cor, tentando oxidar química e biologicamente essas substâncias, eliminando ou reduzindo consideravelmente a toxicidade destas (FREITAS, 2002).

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.

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
	Químico	Coagulação/Precipitação Ozonização Cloração
Terciário	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
	Físico	Osiose reversa Evaporação

Fonte: Peres e Abrahão (1998).

A indústria têxtil conta com estações de tratamento de efluentes, as ETE's, que são responsáveis pelo tratamento das águas residuárias de acordo com o que a legislação aponta. Para que as águas residuárias possam ser aproveitadas ou mesmo despejadas em algum corpo hídrico, elas necessitam passar por processos de tratamento e estes geram resíduos sólidos. O mais significativo é um resíduo semissólido, pastoso e de natureza orgânica, chamado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

De acordo com levantamentos realizados em diversos países, a produção de lodo em uma ETE varia de 1 a 2% do total do volume de efluente tratado e seu tratamento e disposição final onera de 30 a 50% dos custos operacionais da estação (SANEPAR, 1999).

A indústria têxtil é caracterizada por ser uma das maiores consumidoras de água dentre os segmentos industriais existentes, além de também ser uma das maiores produtoras de lodo oriundo de ETE's (ASIA *et al.*, 2006). Segundo Knuth (2001), estudos realizados em várias ETE's têxteis do estado de Santa Catarina indicam uma produção de 5,0 kg lodo/m³ de efluente tratado, representando uma produção aproximada de 30 mil toneladas de lodo mensais.

1.2.2. Caracterização do biossólido gerado

Segundo Bettiol e Fernandes (2004), a composição química do lodo depende do local onde foi gerado (ETE's de diferentes indústrias ou de esgoto doméstico), do sistema de tratamento empregado e de fatores sazonais.

O lodo biológico gerado por ETE's de indústria têxtil tem variadas composições, possuindo teores altos de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes, com a possibilidade de conter metais pesados e substâncias tóxicas, uma vez que são utilizados vários produtos químicos nos processos têxteis (BORGES, 2008). Corantes com metais pesados e agentes patogênicos são outros componentes constantes em sua composição (BALAN; MONTEIRO, 2001; MARTINELLI *et al.*, 2002).

Colanzi e Pietrobon (2002) relatam que nos lodos têxteis ocorre alta presença de alumínio, ferro, sódio e silício. Os mesmos autores realizaram uma caracterização térmica desse resíduo, obtendo resultados satisfatórios para o calor específico e condutividade térmica do mesmo.

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

Tabela 1.2. Composição físico-química de lodo gerado por indústria têxtil.

Parâmetros	Resultados
DQO (mg/L)	39326
Densidade (g/mL)	1,09
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 (%)	11,5
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).

1.2.3. Tratamento do lodo gerado

Mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias que venham a diminuir a produção de lodo em ETE's, a tendência é um alto crescimento de sua produção com o surgimento de novas estações. Essa questão da geração e produção de lodo e sua disposição talvez seja o problema mais complexo que a engenharia sanitária tenha para resolver (ANDREOLI *et al.*, 2006). Normalmente, o tratamento é feito a partir de uma ou mais das seguintes etapas (CASSINI, 2003):

1. Adensamento: redução da umidade e volume;
2. Estabilização: redução da matéria orgânica e consequente redução dos sólidos voláteis;
3. Condicionamento: preparação para desidratação;
4. Desidratação: redução adicional da umidade e volume;
5. Disposição final: destinação final do subproduto após desidratação.

O tratamento do lodo é realizado a partir de processos físico-químicos e biológicos com o objetivo de gerar um lodo mais estável e com menor volume, com vistas a reduzir os custos dos processos de tratamento e disposição, além de facilitar o seu manuseio (PEDROZA *et al.*, 2010).

1.2.4. Fertilizante x Biossólido

Segundo Gomes *et al.* (2014), o Brasil é o sexto maior produtor e o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo. Segundo dados da ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), em 2007 o Brasil produziu somente 36% dos fertilizantes que consumiu, sendo o restante importado (ANDA, 2008).

Segundo Maya (2003), os fertilizantes são compostos químicos utilizados na agricultura para aumentar a quantidade de nutrientes do solo e, consequentemente, conseguir um ganho de produtividade. Apesar do fertilizante proporcionar melhoria na produtividade, sabe-se que, o seu uso indiscriminado pode causar problemas como: a degradação da qualidade do solo, a poluição das fontes de água e da atmosfera e aumento da resistência de pragas. Além disso, o processo produtivo dos fertilizantes é muito impactante por demandar um grande aporte energético e por explorar recursos naturais não renováveis (GOMES *et al.*, 2014).

Existem dois grandes grupos de fertilizantes: os inorgânicos e os orgânicos; ambos podem ser naturais ou sintéticos. Os inorgânicos mais comuns levam nitrogênio, fosfatos, potássio, magnésio ou enxofre e a maior vantagem desse tipo de fertilizante está no fato de

conter grandes concentrações de nutrientes que podem ser absorvidos quase que instantaneamente pelas plantas, já os orgânicos, segundo Eckhardt (2015), possibilita a reciclagem de resíduos de atividades agropecuárias (restos vegetais, esterco, alimentos em decomposição, entre outros). Esta atividade tem dois pontos favoráveis principais: a transformação de resíduos com pouca ou nenhuma destinação em fertilizantes orgânicos e a utilização destes fertilizantes orgânicos na produção agrícola, reduzindo os custos de produção.

Em relatório apresentado durante a Rio+20, o IBGE descreveu o crescimento do uso de fertilizantes no Brasil. Entre os anos de 1992 e 2012, o consumo por área mais que dobrou, pulando de 70 quilos por hectare para 150 quilos por hectare (IBGE, 2012). Segundo a Petrobras, 70% dos fertilizantes nitrogenados são importados de países como a Rússia e os EUA. Da produção nacional, a empresa é responsável por 60% (PETROBRAS, 2015).

Segundo Ribeiro (2009), a indústria de fertilizantes nitrogenados utiliza-se de gás natural, onde 65% do total são utilizados nos processos de obtenção da amônia, matéria-prima responsável pela produção de todos os fertilizantes nitrogenados, o restante (35%) como combustível para gerar vapor e eletricidade para o restante do processo; petróleo como fonte de hidrogênio e enxofre como fonte para obtenção de ácido sulfúrico. Já os fertilizantes potássicos, utilizam-se em sua síntese de combustíveis fósseis, energia elétrica e térmica, através principalmente da queima da lenha, no processo de lavra, beneficiamento da rocha fosfática e na produção de ácido sulfúrico (MONTEIRO, 2008).

Os fertilizantes nitrogenados estão entre os utilizados em maior quantidade e são os que causam maior impacto ambiental. De acordo com a Associação Internacional de Fertilizantes (IFA), a produção desses compostos é responsável por 94% do consumo de energia de toda produção de fertilizantes. Os principais combustíveis utilizados são o gás natural (73%) e o carvão mineral (27%), ambos fósseis, cujas emissões de dióxido de carbono (CO₂) contribuem com o processo de desequilíbrio do efeito estufa, logo, favorecem o processo de aquecimento global. A fabricação consome aproximadamente 5% da produção anual de gás natural (IFA, 2000).

De acordo com Maya (2003), o nitrogênio é extremamente importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, causando a atrofia quando ausente. Na atmosfera, é encontrado na forma de N₂ (não metabolizável por plantas ou animais), e de outras moléculas, como o NO⁻ não metabolizável por plantas ou animais. Os principais fertilizantes

de nitrogênio são a amônia e seus derivados, como a ureia e o ácido nítrico, que proporcionam um nitrogênio de forma assimilável para as plantas.

Por ser gerado em larga escala, o bio sólido produzido a partir de ETE's é uma fonte constante de preocupação no que se refere à contaminação ambiental (ROCHA *et al.*, 2003). O bio sólido é caracterizado por alterar as propriedades físicas do solo, melhorando sua densidade, porosidade e capacidade de retenção de água. 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; e ainda por conter em sua constituição teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, promove o crescimento de organismos no solo, fundamentais para a ciclagem dos elementos (MALTA, 2001).

Para Andraus *et al.* (1997), a compreensão do comportamento do bio sólido no solo e sua influência na qualidade sanitária das plantas proporcionará maior confiabilidade na sua utilização, garantindo que a biota, assim como as características físicas e químicas do solo, não sejam prejudicadas. A interação do bio sólido com a biota do solo deverá ser um fator fundamental na redução do nível de patógenos do produto. Portanto é aconselhável que o tratamento de efluentes para fins de produção agrícola seja realizado até o nível secundário, pois neste nível, apesar de haver significativa redução da carga orgânica, existirá ainda uma elevada concentração de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas agrícolas (SILVA *et al.*, 2012).

ROCHA *et al.* (2003) também destacam que apesar da importância da reciclagem do bio sólido como fonte de nutrientes, os resultados de trabalhos realizados revelam a necessidade de seleção de indicadores de sanidade rigorosos que permitam o uso seguro deste adubo.

1.2.5. O uso do bio sólido na agricultura

O reaproveitamento de efluentes tratados não é uma prática nova, no entanto, há um interesse crescente em relação à necessidade de sua reutilização, principalmente na agricultura (KUMMER, 2013).

Segundo Santos e Rodella (2007), 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 socioambiental.

Segundo Chiba (2005), a utilização de bio sólido em áreas agrícolas parece ser uma alternativa bastante promissora, pois resulta em duplo benefício: o ecológico referente à devolução ao solo do carbono orgânico e dos nutrientes utilizados para a produção de biomassa vegetal que são exportados para os centros urbanos e o beneficiamento social pela possibilidade de aumento da produtividade das culturas e menor impacto sobre o meio ambiente, esta última, em comparação às outras possibilidades de descarte do resíduo.

Folegatti (1999) cita as seguintes vantagens: controle da poluição, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes, aumento da produtividade agrícola e melhoria da qualidade dos solos; e como limitações são mencionadas: contaminação microbiológica de produtos, bioacumulação de elementos tóxicos, salinização e impermeabilização do solo, desequilíbrio de nutrientes no solo, e possível lixiviação de nitrato.

Ferreira e Andreoli (1999) relatam que a reciclagem agrícola do bio sólido é de baixo custo e apresenta impacto ambiental positivo porque promove o retorno dos nutrientes ao solo, fechando o ciclo dos elementos, quando realizado 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, há necessidade de se adicionar este elemento ao solo na forma de adubos minerais (BETTIOL; CAMARGO, 2001).

Os bio sólidos são, de uma maneira geral, fertilizantes nitrogenados. Além do N, o bio sólido contém P e micronutrientes essenciais, como Fe, Cu, Mn e Zn. Normalmente a concentração de K é baixa para suprir as necessidades das culturas agrícolas. Quando aplicado em taxas agronômicas, os bio sólidos podem reduzir em muito o custo de produção, pela menor utilização de fertilizantes minerais solúveis (LAMBAIS; SOUZA, 2000).

Segundo Ferreira e Andreoli (1999), 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 próximas a zonas rurais serem dotadas de estação de tratamento de esgoto. Por este motivo ainda são poucos os produtores que aderiram à utilização de bio sólido; motivo este que ainda causa dúvidas sobre a forma de aplicação (PAEZ, 2011).

1.2.6. Legislação vigente para o uso do biossólido na agricultura

A disposição do biossólido em áreas agrícolas deve estar regulamentada a regras que definam cuidados para desinfecção e estabilização que assegurem a qualidade do resíduo a ser utilizado (ANDREOLI, 1999).

A resolução CONAMA Nº 375/2006, define os critérios e procedimentos para a utilização do biossólido no meio agrícola/florestal. A mesma resolução determina que o biossólido seja submetido a processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores, para que possa ser utilizado na agricultura. O artigo 7º desta resolução dispõe que, para fins de utilização agrícola, o produto será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70 (BRASIL, 2006).

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).

Segundo a resolução CONAMA Nº 375/2006 (BRASIL, 2006) no seu artigo 17, após caracterizado o lodo e o solo, os critérios para a taxa de aplicação no solo são os seguintes:

“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 agrônômica 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 3 classificações de resíduos: classe 1 que são os resíduos perigosos e classe 2 que são os não perigosos. Ainda dentro da classe 2 existe 2 classificações: classe IIA que são os não inertes e classe IIB que são os inertes. A resolução CONAMA Nº 375/2006 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.

1.2.7. Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea do gênero *saccharum* spp., da família poaceae. Bastante utilizada devido a sua capacidade de estocar sacarose, que é aproveitada na produção de açúcar, etanol e etc.

A cultura da cana-de-açúcar surgiu no Brasil em meados do século XVI pela necessidade de se colonizar, defender e explorar as riquezas deste território – até então sem tanta importância econômica para Portugal. Vários foram os motivos para a escolha da cana, entre eles a existência no Brasil do solo de massapê, propício para este cultivo. Além disso, o açúcar era àquela época um produto muito bem cotado no comércio europeu, em crescente consumo e capaz de gerar valiosos lucros, transformando-se assim no alicerce econômico da colonização portuguesa no Brasil entre os séculos XVI e XVII (GOMES; LIMA, 1964).

Os ciclos iniciais de expansão da cultura de cana-de-açúcar deixaram de herança o avanço da fronteira agrícola sobre áreas naturais, principalmente no bioma Mata Atlântica, práticas agrícolas arcaicas que resultaram na contaminação e mau uso das águas e solos e ainda a consolidação de relações de trabalho que em muito seguiram as tradições e injustiças do período colonial (RODRIGUES; ORTIZ, 2006).

Historicamente, a cana-de-açúcar sempre foi um dos principais produtos agrícolas do Brasil e, hoje, o país tem novamente a primeira posição no ranking mundial da cultura. A agroindústria canavieira nacional é tecnicamente qualificada e com os menores custos de produção do mundo, além de contar com bom potencial para aumento da produção (RODRIGUES, 2010).

Além disso, a cultura da cana-de-açúcar é de grande versatilidade, sendo utilizada desde a forma mais simples como ração animal, até a mais nobre como o açúcar e etanol. Na cana-de-açúcar nada se perde: do caldo obtêm-se o açúcar, a cachaça, o álcool, a rapadura e outros; do bagaço, o papel, a ração, o adubo ou o combustível; das folhas a cobertura morta ou ração animal. Assim, a agroindústria da cana-de-açúcar, direciona-se a integrar os sistemas de produção alimentar, não alimentar e energético, envolvendo atividades agrícolas e industriais, e ainda atua com vantagens comparativas em relação às outras matérias-primas, pelo fato de ser intensiva em mão-de-obra e o Brasil ter os menores custos de produção do mundo (VASCONCELOS, 2002).

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).

A cana-de-açúcar, com habilidade única de estocar sacarose nos colmos, é uma planta tropical pertencente à família das gramíneas ou poáceas juntamente com os gêneros *Zea* e *Sorghum*. A cana-de-açúcar moderna é considerada um híbrido complexo entre duas ou mais espécies do gênero *Saccharum* (*S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. edule* e *S. robustum*) (CHEN; CHOU, 1993).

Um dos fatores de produção e desenvolvimento tecnológico, de maior importância a ser considerado em uma usina sucroalcooleira, é a escolha das variedades da cana-de-açúcar. Visto que as variedades são responsáveis pelo fornecimento da matéria-prima para a indústria, caracterizada como sendo colmos de cana-de-açúcar em adequado estágio de maturação, onde estão armazenados os carboidratos de reserva (MATSUOKA, 2000).

Dentre as principais características a serem atendidas nas variedades citam-se as agrônomicas especiais de produtividade, rusticidade, resistência às pragas e doenças além de características industriais como alto teor de sacarose e médio teor de fibras (STUPIELLO, 1987).

Segundo Valsechi e Oliveira (1964), o caldo de cana está situado entre os entrenós da fase sólida na cana-de-açúcar, considerando que esta seja um composto bifásico sólido-líquido. A fase sólida da cana é constituída por um complexo pentoxan e lignocelulósico integrado por fibras celulósicas que formam os entrenós. Já a fase líquida ou, o caldo de cana propriamente dito, é uma solução aquosa contendo uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos sendo que destes 90%, aproximadamente, são os açúcares.

A cana-de-açúcar é, atualmente, uma das principais e mais importantes culturas no Brasil sendo o agronegócio sucroalcooleiro, segundo informações da UNICA (União das Indústria de Cana-de-Açúcar), responsável por aproximadamente R\$ 113 bilhões, de acordo com dados da safra 2015/2016. Este setor é também um dos que mais empregam no país, gerando aproximadamente 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, além de congregarem mais de 72.000 agricultores e 373 usinas e destilarias, em operação ou projeto.

O Brasil é hoje o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, responsável por 1/3 de toda a produção mundial. De acordo com dados da última safra (2015/2016), a agroindústria canavieira ocupa uma área de cerca de 8,1 milhões de hectares no Brasil, equivalente a 2,3% da área agrícola do país, com uma produção correspondente a 658 milhões de toneladas. Em função de suas especificidades geográficas e edafo-climáticas, as safras ocorrem em períodos

distintos nas regiões Norte-Nordeste e Centro-Sul, possibilitando a produção de açúcar e álcool para os mercados interno e externo ao longo de todo o ano (UNICA, 2016).

Apesar da importância da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil, o rendimento nacional ainda é baixo, com média de 73 toneladas/ha. Atualmente a principal estratégia para o aumento da produtividade é através de programas de melhoramento genético, que buscam o desenvolvimento de cultivares melhoradas e mais produtivas, tolerantes a variações bióticas e abióticas, de modo a se extrair o potencial máximo da cultura sob condições específicas (CONAB, 2015).

Com o fim do presente trabalho de dissertação, serão apresentados os benefícios que o biossólido pode trazer à cultura da cana-de-açúcar, levando em consideração todas as recomendações teóricas, metodológicas e legais acerca desse processo, visando maior produtividade econômica, bem como uma prática sustentável no agronegócio da cana-de-açúcar.

CAPÍTULO 2

ARTIGO: Consequências do uso do biossólido para o solo e a maturação da cana-de-açúcar

2.1. Introdução

As indústrias são responsáveis por diversos produtos e acabam gerando vários danos ao meio ambiente devido aos processos químicos ligados a sua produção. Por isso é que se vem buscando maneiras de mitigar os efeitos da industrialização no meio ambiente e na vida das pessoas.

Hoje, a preocupação com o meio ambiente é grande e atinge vários segmentos da sociedade, criando uma consciência crítica a respeito das responsabilidades comuns que se tem com o planeta. É visando atender às exigências da sociedade, e principalmente da legislação vigente, que as indústrias estão repensando a destinação de seus resíduos. A conscientização da população/indústria vem de forma efetiva com a lei 12305/10 (BRASIL, 2010) que proíbe a destinação de alguns tipos de resíduos em aterros sanitários. Além disso, alguns desses resíduos podem ser aproveitados na agricultura, contribuindo de forma significativa com a produção de diversas culturas, gerando ganhos econômicos e ambientais, além de possibilitar assim a diminuição da produção e uso de fertilizantes comerciais.

A evolução da cultura da cana-de-açúcar no Brasil passou por significativas transformações, assumindo notoriedade quanto à sua importância para o ciclo evolutivo da economia nacional, principalmente nos primórdios da economia brasileira, observada desde o período colonial (BAER, 1965). O setor canavieiro passou por profundas transformações visando adequar-se aos padrões e a competitividade existente na economia e indústria mundial. Assim, o Brasil desenvolveu políticas de incentivo à produção canavieira, investindo em tecnologia e mecanização dos processos nas grandes indústrias e usinas nacionais.

A produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar é apontada como um caso de sucesso e tem sido usado como modelo para construção e condução de diversos outros programas nacionais de produção e uso de biocombustível. O diferencial do etanol brasileiro é devido, principalmente, à produção a partir da cana-de-açúcar, que confere ao combustível brasileiro vantagens competitivas, como a eficiência durante o processo de produção frente a todos os demais biocombustíveis produzidos no mundo. Cabe ressaltar que as condições climáticas nacionais, o solo e os avanços científicos e tecnológicos obtidos aos longos dos muitos anos de produção de açúcar e álcool no país também são responsáveis pelos níveis de produtividade, produção e custo (CORTEZ *et al.*, 2013).

O processo de maturação da cana-de-açúcar pode ser definido como um processo fisiológico que envolve a formação de açúcares nas folhas e seu deslocamento e

armazenamento no colmo. Pode-se, ainda, definir a maturação da cana-de-açúcar sob três aspectos (ROSSETTO, 2012):

- Botânico: a cana-de-açúcar só é considerada madura após a emissão de flores e a formação de sementes. Na reprodução por toletes, a maturação é considerada quando as gemas estão em condições de dar origem a novas plantas;
- Fisiológico: a maturação ocorre quando o colmo atinge o máximo de armazenamento de açúcar (sacarose);
- Econômico: quando a cana-de-açúcar atinge o teor mínimo de sacarose de 13% do peso do colmo, necessário para que possa ser viável industrialmente.

O armazenamento e a translocação (transporte através da água) do açúcar se processa aos poucos desde os primeiros meses da cana-de-açúcar até o completo desenvolvimento de seus colmos (ROSSETTO, 2012).

A aplicação de biossólidos nos solos pode contribuir para o aumento da concentração de nutrientes essenciais, como N e P, e para o melhoramento dos atributos físicos de solos altamente intemperizados. No entanto, dependendo da origem do biossólido, o aumento da concentração de metais pesados pode contribuir para a contaminação do solo e acarretar possível efeito deletério em plantas e microrganismos (FLIEBBACH et al., 1994; LEITA et al., 1995; VIG et al., 2003).

A contaminação do solo com metais pesados pode também resultar em diminuição da diversidade genética e alteração da estrutura das comunidades microbianas (FROSTEGÅRD et al., 1993; TORSVIK et al., 1998; SANDAA et al., 1999; GANS et al., 2005).

Devido a possíveis contaminações, sua aplicação é regida por normativa, 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 e possível cultivo de alguma cultura, podendo agregar valor econômico ao processo (NEVES, 2017).

Esse estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de biossólido da indústria têxtil na maturação do cultivo de cana-de-açúcar, além dos possíveis incrementos físico-químicos e do potencial de contaminação do solo.

2.2. Metodologia

2.2.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em uma fazenda experimental na área rural da cidade de Pedras de Fogo, localizada no estado da Paraíba (07° 24' 07" S e 35° 06' 59" W), Nordeste do Brasil. 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). De acordo com dados apresentados por Climate (2018), o período chuvoso normalmente começa em fevereiro e termina em outubro, com precipitação anual média de 1377 mm, o solo na da área de estudo é do tipo greissolo.

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

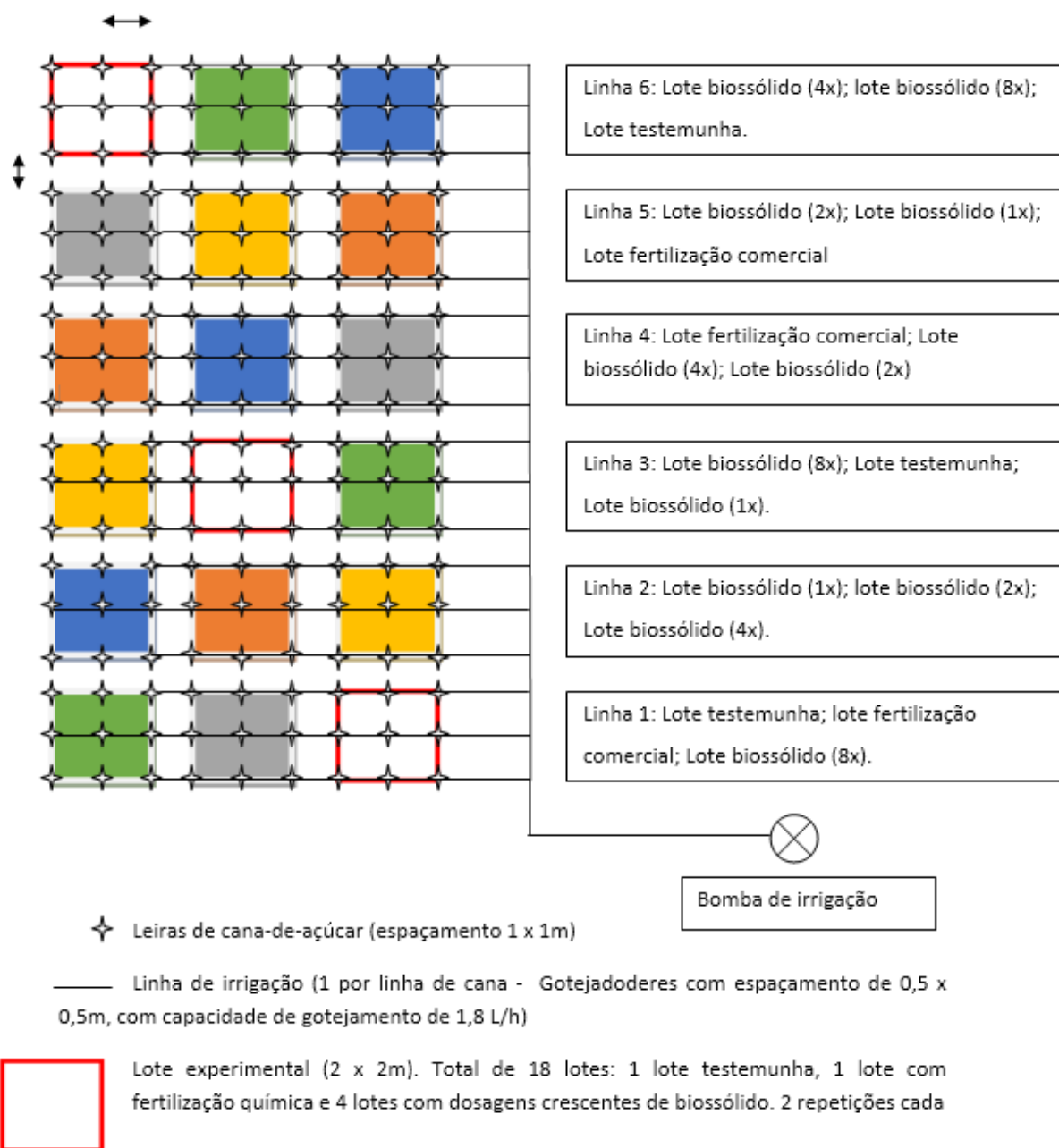


Figura 2.1. Representação esquemática do delineamento experimental.

2.2.2. Taxa de aplicação do bioossólido

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

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 P₂O₅/ha em área total, acrescidos de 100kg de P₂O₅/ha no sulco de plantio.
- Em areias quartzosas (neossolos quartzarênicos) e latossolos aplicar no máximo 100kg de K₂O/ha no sulco de plantio, e o restante em cobertura, antes do fechamento do canavial.

O nitrogênio disponível foi calculado de acordo com o Anexo 3 da Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006) pela equação 2.

$$N_{\text{disp}} = (FM/100) \times (K_{\text{Kj}} - N_{\text{NH}_3}) + 0,5 \times (N_{\text{NH}_3}) + (N_{\text{NO}_3} + N_{\text{NO}_2}) \quad (2)$$

Onde:

FM= Fração de mineralização do nitrogênio (%);

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

Nitrogênio amoniacal (N_{NH₃}) (mg/kg);

Nitrogênio Nitrato e Nitrito (N_{NO₃} + N_{NO₂}) (mg/kg).

Utilizando os dados da caracterização do bio sólido, chegou-se às taxas de dosagem apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1. Quantidade de bio sólido aplicada ao cultivo da cana-de-açúcar no presente experimento.

Bio sólido	Quantidade
Bio sólido 1x	6 ton/ha.ano
Bio sólido 2x	12 ton/ha.ano
Bio sólido 4x	24 ton/ha.ano
Bio sólido 8x	48 ton/ha.ano

O biossólido utilizado no experimento foi oriundo de uma empresa têxtil localizada no distrito industrial da cidade de João Pessoa. O sistema de tratamento utilizado pela empresa é o sistema biológico de lodos ativados de aeração prolongada, seguido por um sistema de ultrafiltração. O biossólido foi fracionado em quatro dosagens: a primeira em 05/12/2015, onde foi dosado 15% da quantidade total de cada lote; a segunda em 16/12/2015 dosando mais 30%; a terceira em 23/12/2015 dosando mais 30%; e a quarta em 08/01/2016 dosando o restante (25%).

Antes de ser aplicado, o biossólido 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 nas proporções de 10, 20, 30, 40 e 50% do peso seco do biossólido, e 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 horas. Portanto, chegou-se a proporção de 30% de cal para a quantidade de lodo em base seca.

2.2.3. Taxa de aplicação do fertilizante comercial

De acordo com o levantamento com os produtores de cana de açúcar da região, a taxa de aplicação de fertilizante comercial foi na proporção de 80 kg de P_2O_5 /ha por ano, 80 kg de KCl/ha por ano e 100 kg N/ha por ano (utilizando a ureia). Todos foram aplicados de uma só vez no sulco de plantio. Dessa forma, buscou-se reproduzir a fertilização comercial utilizada pelos produtores locais para uma justa comparação frente às parcelas fertilizadas com biossólido.

2.2.4. Método de plantio

O experimento foi conduzido em uma área que permanecia intacta, sem nenhum tipo de manejo e sem aplicação anterior de biossólido. A área destinada ao plantio e desenvolvimento da cultura canavieira precisou ser preparada nos seguintes aspectos: a área foi destorroada, arada e gradeada. Esses procedimentos facilitaram a sua implementação e seu desenvolvimento, facilitando as práticas de manejo que são realizadas ao longo do seu crescimento (BRIEGER; PARANHOS, 1964).

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 Miller (2008), o processo de preparo do solo tem como finalidade deixar o terreno pronto e propício para que a atividade seguinte da cadeia produtiva, processo plantio seja realizado.

O plantio foi realizado por sulcos de aproximadamente 15 cm de profundidade. Os colmos foram cortados em pedaços, pé com ponteira, com três gemas dentro do próprio sulco. No dia 08/01/2016, após aproximadamente um mês de experimento, foram contabilizadas as germinações.

O espaçamento utilizado entre os sucos foi de 1 x 1 m. Foram utilizadas colmos de cana-de-açúcar da variedade 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 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. Foi instalada uma tubulação por linha de cana-de-açúcar. Um termômetro digital (Incoterm) também foi instalado no campo experimental, com medições de temperaturas máximas e mínimas para o cálculo da evapotranspiração de referência a partir da equação 3 (HARGREAVES; SAMANI, 1982).

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

Onde:

ET_0 - Evapotranspiração de referência (mm/h);

$T_{\text{méd}}$ - Temperatura média;

$T_{\text{máx}}$ - Temperatura máxima;

$T_{\text{mín}}$ - Temperatura mínima;

R_A - Radiação extraterrestre (MJ / m²).

Para 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.

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

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

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

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.

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

Onde:

Li - Lâmina de irrigação (mm/dia);

E_i - 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.

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

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.

Para Doorenbos e Kassan (1979), a precipitação nas áreas canavieiras do Brasil varia de 1.100 a até mais de 1.500 mm anualmente. Entretanto, é necessário que a distribuição sazonal dessa precipitação seja de tal forma que haja água com abundância no período de crescimento vegetativo e um período seco durante a maturação, o que proporciona maior acúmulo de sacarose.

2.2.6. Coleta e processamento das amostras de solo

Foram realizadas duas amostragens de solo: uma antes do experimento ser iniciado, e a outra 1 dia antes do corte da cana-de-açúcar. Para a amostragem do solo antes do experimento, foram coletadas 10 amostras na profundidade de 20 cm e misturadas formando uma amostra composta. Para as amostragens antes dos cortes, utilizou-se a mesma metodologia de amostras compostas. Para isso, foram coletadas 3 amostras de solo por parcela na profundidade de 20 cm, onde normalmente se encontram as raízes das plantas, e para cada parcela misturou-se as 3 amostras formando uma amostra composta. Após coleta do solo e preparo das amostras, as mesmas foram encaminhadas diretamente aos laboratórios responsáveis pelas análises dos parâmetros físicos e de fertilidade. Os parâmetros físicos, de fertilidade e os microrganismos foram analisados de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

2.2.7. Determinação do estágio de maturação

Segundo Caldas (2012), o método de determinação do estágio de maturação se baseia no fato de que a maturação da cana-de-açúcar se inicia na base até chegar no 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 (Tabela 2.2). O método é didático e pressupõe os passos a seguir:

- Selecionar as amostras de cana na área canavieira;
- Separar as bases e as pontas dos colmos das canas analisadas;
- Proceder aos cortes nestas partes de tal forma a obter uma quantidade de caldo suficiente para determinação do brix (CALDAS, 2012).

Esta avaliação foi realizada na área experimental utilizando um refratômetro de campo portátil, no qual foi utilizada a equação 8 para mensurar o índice de maturação (IM).

$$IM = \text{Brix da ponta} / \text{Brix da base} \quad (8)$$

Tabela 2.2. Estabilização do 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. Análises estatísticas

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos: parcela testemunha (apenas irrigada, sem utilização de outros insumos), fertilização química comercial e 1x, 2x, 4x e 8x a dosagem calculada segundo Anexo 3 da Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006). Os dados coletados foram analisados mediante a análise de variância (ANOVA) através do teste F, utilizando o teste de Tukey para comparar as médias, com probabilidade de erro de 5% ($p < 0,05$). Através do software SISVAR.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Análise do solo

O solo da área de estudo é do tipo gleissolo cujas características encontram-se descritas na tabela 2.3. O estudo foi limitado a escolha dos principais parâmetros de fertilidade, no caso nutrientes, como a série nitrogenada, o fósforo, a matéria orgânica e o potássio.

Tabela 2.3. Análise química do solo.

Parâmetro	Quantidade
Chumbo	25,9 mg/kg
Cobre	15,6 mg/kg
Fósforo	410 mg/kg
Matéria orgânica	18 g/dm ³
Nitrato	1,39 mg/kg
Nitrito	< 0,2 mg/kg
Nitrogênio amoniacal	232 mg/kg
Nitrogênio kjeldahl total	2050 mg/kg
pH (suspensão a 5%)	6,8
Potássio	0,3 mmol/dm ³
Zinco	57,1 mg/kg
CTC	7,1 cmolc/dm ³

2.3.2. Taxa de aplicação e estabilização do biossólido

O biossólido foi aplicado na área de estudo e suas características encontram-se descritas na tabela 2.4, 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 se ter 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. O biossólido usado no experimento foi produzido por indústria têxtil localizada no distrito industrial de João Pessoa/PB, e caracterizado conforme a tabela 2.4.

Tabela 2.4. Caracterização físico-química do biossólido utilizado no experimento.

Parâmetro	Quantidade
Carbono orgânico total	2,26 % p/p
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

A tabela 2.5 apresenta resultados alcançados nos parâmetros de fertilidade do solo, um dia antes da colheita da cana-de-açúcar, onde foram analisados os parâmetros de sódio (Na), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica (MO) e pH.

Tabela 2.5. Análise química do solo após o experimento.

Tratamentos	Médias							
	P (mg/kg)	pH	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	CTC (cmolc/dm ³)	MO (g/kg)
Testemunha	36,87	6,6	156,16	33,46	2,89	2,91	6,43	15,3
Fertilizante comercial	24,73	6,8	146,65	33,46	7,61	3,46	5,90	23,5
Biossólido 1x	20,53	6,4	100,99	26,65	3,00	3,10	4,56	15,6
Biossólido 2x	47,60	6,6	231,91	32,32	3,00	4,01	7,33	17,4
Biossólido 4x	34,53	6,7	129,04	30,05	2,78	2,73	4,96	19,2
Biossólido 8x	38,74	6,6	149,62	26,08	2,78	3,28	6,00	32,3

Nos tratamentos onde foram utilizados o biossólido não houve aumento de pH, pois o mesmo foi calado com cal hidratado antes da aplicação, como forma de estabilização, com o objetivo de evitar a atração de vetores e inativar os possíveis microrganismos patogênicos.

De acordo com os dados apresentados na tabela 2.5 é possível perceber que apesar dos valores dos macronutrientes magnésio e cálcio serem relevantes, a sua incidência pode ser considerada baixa no solo após o corte da cana-de-açúcar.

Além de ter sido absorvido pela planta, o magnésio, por ser muito insolúvel, pode ter sido lixiviado, já que o solo da área é muito poroso. O cálcio age no solo, diminuindo a acidez e conseqüentemente a toxidez que alguns elementos podem causar ao solo. Os teores de cálcio, magnésio e também do sódio são muito importantes no quesito salinidade do solo (NEVES, 2017).

De acordo com Lima (1998), o acúmulo de sais prejudica o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente das culturas, devido à elevação do potencial osmótico do solo, por efeitos tóxicos de íons específicos, como os oriundos do cálcio, magnésio e sódio, alterando assim as condições físico-químicas do solo. No entanto, os níveis de sódio encontrados no solo após o corte da cana-de-açúcar são considerados baixos em comparação com a análise realizada antes do experimento.

Os teores médios encontrados para o potássio apresentaram tendência de crescimento em média, tendo o biossólido 2x a quantidade mais expressiva, em relação ao tratamento com fertilizante químico e o lote testemunha.

A quantidade de matéria orgânica encontrada no fertilizante comercial foi superior aos valores médios do biossólido 1x, 2x e 4x, ficando abaixo apenas, do valor encontrado no

biofóssido 8x. Barbosa *et al.* (2002) relata ser de fundamental importância o aporte de matéria orgânica ao solo para manutenção do potencial produtivo do mesmo, causando efeitos positivos nas propriedades físico-químicas do solo. Com relação ao CTC, observou-se que o valor mais significativo foi encontrado no tratamento com biofóssido 2x, comparando-o aos demais. Segundo a Embrapa (2010), se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas.

No que refere-se ao índice de maturação, constatamos que onde foi usado o biofóssido de 8x, a cana-de-açúcar teve melhor estágio de maturação, seguido do biofóssido de 4x, fazendo com que a cana-de-açúcar atingisse sua maturação em um ciclo menor (10 meses e 26 dias), isso se deve ao fato do biofóssido ter em sua composição alguns nutrientes como NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) que contribuem para o desenvolvimento completo da planta. Constatamos ainda, que, o biofóssido 1x, o qual atende as recomendações da CONAMA, não obteve maturação significativa como mostram os resultados da tabela 2.6.

Tabela 2.6. Teste estatístico de análise de variância do resultado obtidos do índice de maturação da cana-de-açúcar.

Fonte de Variação	G.L.	MATURAÇÃO
		Quadrados médios
Tratamentos	5	0,040
Erro	12	0,002
Total	17	
CV (%)		5,92
Tratamento	MÉDIAS	
		MATURAÇÃO
Testemunha		0,71 a2
Fertilizante comercial		0,78 a2 a3
Biofóssido 1x		0,58 a1
Biofóssido 2x		0,82 a2 a3 a4
Biofóssido 4x		0,84 a 3 a4
Biofóssido 8x		0,91 a4

Médias seguidas da mesma letra e número, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com os dados apresentados na tabela 2.6, é possível perceber que nos lotes em que se aplicou a maior quantidade de biofóssido, ou seja, biofóssido 4x e 8x, a cana-de-açúcar chegou ao estágio de maturação primeiro, estando apta ao corte mais cedo.

Esses resultados se assemelham aos encontrados em alguns trabalhos, como o de Marques *et al.* (2007) e Oliveira (2016) que concluíram que o uso do biofósforo no cultivo da cana-de-açúcar apresentou resultados significativos para o solo. No entanto, segundo Oliveira (2016), apesar dos resultados indicarem uma melhoria nos atributos do solo, e conseqüentemente na qualidade do mesmo, mas pesquisas com essa abordagem devem ser feitas.

2.4 Conclusão

O uso do biofósforo como fertilizante para a produção do cana-de-açúcar se mostrou viável, pois conseguiu-se disponibilizar os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas sem ocasionar contaminação ao solo.

No experimento foi possível observar e constatar que o período de maturação da cana-de-açúcar foi mais curto para os tratamentos com maior quantidade de biofósforo, ou seja, em menos tempo a planta conseguiu se desenvolver plenamente, tendo um aproveitamento expressivo na sua maturação e conseqüentemente, na quantidade de açúcar disponível na mesma.

Com o uso do biofósforo como fertilizante, foi possível encontrar uma saída sustentável para um resíduo que antes era destinado aos aterros. O uso do biofósforo como fertilizante pode substituir o fertilizante comercial, dando mais benefícios ao ambiente, bem como, à produtividade da cana-de-açúcar.

Assim, o uso do biofósforo garante que o lodo gerado nas estações de tratamento, que normalmente seria encaminhado para os aterros sanitários, tenha uma destinação final, adequando-se à legislação vigente, além de agregar valor ao processo produtivo e conseqüente diminuição do uso de fertilizantes comerciais, que necessitam de alto gasto energético para sua produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAER, Werner. A industrialização e o desenvolvimento econômico do Brasil. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1965.

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 12305, 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: 12 jan. 2016.

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: 10 de janeiro 2017.

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.

CLIMATE-DATA. Clima: Pedras de Fogo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/42653/>. Acesso em 27 janeiro 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.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Yields Response to Water*. Rome: FAO, 1979. 306 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Boletim de Pesquisa e desenvolvimento. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Campinas – SP, 2010

FLIEBBACH, A.; MARTENS, R. & REBER, H.H. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage-sludge. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1201-1205, 1994.

FOLEGATTI, M. V. *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999. 460p.

GANS, J.; WOLINSKY, M. & DUNBAR, J. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science*, 309:1387-1390, 2005.

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.

KIEHL, E.J. *Manual de edafologia: relações solo – planta*. São Paulo: Agronomica Ceres, 1979.

LEITA, L.; DENOBILI, M.; MUHLBACHOVA, G.; MONDINI, C.; MARCHIOL, L. & ZERBI, G. Bioavailability and effects of heavy-metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. *Biol. Fert. Soils*, 19:103-108, 1995.

LIMA, V. L. A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

MARQUES, M.O; BELLINGIERI, P.A; MARQUES, T.A; NOGUEIRA, T.A.R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. *Revista acadêmica Bioscience Journal*. Uberlândia, vol.23, n.2, 2007.

MILLER, L.C. Definição das práticas agrícolas a serem realizadas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Exploração e Manejo da lavoura da cana-de-açúcar*. Araras - SP, 2008.

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.

ROSSETO, R. Árvore do conhecimento cana de açúcar maturação. 2012. Disponível em < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 15 de janeiro de 2017.

SANDAA, R. A.; ENGER, O. & TORSVIK, V. Abundance and diversity of Archaea in heavy-metal-contaminated soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65:3293-3297, 1999.

TORSVIK, V.; DAAE, F.L.; SANDAA, R.A. & OVREAS, L. Novel techniques for analysing microbial diversity in natural and perturbed environments. *J. Biotechnol.*, 64:53-62, 1998

VIG, K.; MEGHARAJ, M.; SETHUNATHAN, N. & NAIDU, R. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: A review. *Adv. Environ. Res.*, 8:121-135, 2003.

VITTI, G.C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. Nutrição e adubação da cana de açúcar. 2005. Disponível em < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 23 de janeiro de 2017.

CAPÍTULO 3

ARTIGO: Aproveitamento energético dos resíduos oriundos da cana-de-açúcar para obtenção de etanol de segunda geração com aplicação de biossólido

3.1. Introdução

A sociedade contemporânea vem buscando maneiras de mitigar os problemas causados por décadas de descaso com o meio ambiente. Segundo Goldemberg e Lucon (2012), o desenvolvimento de tecnologias chamadas “limpas” vem ganhando espaço e reforçando o princípio das responsabilidades comuns com o planeta. O uso do biossólido gerado nas estações de tratamento de efluentes (ETE) das indústrias é uma alternativa eficiente e capaz de revolucionar o agronegócio. Por possuir em suas características alta disponibilização de nitrogênio e de outros nutrientes, o biossólido pode ser uma boa alternativa para a fertilização de solos na produção de alguns cultivos.

De acordo com Chiba (2005), a utilização de biossólido em áreas agrícolas parece ser uma alternativa bastante promissora, pois resulta em duplo benefício: o ecológico referente à devolução ao solo do carbono orgânico e dos nutrientes utilizados para a produção de biomassa vegetal que são exportados para os centros urbanos e o beneficiamento social pela possibilidade de aumento da produtividade das culturas e menor impacto sobre o meio ambiente. No contexto atual, o biossólido se torna uma grande alternativa de fertilização para inúmeras culturas agrícolas. Contudo, a disposição do biossólido em áreas agrícolas deve seguir regras que definam cuidados para desinfecção e estabilização que assegurem a qualidade do resíduo a ser utilizado (ANDREOLI, 1999).

A resolução CONAMA Nº 375/2006 define os critérios e procedimentos para a utilização do biossólido no meio agrícola/florestal. A mesma resolução determina que o biossólido seja submetido a processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores para que possa ser utilizado na agricultura (BRASIL, 2006).

O Brasil é destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da matriz energética do país. O setor sucroenergético possui papel chave nesta participação, uma vez que somente os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país (ÚNICA, 2016).

A cultura da cana-de-açúcar tem um grande potencial energético e mediante a iminente escassez de petróleo, muitos estudiosos apontam que a biomassa da cana é uma grande fonte de energia capaz de gerar combustíveis renováveis e sustentáveis. Assim, a busca do etanol extraído de celulose está mobilizando um número crescente de pesquisadores ao redor do mundo, estimulados por políticas de pesquisa voltadas para ampliar a produção no setor bioenergético (MARQUES, 2009).

Segundo Santos (2016), uma possibilidade que se apresenta viável é o aproveitamento de resíduos vegetais provenientes dos processos agroindustriais, tais como bagaço e palha, obtendo-se o etanol de segunda geração. Dois terços da cana são constituídos de material lignocelulósico, indicando seu imenso potencial para uso energético. A estimativa é de que o aproveitamento do bagaço e da palha da cana-de-açúcar eleve a produção de álcool em 30 a 40%, para uma mesma área plantada.

Um dos principais objetivos do uso dos biocombustíveis é a substituição de combustíveis fósseis, permitindo a diminuição da dependência por recursos não renováveis e a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. A queima de combustíveis fósseis representa aproximadamente 82% das emissões dos gases causadores do efeito estufa (SANTOS *et al.*, 2012).

O volume de produção do etanol tende a crescer não só no mercado interno, mas está em expansão no mundo, pois os mercados externos têm muito interesse neste biocombustível, e com isso o Brasil vem conquistando lugar de destaque. Um ponto importante a considerar é que toda a gasolina comercializada nos postos do Brasil tem 25% de etanol anidro em sua composição, este fator é importante para uma contribuição significativa na redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera. Atualmente, pesquisas comprovam que o biocombustível emite até 90% menos gases de efeito estufa, quando comparado à gasolina (BRASSOLATTI *et al.*, 2016). Além disso, a maior parte das emissões emitidas com o etanol pode ser reabsorvida pela própria cana-de-açúcar no próximo ciclo agrícola (SANTOS *et al.*, 2012).

Ao produzir açúcar e álcool são gerados, para cada tonelada de cana-de-açúcar, 280 kg de palha e 280 kg de bagaço (CRUZ, 2008). O bagaço de cana-de-açúcar obtido na saída da última extração de caldo do terno das moendas é aproveitado historicamente pelas usinas e outras unidades industriais como insumo energético para a produção de vapor e eletricidade, mediante a queima em caldeiras. A palha da cana-de-açúcar, queimada no campo é outro resíduo agroindustrial que já é utilizado atualmente em vários lugares. Atualmente, para cada três toneladas de cana-de-açúcar é gerada uma tonelada de bagaço, quantidade mais que suficiente para que o bagaço possa ser utilizado como matéria prima na obtenção de outros produtos. Desse modo, além do bagaço da cana-de-açúcar, outros materiais lignocelulósicos podem ser utilizados como fonte de celulose para produção de etanol (etanol de segunda geração).

As tecnologias para obtenção de etanol celulósico envolvem o pré-tratamento, que visa alterar ou remover a lignina e a hemicelulose, aumentando a área superficial e diminuindo o grau de polimerização e cristalinidade da celulose. Outra etapa é a de hidrólise, para obtenção dos açúcares a partir da celulose e hemicelulose. Em seguida há a etapa de conversão desses açúcares em etanol via fermentação e destilação (SANTOS *et al.*, 2012). No Brasil, as matérias primas mais apropriadas para obtenção de etanol celulósico são o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, já que não requerem preparo e estão disponíveis em grande volume (CRUZ, 2008).

Neste trabalho, o objetivo foi avaliar o ganho energético dos resíduos oriundos da cana-de-açúcar (palha e bagaço) na obtenção de etanol de segunda geração com o uso do bio sólido como fertilizante em diferentes dosagens, comparando com o uso de fertilizante químico comercial.

3.2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido na fazenda experimental da PB Ambiental e as análises foram realizadas no laboratório sucroalcooleiro no CTDR – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). A fazenda experimental da PB Ambiental se encontra na zona rural do município de Pedras de Fogo (Paraíba), a 56 km da cidade de João Pessoa.

A variedade de cana-de-açúcar RB 92579, a qual foi utilizada na pesquisa, é a mais recomendada pelos produtores da região, pois, segundo eles, é a que melhor se adapta ao clima local. O terreno utilizado no experimento foi dividido em 18 lotes de 2m x 2m cada, com delineamento de blocos casualizados com 6 tratamentos. Os lotes foram classificados em lotes testemunha, bio sólido (1x, 2x, 4x e 8x) e fertilizante comercial. Os lotes testemunha não receberam qualquer tipo de fertilização. Todos os lotes foram irrigados da mesma maneira, por gotejamento, de acordo com as necessidades hídricas do cultivo. Neste trabalho foi avaliado um sistema de irrigação por gotejamento, na cana-de-açúcar. Para determinar a uniformidade de aplicação da água foram comparados os métodos propostos por Keller e Karmeli (1974), com 16 gotejadores e o método de Denículi *et al.* (1980) com 32 gotejadores, avaliados dentro da parcela irrigada (FERNANDES *et al.*, 2012).

O bio sólido foi obtido em uma indústria têxtil do município de João Pessoa. O resíduo antes seria destinado aos aterros sanitários mas, de acordo com a Lei que institui a

Política Nacional de Resíduos Sólidos Lei 12.305/10 (BRASIL, 2010), esse material atualmente deve ter uma outra destinação.

Para chegar aos valores da dosagem de biossólido foi realizada uma análise do biossólido em laboratório. Segundo a Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006), 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.

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

Onde:

N recomendado = Quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura, segundo a recomendação oficial do estado, nesse caso, o estado da Paraíba;

N disponível = Calculado segundo anexo 3.

Sendo assim, 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, por tipologia.

As dosagens do biossólido para a cultura da cana-de-açúcar utilizada no experimento de acordo com a Resolução CONAMA 375/06 foram as seguintes:

- Biossólido 1x, tendo 6 ton/ha.ano
- Biossólido 2x tendo 12 ton/ha.ano
- Biossólido 4x tendo 24 ton/ha.ano
- Biossólido 8x tendo 48 ton/ha.ano

A cana-de-açúcar foi cortada e coletada manualmente e armazenada em sacos plásticos, após 11 meses do plantio, período em que a cana-de-açúcar já se encontrava madura suficiente para a colheita. Cada amostra dos 18 lotes foi separada para ser analisada em laboratório. A produção de etanol pode ser observada por meio da figura 3.1, na qual é possível analisar as diferentes fases do processo.

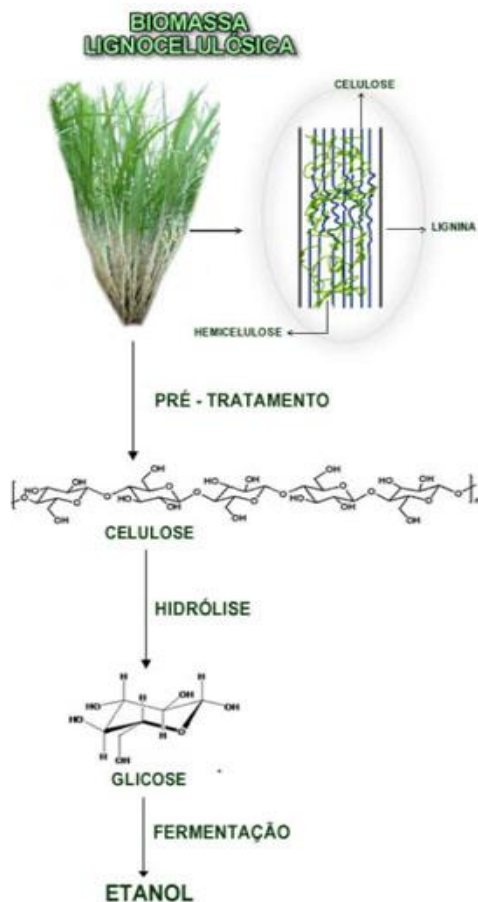


Figura 3.1. Representação esquemática da produção de etanol celulósico.

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2012).

A metodologia utilizada para obtenção do etanol de segunda geração foi a de Galbe e Zacchi (2010). O processo para obtenção de etanol de segunda geração se deu por meio de etapas, as quais foram adaptadas da metodologia mediante as condições e necessidades da pesquisa, descritas abaixo:

Etapa 1 – Abertura da amostra: trituração da palha e bagaço, separadamente;

Etapa 2 – Hidrólise ácida da biomassa: foi adicionado em um becker 10 g de biomassa (palha e bagaço, separadamente), 400 ml de água destilada e 40 ml de ácido clorídrico. Em seguida, colocou-se o material em um agitador mecânico de 360 RPM por duas horas;

Etapa 3 – Após agitado, o material foi filtrado em um filtro de vácuo, onde o pH foi corrigido, ficando entre 4,5 e 5,0, e foi adicionado 5 g de leveduras para fermentação durante 36 horas;

Etapa 4 – Após a fermentação, utilizou-se o destilador para medir a concentração alcoólica.

3.2.1. Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos: parcela testemunha (apenas irrigada, sem utilização de outros insumos), fertilização química comercial e 1x, 2x, 4x e 8x a dosagem calculada segundo Anexo 3 da Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006). Os dados coletados foram analisados mediante a análise de variância (ANOVA) através do teste F, utilizando o teste de Tukey para comparar as médias, com probabilidade de erro de 5% ($p < 0,05$). Através do software SISVAR.

3.3. Resultados e discussão

A tabela 3.1 contém os resultados obtidos com a palha da cana-de-açúcar para obtenção do etanol de segunda geração, usando diferentes fertilizantes no experimento. Os resultados mudam de acordo com o tipo de fertilizante usado e quantidades, no caso do biofósforo. Notadamente os resultados obtidos com o uso do biofósforo de 8x foram melhores que os demais e, principalmente, do que o fertilizante comercial. Esse fato se deu por haver maior quantidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, no biofósforo de 8x, fazendo com que a cana-de-açúcar possa se desenvolver sem prejuízos.

Tabela 3.1. Resultados da obtenção de etanol de segunda geração da palha da cana-de-açúcar em °GL.

	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Média
Lote testemunha	4,3	4,7	5,3	4,8
Fertilizante Comercial	4,9	5,6	5,7	5,4
Biofósforo 1x	9,7	10,1	10,8	10,2
Biofósforo 2x	12,3	11,7	12,1	12,0
Biofósforo 4x	15,8	16,7	17,1	16,5
Biofósforo 8x	18,9	19,6	19,2	19,2

A palha da cana-de-açúcar é um subproduto que possui potencial energético a ser desenvolvido, no entanto, grande parte desse resíduo não é aproveitado, sendo normalmente destinado à queima na colheita manual ou deixado no campo na colheita mecanizada, servindo de cobertura vegetal para o solo. Podemos comparar os resultados do biofósforo com o fertilizante comercial e constatar que o biofósforo é capaz de agregar valores significativos a essa biomassa (tabela 3.1).

Notadamente, o biossólido obteve resultados superiores, mesmo quando usado o biossólido de 1x, que foi superior em 4,8 °GL em comparação com o fertilizante comercial. Analisando as dosagens e os resultados das palhas dos tratamentos com biossólido de 2x, 4x e 8x, constatou-se que os valores apresentaram resultados ainda maiores que o fertilizante comercial. No processo para produção de etanol é necessário que se passe o líquido fermentado mais de uma vez no destilador para extrair água da composição, concentrando e aumentando a quantidade de etanol. No entanto, no experimento, o líquido fermentado foi passado apenas uma vez no destilador. Sendo assim, os valores obtidos neste experimento ainda são considerados baixos se comparados com outros experimentos que tiveram esse procedimento mais de uma vez. Contudo, é possível perceber o grande potencial do biossólido no melhoramento do cultivo da cana-de-açúcar.

Na Tabela 3.2, observam-se os resultados da concentração de etanol obtida com o bagaço da cana-de-açúcar a partir do tipo de fertilizante usado. Mais uma vez os resultados com valores mais elevados foram aqueles em que a cana-de-açúcar recebeu aplicação do biossólido 8x.

Tabela 3.2. Resultados da obtenção de etanol de segunda geração do bagaço da cana-de-açúcar em °GL.

	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Média
Lote testemunha	8,4	9,6	9,2	9,1
Fertilizante comercial	9,6	10,2	10,8	10,2
Biossólido 1x	13,4	14,2	14,4	14,0
Biossólido 2x	17,8	16,6	19,6	18,0
Biossólido 4x	22,6	23,5	27,7	24,6
Biossólido 8x	33,9	31,8	36,5	34,1

De acordo com os dados da tabela 3.2, é possível perceber que o biossólido 1x obteve resultado superior ao fertilizante comercial, tendo em média 3,8 °GL a mais. Conseqüentemente, as dosagens de 2x, 4x e 8x tiveram um aumento importante no teor de etanol. Percebe-se que, com essas dosagens superiores de biossólido, a planta teve um ganho maior quando comparada ao fertilizante comercial e ao lote testemunha.

Tabela 3.3. Teste estatístico de análise de variância dos resultados obtidos do etanol de segunda geração proveniente da palha e do bagaço da cana-de-açúcar em °GL.

Fonte de Variação	G.L.	ETANOL PALHA	ETANOL BAGAÇO
		Quadrados médios	
Tratamentos	5	105,03	274,63
Erro	12	1,45	2,7
Total	17		
CV (%)		10,89	8,98
Tratamento	MÉDIAS		
	ETANOL PALHA	ETANOL BAGAÇO	
Testemunha	4,76 a1	9,06 a1	
Fertilizante comercial	5,41 a1	10,20 a1 a2	
Biossólido 1x	10,20 a2	14,00 a1 a2	
Biossólido 2x	12,03 a2	18,00 a3	
Biossólido 4x	16,53 a3	24,62 a4	
Biossólido 8x	19,23 a3	34,06 a5	

Médias seguidas da mesma letra e número, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Analisando os dados da tabela 3.3, referentes ao etanol de segunda geração provenientes da palha da cana-de-açúcar, não houve diferença significativa entre os tratamentos fertilizante comercial e lote testemunha. Quando comparados os resultados entre o fertilizante comercial e o biossólido 1x, 2x, 4x e 8x foi possível comprovar a diferença significativa desses tratamentos.

Os dados da tabela 3.3 mostram que houve significância nos resultados obtidos a partir dos tratamentos com o biossólido, comparando com os tratamentos fertilizante comercial e lote testemunha. O tratamento com biossólido 8x foi aproximadamente três vezes e meia maior que o tratamento com fertilizante comercial.

Os resultados experimentais nos permitem concluir que houve efeito significativo dos diferentes tratamentos na cana-de-açúcar, elevando a quantidade e qualidade do bagaço gerado com o uso do biossólido. Nos tratamentos fertilizante comercial e biossólido 1x houve uma intersecção dos resultados estatísticos, ou seja, os resultados demonstraram significância tanto para o fertilizante comercial como para o biossólido 1x. Já os resultados dos demais tratamentos mostraram diferença significativa, especialmente o biossólido 8x, com valores mais elevados.

Assim, foi possível perceber que o uso do biossólido agregou celulose à planta. O bagaço da cana-de-açúcar é uma fonte de celulose, matéria-prima para o etanol de segunda

geração, que não depende da produção de alimentos para a industrialização e nem da expansão da área plantada com cana-de-açúcar, e sim do reaproveitamento dos resíduos da produção já existente de etanol e açúcar. Este resíduo de grande potencial energético também pode ser utilizado para a alimentação de rebanhos bovinos.

Para suprir a crescente demanda por energia renovável sem comprometer a segurança no fornecimento de alimentos, está em curso uma corrida internacional entre empresas de energia, laboratórios de pesquisa e universidades para a obtenção de etanol de segunda geração (ARAÚJO *et al.*, 2013). Os resultados encontrados neste trabalho demonstram que o uso de bio sólido pode agregar valor energético ao cultivo da cana-de-açúcar, viabilizando um etanol de segunda geração de melhor qualidade.

Em regiões semiáridas a água é um recurso de fundamental relevância para a produção de várias culturas. Segundo Silva *et al.* (2011), a cana-de-açúcar tem apresentado desempenho relevante no semiárido em relação a outras áreas de cultivo no país, em decorrência da utilização de tecnologias de irrigação no sistema de produção. Na região do semiárido baiano existem em torno de 18 mil hectares de cana-de-açúcar irrigada com produtividade média igual a (91,2 t/ha), superior à do rendimento médio estadual (58,7 t/ha) e nacional (76,6 t/ha) (IBGE, 2009).

Sendo assim, a região do semiárido paraibano poderia contribuir com a capacidade elétrica do estado. Segundo dados da Seplag (2014), a energia elétrica produzida na Paraíba corresponde a: 10,8% vinda da biomassa, 8,6% da energia eólica, 0,7% vinda de hidrelétrica e 79,9 % de termo fóssil. Desta forma, o uso do bio sólido, além de garantir nutrientes em espécies cultivadas no semiárido, como o algodão herbáceo, o girassol, o pinhão manso e o caju, com o uso da irrigação pode fortalecer a economia e a produção de biocombustível, diminuindo a dependência de termo fóssil, além de contribuir com a destinação final adequada aos resíduos oriundos de estações de tratamento de efluentes, que não podem ser depositados em aterros sanitários (PEDROZA *et al.*, 2003; TRAJANO *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2015; SOARES *et al.*, 2015). O bio sólido poderá contribuir na produção de cana-de-açúcar irrigada no semiárido, favorecendo a produção de combustível renovável através do etanol de primeira geração e do etanol de segunda geração proveniente da palha e do bagaço da mesma.

Galbe e Zacchi (2010) consideram a produção de etanol de segunda geração um caminho sustentável e rentável, visto que os materiais lignocelulósicos (palha e bagaço da

cana-de-açúcar) são abundantes no mundo e ainda geram baixas emissões de gases de efeito estufa, reduzindo dessa forma os impactos ambientais gerados.

3.4. Conclusão

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a palha e o bagaço da cana-de-açúcar, produzidos com biossólido como fertilizante, têm potencial energético para produção de etanol de segunda geração. Esses resíduos que outrora não eram vistos como possíveis matérias-primas podem ser transformados em biocombustível que atende às necessidade de mercado e coopera com a sustentabilidade do meio ambiente.

Verificou-se que a cana-de-açúcar que recebeu aplicação de biossólido de 1x, 2x, 4x e, sobretudo 8x, obteve um ganho de celulose, capaz de gerar um etanol de segunda geração com maior potencial energético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

ARAÚJO, G.J.F; NAVARRO, L.F.S; SANTOS, B.S. O etanol de segunda geração e sua importância estratégica ante o cenário energético internacional contemporâneo. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.9, n.5, 2013, p. 01-11.

BRASIL. Lei n 12305, 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: 12 jan. 2016.

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.

BRASSOLATTI, F.Z; HESPANHOL, P.A; COSTA, M.A.B; BRASSOLATTI, M. Etanol de Primeira e Segunda Geração. Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação, 2016.

CHIBA, M.K. Uso de lodo de esgoto em cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. Tese - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Piracicaba, 2005.

CRUZ, S.H. Bagaço e palha da cana de açúcar são fontes de celulose para gerar álcool. Visão Agrícola, nº 8, 2008. Disponível em: WWW.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va08-materias-primas03.pdf Acesso em 17 de dezembro de 2016.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. Revista Ceres, Viçosa-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

FERNANDES, A.I; CARVALHO, M.A.R; CARVALHO, L.C.C; NETO, A.M.S. Avaliação de um sistema de irrigação pelas metodologias de Keller e Karmeli, e de Denículi em citros irrigados por gotejamento. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.6, nº. 2, p. 74-80, 2012.

GALBE, M; ZACCHI, G. Produção de etanol a partir de materiais lignocelulósico. In: Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. Ed. Blucher, São Paulo, 2010.

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.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola 2007: Culturas perenes. <http://www.ibge.gov.br>. 18 Abr. 2009.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v.17, p.678-684, 1974.

LIMA, E.E; SILVA, F.L.H; OLIVEIRA, L.S.C; NETO, J.M.S.PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO PROVENIENTE DO BAGAÇO DE PÊNDUCULOS DO CAJU. Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 26 – 35, abr. – jun., 2015.

MARQUES, Fabrício. O alvo é o Bagaço. Revista Pesquisa FAPESP nº 163, set de 2009. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2009/09/01/o-alvo-e-o-bagaco/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2016.

PEDROZA, J.P. HAANDEL, A.C.V; BELTRÃO, N.E.M; DIONÍSIO, J.A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.483-488, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, 2003.

SANTOS, F.A; QUEIRÓZ, J.H; COLODETTE, J.L; FERNANDES, S.A; GUIMARÃES, V.M; REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol.

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012. Revista Química Nova, vol.35, n 5. 2012.

SANTOS, F; COLODETTE, J; QUEIROZ, J.H. Produção de Etanol Celulósico a partir da cana de açúcar. In: Bioenergia e Biorrefinaria: Cana- de -açúcar e espécies florestais. Viçosa, MG: Os Editores, 2012.

SANTOS, G.R.O, Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2016.

SEPLAG. Eixos integrados de desenvolvimento da Paraíba: uma visão estratégica para o Estado/Gustavo Maurício Filgueiras Nogueira[et.al]. João Pessoa: Seplag, 2014.

SILVA, T.G.F; MOURA, M.S.B; ZOLNIERE, S; SOARES, J.M; VINICIUS, L.V; JÚNIOR, W.F.G. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.15, n.12, p 1257 -1265, 2011.

SOARES, L.A; LIMA, G.S; CHAVES, L.H.G; XAVIER, D.A; FERNANDES, P.D; GHEYI, R.H. Fitomassa e produção do girassol cultivado sob diferentes níveis de reposição hídrica e adubação potássica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, PB, UAEA/UFCG –v.19, n.4, p.336–342, 2015.

TRAJANO, E.V.A; SANTOS, R.V; BAKKE, O.A; VITAL, A.F.M; SANTOS, Y.M; QUARESMA, J.M; SALVINO, V.M. CRESCIMENTO DO PINHÃO MANSO EM SUBSTRATOS COM REJEITOS DE MINERAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO-PB. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB – 2010.

ÚNICA, A sustentabilidade do setor sucroenergético brasileiro, Disponível em: <http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>, Acesso em 27 de novembro de 2016.

CAPÍTULO 4

ARTIGO: Análise da produtividade da cana-de-açúcar sob aplicação de biossólido e fertilizante comercial

4.1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, e possui ciclo médio completo 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, necessitando de uma época quente e chuvosa para o desenvolvimento vegetativo, e uma época fria e/ou seca para o enriquecimento em açúcares.

Sua propagação acontece por meio de pedaços de colmos, denominados de toletes. Estes colmos são formados por nós e entre-nós que na base apresentam uma zona de radículas de onde saem raízes finas e fibrosas, formando um sistema fasciculado muito desenvolvido. O colmo é cilíndrico e no topo saem folhas da base dos nós, podendo ou não apresentar inflorescência. Existem diversas variedades cultivadas no Brasil, fruto do cruzamento híbrido das espécies, na busca por variedades resistentes às moléstias e com elevado teor de sacarose (GERMEK, 2005).

O plantio da cana-de-açúcar é uma das atividades econômicas mais importantes na história brasileira e a demanda pelos produtos do setor energético está atualmente em crescimento no âmbito mundial. Conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2015), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com aproximadamente 658,7 milhões de toneladas de cana na safra 2015/2016, e uma área cultivada de 8.995,5 mil hectares.

O bio sólido gerado em estações de tratamento de efluentes (ETE) é caracterizado por sua capacidade de alterar as propriedades físicas do solo, melhorando sua densidade, porosidade e capacidade de retenção de água (MALTA, 2001). 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; e ainda por conter em sua constituição teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, promove o crescimento de organismos no solo, fundamentais para a ciclagem dos elementos (MALTA, 2001).

Folegatti (1999) cita as seguintes vantagens do uso do bio sólido na agricultura: controle da poluição, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes, aumento da produtividade agrícola e melhoria da qualidade dos solos. Como limitações são mencionadas: possível contaminação microbiológica de produtos, bioacumulação de elementos tóxicos, salinização e impermeabilização do solo, desequilíbrio de nutrientes no solo, e possível lixiviação de nitrato.

Pesquisas vêm demonstrando que a aplicação de biofósido em solos tropicais beneficia a produtividade e o rendimento em sacarose da cultura da-cana-de açúcar (SILVA *et al.*, 1998).

A alternativa agrícola para disposição do biofósido é promissora, por favorecer uma alternativa 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 JUNIOR *et al.*, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo investigar o potencial ganho produtivo da cana-de-açúcar com a aplicação do biofósido através de diferentes parâmetros (BRUX, talos, fibra, POL, pureza, umidade, AR, ATR, altura, turbidez, produção de biomassa).

4.2. Metodologia

As informações relativas ao desenvolvimento do experimento estão disponibilizadas no Capítulo 2 (Seção 2.2) desta dissertação.

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 capim em Pedras de Fogo/PB, Neves (2017), selecionou aleatoriamente três plantas da linha do meio de cada lote e em seguida os resultados foram plotados como uma média. Diante da semelhança do experimento, foi usada a mesma metodologia. Após o corte, o peso das plantas de cada lote foi aferido utilizando uma balança tipo industrial.

No laboratório, as amostras passaram por lavagem e moagem para que as análises de BRUX, turbidez, umidade e pol da cana e do caldo, pureza, ar, atr e fibra. Já no campo foi quantificado os talos e a biomassa para que pudessem ser realizadas de acordo com as metodologias descritas por Caldas (2012), no Novo Manual para Laboratórios Sucroalcooleiros. De acordo com o autor, a determinação dos parâmetros tecnológicos na cana desfibrada deve seguir o método da prensa e do digestor a frio.

4.2.1. Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos: parcela testemunha (apenas irrigada, sem utilização de outros insumos), fertilização química comercial e 1x, 2x, 4x e 8x a dosagem calculada segundo Anexo 3 da Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006). Os dados coletados foram analisados mediante a análise de variância (ANOVA) através do teste F, utilizando o teste de Tukey para comparar as médias, com probabilidade de erro de 5% ($p < 0,05$), utilizando o software SISVAR.

4.3. Resultados e Discussão

Os resultados da cana-de-açúcar no que se refere à altura, talos, BRIX, biomassa, fibra, umidade, pol, pureza, AR, ART e turbidez demonstram os efeitos significativos do uso do biofósforo como fertilizante. Os resultados estão apresentados na tabela 4.1 e tabela 4.2.

Tabela 4.1. Teste estatístico de análise de variância dos resultados obtidos a partir de diferentes tipos e dosagens de fertilização para a cana-de-açúcar (altura, talos, brix, biomassa e fibra).

Fonte de Variação	G.L.	ALTURA	TALOS	BRIX	BIOMASSA	FIBRA
		(m)			(Kg)	
Quadrados médios						
Tratamentos	5	0,25	0,005	6,36	1011,09	48,64
Erro	12	0,07	0,001	5,38	77,71	5,31
Total	17					
CV (%)		13,10	8,18	11,90	10,52	12,6
MÉDIAS						
Tratamento		ALTURA	TALOS	BRIX	BIOMASSA	FIBRA
		(m)			(kg)	(%)
Testemunha		186 a1 a2	0,58 a1	18,33 a1	92,21 a2 a3	18,13 a2 a3
Fertilizante comercial		1,87 a1 a2	0,58 a1	17,66 a1	58,36 a1	16,99 a1 a2
Biofósforo 1x		1,76 a1	0,52 a1	19,00 a1	81,55 a1 a2	23,67 a3
Biofósforo 2x		1,96 a1 a2	0,47 a1	21,00 a1	67,58 a1	18,43 a2 a3
Biofósforo 4x		2,10 a1 a2	0,52 a1	19,66 a1	95,79 a2 a3	20,89 a2 a3
Biofósforo 8x		2,58 a2	0,50 a1	21,33 a1	107,36 a3	11,68 a1

Médias seguidas da mesma letra e número, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os diferentes tratamentos de fertilização para a cana-de-açúcar apresentaram diferenças significativas para alguns parâmetros. Analisando os resultados da altura da planta, pode-se constatar que o biofósforo 1x não foi diferente do fertilizante comercial, havendo intersecção nos tratamentos testemunha, fertilizante comercial, biofósforo 2x e 4x,

demonstrando que nesse aspecto os tratamentos com aplicação de biofósido não foram tão eficientes, tendo o biofósido 8x o mais expressivo resultado, com plantas com maior altura.

Referente aos parâmetros talos e BRIX (sólidos solúveis no caldo), todos os tratamentos apresentaram significância semelhante, ou seja, não houve nenhum resultado mais expressivo em quaisquer que tenham sido as dosagens do biofósido, igualando-se ao testemunha e fertilizante comercial. De acordo com Caldas (2012), o BRIX é a determinação da porcentagem de sólidos dissolvidos em solução.

Os resultados da produção de biomassa por diferentes tratamentos resultou significativamente diferente. Contudo, o biofósido 2x e o fertilizante comercial não apresentaram diferença significativa. Já o biofósido 8x foi o que apresentou melhor resultado da produção de biomassa, mostrando-se um tratamento eficiente. Os tratamentos testemunha e biofósido 4x apresentaram a mesma significância. O uso do biofósido apresentou resultados expressivos referente a biomassa, principalmente quando as dosagens foram maiores, resultando no ganho de massa da cana-de-açúcar. Acredita-se, no entanto, que este fenômeno se deu pela aplicação do biofósido em 4 e 8 vezes. Esse processo proporcionou à cana-de-açúcar um ganho de massa acima do visto no fertilizante comercial.

Os resultados da fibra da cana-de-açúcar mostraram diferenças significativas para alguns tratamentos, sendo o biofósido 1x o mais expressivo e com valores mais elevados. Os tratamentos testemunha, biofósido 2x, 4x e 8x apresentaram resultados parecidos entre si, ou seja, mesmo com as dosagens diferenciadas, não houve efeito tão expressivo. A porcentagem da fibra da cana-de-açúcar reflete a eficiência da extração da moenda, ou seja, quanto mais alta a fibra da cana-de-açúcar menor será a sua eficiência de extração.

Tabela 4.2. Teste estatístico de análise de variância dos resultados obtidos a partir de diferentes tipos e dosagens de fertilização para a cana-de-açúcar (umidade, pol, pureza, ar, art e turbidez).

Fonte de Variação	G.L.	UMIDADE	POL	PUREZA	AR	ART	TURBIDEZ (UNT)
		Quadrados médios					
Tratamentos	5	19,7	7,5	11,1	0,006	795,1	32030,6
Erro	12	94,1	4,6	2,3	0,002	197,5	18135,6
Total	17						
CV (%)		15,28	12,90	1,79	8,19	11,14	19,28
Tratamento	MÉDIAS						TURBIDEZ (UNT)
	UMIDADE	POL	PUREZA	AR	ATR		
Testemunha	65,06 a1	15,44 a1	84,07 a1	0,58 a1	119,05 a1	715,66 a1	
Fertilizante comercial	64,68 a1	14,44 a1	83,42 a1	0,58 a1	112,79 a1	701,33 a1	
Biossólido 1x	59,87 a1	16,15 a1	84,84 a1 a2	0,52 a1	116,56 a1	788,00 a1	
Biossólido 2x	65,36 a1	18,02 a1	85,83 a1 a2	0,47 a1	123,70 a1 a2	738,66 a1	
Biossólido 4x	65,43 a1	16,96 a1	86,10 a1 a2	0,52 a1	127,01 a1 a2	750,66 a1	
Biossólido 8x	60,54 a1	18,94 a1	88,85 a2	0,50 a1	157,73 a2	496,66 a1	

Médias seguidas da mesma letra e número, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No que refere-se a umidade, POL, ar e turbidez, os resultados não foram significativamente diferentes, ou seja, mantiveram-se praticamente constantes entre os tratamentos. Segundo Sousa (2001), para efeito satisfatório, é preciso que a turbidez apresente os menores índices, evitando assim, gastos com a clarificação do caldo na produção de açúcar e etanol. De acordo com os dados obtidos, constatou-se que, a aplicação do biossólido apresentou os índices mais baixos de turbidez, ou seja, os mais indicados. Ainda assim, essa diferença não foi significativa.

Já em relação à umidade, Segundo Rabelo (2010), o objetivo da análise de umidade é medir a quantidade de água e outros componentes voláteis presentes no bagaço a 105°C. O estudo da umidade do bagaço se faz necessário devido à grande utilização atual do mesmo e o seu aproveitamento como combustível em caldeiras, gerando vapor para aquecimento e para geração de energia elétrica para consumo na usina e para vender às concessionárias de energia elétrica. Quanto menor a quantidade de umidade do bagaço maior seu poder calorífico, o que

gera otimização na produção de energia. O grau de eficiência do sistema de geração ou cogeração depende da tecnologia empregada em cada usina.

A quantidade de glicose e frutose presentes na cana-de-açúcar, que afetam diretamente sua pureza, já que refletem em menor eficiência na recuperação da sacarose pela fábrica, é chamada de açúcar redutor (AR). Em relação ao aspecto pureza, constatou-se que entre os tratamentos testemunha e fertilizante comercial não houve diferença significativa, assim como entre o biossólido 1x, 2x, 4x e 8x. O indicador que representa a quantidade total de açúcares da cana-de-açúcar (sacarose, glicose e frutose) é chamado de ATR, o mesmo representa a capacidade da cana-de-açúcar em ser convertida em açúcar e álcool através dos coeficientes de transformação de cada unidade produtiva. Os resultados do ART foram significativamente diferentes para o tratamento biossólido 8x, já os tratamentos testemunha, fertilizante e biossólido 1x tiveram resultados similares. Os tratamentos biossólido 2x e 4x não apresentaram diferença entre si.

Os resultados encontrados para o BRIX estão parecidos aos encontrados em outros trabalhos que utilizaram o biossólido como fertilizante. Em relação os valores da fibra da cana-de-açúcar em que se fez uso do biossólido, foi possível perceber que os resultados obtidos, principalmente a dosagem 8x, foram mais significativos, comparando com outros trabalhos. Os resultados encontrados para o pol, pureza, AR e ATR são semelhantes aos apresentados em outros estudos (MARQUES *et al.*, 2005; CAMIOTTI, 2006; TASSO JÚNIOR, 2007).

4.4. Conclusão

Os resultados obtidos com o experimento que durou aproximadamente 1 ano e meio se mostraram eficientes e viáveis. A Resolução Conama 375/06 indica a dosagem ideal para aplicação do biossólido no solo e os resultados demonstraram influência do uso do biossólido para diversos parâmetros da cana-de-açúcar, como por exemplo, no período de maturação e BRIX.

O tratamento com o biossólido foi aplicado em lotes de cana-de-açúcar e comparados com lote testemunha e de fertilizante comercial, demonstrando maior produtividade quando aplicado o biossólido 2x, 4x e 8x. Nos demais tratamentos com o biossólido também se obtiveram bons resultados, no entanto, não foram tão expressivos.

Desta forma, conseguiu-se comprovar a viabilidade da aplicação do biossólido no solo, atendendo aos requisitos legais e aproveitando um resíduo que normalmente seria

desperdiçado em aterros sanitários. Assim, o biossólido vem mitigar a questão legal da disposição dos resíduos sólidos (lodo gerado em ETE'S) e agregar valor econômico a produção da cana-de-açúcar, além de contribuir de forma sustentável com o meio ambiente.

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.

ASPLAN. Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba. Disponível em: <<http://asplanpb.com.br/>> Acesso em 10 de janeiro de 2017.

CALDAS, C. Novo Manuel para Laboratórios Sucroalcooleiros. Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Piracicaba, 2012. 744p.

CAMILLOTI, F. Efeitos no solo e em plantas de cana-de-açúcar cultivadas com lodo de esgoto e vinhaça. Tese de doutorado UNESP. Jaboticabal, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Cana de açúcar. Safra 2015/2016, 2015.

FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. 460p.

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.

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.

MARQUES, M; CAMILOTTI, F; MARQUES, T.A; TASSO JÚNIOR, L; SILVA, A. Cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Colloquium Agrariae*, v.1, n.2, 2005.

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.

PAOLIELLO, J.M.M. Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. Bauru, 2006. 180p. Dissertação “mestrado em engenharia” - Faculdade de Engenharia, Campos de Bauru, Universidade Estadual Paulista.

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.

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.

SOUSA, E.R. Noções sobre qualidade da água. Monografia em Engenharia Cível –Lisboa, Portugal, 2001.

TASSO JÚNIOR, F; MARQUES, M.O; FRANCO, A; NOGUEIRA, G.A; NOBILE, F.O; CAMILLOTTI, F; SILVA, A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal. V.27, n.1, 2007.

CAPÍTULO 5
CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões em cenário mundial vêm crescendo no tocante ao uso de energia limpa e sustentável, buscando atingir sempre a eficiência, mas diminuindo os impactos ao meio ambiente. Assim, o uso do bio sólido aponta para uma alternativa sustentável para resolver a questão da disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários, podendo ser viável economicamente, por se tratar de material rico em nutrientes que podem servir para a fertilização de diversas culturas, e em especial da cana-de-açúcar.

Ao longo do experimento que teve duração de um ano e meio, foram realizadas análises do solo antes e depois da aplicação do bio sólido, a fim de conhecer as propriedades e possíveis carências do mesmo. O tratamento de fertilização do solo com bio sólido na cultura da cana-de-açúcar mostrou-se possível e viável, agregando valor nutricional à planta, bem como, econômico, já que se trata de um resíduo que seria descartado e que poderá ser aproveitado.

A aplicação do bio sólido foi realizada segundo orientações oficiais, preconizando as dosagens estabelecidas pela Resolução Conama 357/06. No entanto, as dosagens de bio sólido aumentaram 2, 4 e 8 vezes o recomendado com a finalidade de comprovar este estudo, no qual, viabilizamos o uso do bio sólido como fertilizante na produção da cana-de-açúcar agregando valores positivos a mesma. Foi possível então, comprovar os benefícios que essa fertilização alternativa é capaz de possibilitar à planta.

Sendo a cana-de-açúcar matéria-prima para produção de açúcar e álcool e tendo uma demanda alta em nosso país, uma possível solução para os resíduos provenientes dos processos industriais é a utilização da palha e do bagaço para produção de etanol de segunda geração.

Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que a palha e o bagaço da cana-de-açúcar, produzidos com bio sólido como fertilizante, têm potencial energético para produção de etanol de segunda geração. Esses resíduos que outrora não eram vistos como possíveis matérias-primas podem ser transformadas em biocombustível que atende a necessidade de mercado e coopera com a sustentabilidade do meio ambiente.

No tocante a maturação da cana-de-açúcar, percebeu-se que a cultura chegou a sua maturação em um período de tempo menor, quando aplicado o bio sólido. Os resultados demonstraram que a eficiência do bio sólido foi superior ao tratamento com fertilizante comercial.

Foi comprovado durante a pesquisa que a quantidade de nitrogênio e fósforo estavam em quantidades adequadas para atender os necessidades nutricionais da cana-de-açúcar. No

que se refere ao potássio, não se obteve uma boa suplementação, devido a sua pouca incidência no bio sólido.

É importante salientar que a maior preocupação quanto à contaminação são as dosagens sucessivas e o efeito residual e cumulativo causado por elas, já que as quantidades da maioria dos metais pesados são pequenas no bio sólido.

Assim, o uso do bio sólido como fertilizante representa uma saída sustentável para um resíduo que antes era destinado aos aterros. O uso do bio sólido como fertilizante pode substituir o fertilizante comercial, dando mais benefícios ao ambiente, bem como à produtividade da cana-de-açúcar.

Dessa forma, foi possível comprovar a viabilidade do uso do bio sólido como fertilizante na cultura da cana-de-açúcar, mostrando sua importância na produtividade da cultura e nutrição do solo, além de garantir uma solução econômica e sustentável para a destinação dos resíduos sólidos gerados em ETE's.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A 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: 14 de março . 2017.

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.

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do setor de fertilizantes 2007. São Paulo, 160p. ISSN 0103-4790. 2008.

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.

ANDRAUS, S.; BORGES, J. C.; MEDEIROS, M. L. B.; TOLEDO, E.B.S. Sobrevivência de Bactérias Entéricas do Lodo de Esgoto, em Solo Agrícola. *Sanare*. v.8, n.8. 1997.

ANDREOLI, C. V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

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.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2001.

ARAÚJO, G.J.F; NAVARRO, L.F.S; SANTOS, B.S. O etanol de segunda geração e sua importância estratégica ante o cenário energético internacional contemporâneo. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.9, n.5, 2013, p. 01-11.

ASIA, I. O; OLADOJA, N. A;BAMUZA-PEMU, E. E. Treatment of textile sludge using anaerobic technology. American Journal of Biotechnology, Ekpoma, v. 5, p. 1678-1683, set. 2006.

ASPLAN. Associação dos Plantadores de Cana da Paraíba. Disponível em: <<http://asplanpb.com.br/>> Acesso em 10 de janeiro de 2017.

BAER, Werner. A industrialização e o desenvolvimento econômico do Brasil. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1965.

BALAN, D.S.L.; MONTEIRO, R.T.R. Decolorization of textile indigo dye by lignolytic fungi. Journal of Biotechnology, Americana, São Paulo, v.89, p.141-145, 2001.

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.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Reciclagem de lodo de esgoto na agricultura. Biodegradação. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, p. 93–113, 2001.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S.A.P.. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. São Paulo, 2004.

BORGES, F. Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia. Dissertação (Mestrado em engenharias de processos), Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville, 74 p, 2008.

BRASIL. Lei n 12305, 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: 12 jan. 2016.

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.

BRASSOLATTI, F.Z; HESPANHOL, P.A; COSTA, M.A.B; BRASSOLATTI,M. Etanol de Primeira e Segunda Geração. Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação. São Paulo, 2016.

BRIEGER, 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.

CAMILLOTI, F. Efeitos no solo e em plantas de cana-de-açúcar cultivadas com lodo de esgoto e vinhaça. Tese de doutorado UNESP. Jaboticabal, 2006.

CASSINI, S. T. Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

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.

CHIBA, M.K. Uso de lodo de esgoto em cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. Tese - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Piracicaba, 2005.

CLIMATE-DATA. Clima: Pedras de Fogo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/42653/>. Acesso em 27 janeiro 2018.

COLANZI, J.; PIETROBON, C. L. R.; Caracterização Físico-Química e Térmica de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia textil. XI Encontro Anual de Iniciação Científica - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Cana de açúcar. Safra 2015/2016, 2015.

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-deaçúcar: 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.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. Revista Ceres, Viçosa-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yields Response to Water. Rome: FAO, 1979. 306 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

ECKHARDT, D, P. Fertilizantes orgânicos: índice de eficiência e produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Ed, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas – SP, 2010.

FLIEBBACH, A.; MARTENS, R. & REBER, H.H. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavymetal contaminated sewage-sludge. Soil Biology and Biochemistry. V. 26, nº9. P. 1201-1205, 1994.

FERNANDES, A.I; CARVALHO, M.A.R; CARVALHO, L.C.C; NETO, A.M.S. Avaliação de um sistema de irrigação pelas metodologias de Keller e Karmeli, e de Denículi em citros irrigados por gotejamento. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.6, nº. 2, p. 74-80, 2012.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Companhia de Saneamento do Paraná –SANEPAR, 1999.

FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. 460p.

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.

FROSTEGARD, A.; TULIND, A.; BAATH, E. Phospholipid fatty acid composition, biomass, and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different metals. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 54, p. 3605- 3617, Helgonvägen, Sweden, 1993.

GALBE, M; ZACCHI, G. Produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos. In: Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. Ed. Blucher, São Paulo, 2010.

GANS, J.; WOLINSKY, M.; DUNBAR, J. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science*, 309:1387-1390, 2005.

GERMEK, H.A. Análise de decisão sobre o aproveitamento do palhico 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. rev. 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.

GOMES, R.T.; PICOLI, J.F.; MARTINS, M.; CAPUCCIO, L.P.; MATSUURA, M.I.S.F. Avaliação de ciclo de vida de fertilizantes: fase de uso. VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014. Campinas, São Paulo, ago. 2014.

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.

HASSEMER, M.E.N.; SENS, M.L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. Engenharia sanitária e ambiental, vol. 7, n. 1, jan./mar. 2002 e n. 2, abr./jun. 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola 2007: Culturas perenes. <http://www.ibge.gov.br>. 18 Abr. 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>> Acesso em: 21 de novembro de 2016.

IFA - International Fertilizer Industry Association; UNEP United Nations Environment Programme. Tradução: ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2000. Disponível em:< http://www.anda.org.br/multimidia/fertilizantes_meio_ambiente.pdf> Acesso em 17 de janeiro de 2017.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. Manejo de Irrigação utilizando o modelo de Hargreaves e Samani. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013, 10p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v.17, p.678-684, 1974.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relações solo – planta. São Paulo: Agronomica Ceres, 1979.

KNUTH, K. R. Gestão Ambiental: Um estudo de caso para o setor têxtil – S.C. 2001. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2001.

KUMMER, A. C. B. Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja. 194 f. 2013. Tese (Doutorado) – Agricultura, Universidade estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013.

LAMBAIS, M. R.; SOUZA, A. G. Impacto de biossólidos nas comunidades microbianas do solo. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, p. 269–279, 2000.

LEDAKOWICZ, S.; GONERA, M. Optimisation of Oxidants Dose for Combined Chemical and Biological Treatment of Textile Wastewater. *Water Research*, v. 33, p. 2511 – 2516, EUA, 1999.

LEITA, L.; DENOBILI, M.; MUHLBACHOVA, G.; MONDINI, C.; MARCHIOL, L.; ZERBI, G. Bioavailability and effects of heavy-metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. *Biology and Fertility of Soils*, v. 19, p. 103-108, Údine, Italy, 1995.

LIMA, E.E; SILVA, F.L.H; OLIVEIRA,L.S.C; NETO, J.M.S. Produção de etanol de segunda geração proveniente do bagaço de pedúnculos do caju. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 26 – 35, abr. – jun., 2015.

LIMA, V. L. A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

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.

MARQUES, M.O; BELLINGIERI, P.A; MARQUES, T.A; NOGUEIRA, T.A.R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. *Revista acadêmica Bioscience Journal*. Uberlândia, vol.23, n.2, 2007.

MARQUES, M; CAMILOTTI, F; MARQUES, T.A; TASSO JÚNIOR, L; SILVA, A. Cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Colloquium Agrariae*, v.1, n.2, 2005.

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, Campina Grande, 2002.

MATSUOKA, S. Relatório anual do programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Araras, UFSCar, CCA, DBV, 2000.

MARQUES, F. O alvo é o Bagaço. Revista Pesquisa FAPESP nº 163, set de 2009. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2009/09/01/o-alvo-e-o-bagaco/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2016

MAYA, F.L.A. Produtividade e viabilidade econômica da recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensivamente com e sem o uso da irrigação. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba - São Paulo, 2003.

MILLER, L.C. Definição das práticas agrícolas a serem realizadas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Exploração e Manejo da lavoura da cana-de-açúcar. Araras - SP, 2008.

MONTEIRO, M.F. Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfato simples. 2008. Tese (Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Departamento de engenharia ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

NEVES, T.I. Aproveitamento energético do bio-sólido 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.

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, 2006. 180p. Dissertação “mestrado em engenharia” - Faculdade de Engenharia, Campos de Bauru, Universidade Estadual Paulista.

PEDROZA, J.P.; HAANDEL, A.C.V; BELTRÃO, N.E.M; DIONÍSIO, J.A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de bio-sólido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.483-488, Campina Grande, 2003.

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 da Indústria Têxteis – Uma Primeira Abordagem. *Química Têxtil*, p. 22 – 39, São Paulo, 1998.

PETROBRAS. Relatório de sustentabilidade 2015. Disponível em:<http://www.petrobras.com.br/pt/sociedade-e-meio-ambiente/relatorio-de-sustentabilidade/> Acesso em: 25 de novembro de 2016.

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. p. 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.

RIBEIRO, P.H. Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados. (2009). Tese (Doutorado em engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROCHA, R. E. M; PIMENTEL, M. S; ZAGO, V, C, P; RUMJANEK, N, G; DE-POLLI, H.. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*., Brasília, v. 38, n. 12, p. 1435-1441, dez. 2003.

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> Acesso em: 22 de janeiro de 2017.

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 15 de janeiro de 2017.

SANDAA, R. A.; ENGER, O. & TORSVIK, V. Abundance and diversity of Archaea in heavy-metal-contaminated soils. *Applied Environmental Microbiology.*, v. 65, p. 3293-3297, Bergen, Norway, 1999.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Curitiba, 1999.

SANTOS, G. C. G. DOS; RODELLA, A. A. Utilização do Biossólido na Caesb na Produção de Milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciências dos Solo*, Brasília, v. 31, n. 2, p. 793– 804, 2007.

SANTOS, F.A; QUEIRÓZ, J.H; COLODETTE, J.L;FERNANDES,S.A; GUIMARÃES, V.M; REZENDE,S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012. *Revista Química Nova*, vol.35, n 5. 2012.

SANTOS, G.R.O, Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2016.

SEPLAG . Eixos integrados de desenvolvimento da Paraíba: uma visão estratégica para o Estado/Gustavo Maurício Filgueiras Nogueira[et.al]. João Pessoa: Seplag, 2014

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, M. M.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F. Reuso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. Recursos hídricos em regiões semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p.155-169.

SILVA, T.G.F; MOURA, M.S.B; ZOLNIERE,S; SOARES, J.M; VINICIUS, L.V; JÚNIOR, W.F.G. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, V.15, n.12, p 1257 -1265, 2011

SOARES, L.A; LIMA, G.S; CHAVES, L.H.G; XAVIER, D.A; FERNANDES, P.D; GHEYI, H.R. Fitomassa e produção do girassol cultivado sob diferentes níveis de reposição hídrica e adubação potássica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, v.19, n.4, p.336–342, 2015.

SOUSA, E.R. Noções sobre qualidade da água. Monografia em Engenharia Cívica –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.

TASSO JÚNIOR, F; MARQUES, M.O; FRANCO, A; NOGUEIRA, G.A; NOBILE, F.O; CAMILLOTI, F; SILVA, A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. Engenharia Agrícola, Jaboticabal. V.27, n.1, 2007.

TORSVIK, V.; DAAE, F.L.; SANDAA, R.A. & OVREAS, L. Novel techniques for analysing microbial diversity in natural and perturbed environments. Journal of Biotechnology, Bergen, Norwal, v. 64, p. 53-62, 1998.

TRAJANO, E.V.A; SANTOS,R.V;BAKKE, O.A; VITAL, A.F.M; SANTOS, Y.M; QUARESMA, J.M; SALVINO, V.M. Crescimento do pinhão manso em substratos com

rejeitos de mineração do semi-árido-PB. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB – 2010.

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, São Paulo, 2002.

VIG, K.; MEGHARAJ, M.; SETHUNATHAN, N.; NAIDU, R. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: A review. *Advances in Environmental Research.*, Bergen, Norwal, v.8, p. 121-135, 2003.

VITTI, G.C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. Nutrição e adubação da cana de açúcar. 2005. Disponível em < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 23 de janeiro de 2017.