

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA**

**VALORIZAÇÃO DO USO AGRÍCOLA DA CINZA RESIDUAL DO**  
**BAGAÇO DE CANA- DE- AÇÚCAR**

**ÉRICA APARECIDA ROMERO ORTEGA**

Dissertação encaminhada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia como requisito para a obtenção do título de mestre em Bioenergia, área de concentração Biocombustíveis.

**Maringá, Junho de 2013**

**Campus Universitário – Av. Colombo, 5.790 – Bloco C – Sala 02 – CEP 87.020.900 – Maringá – PR**

**Fone: (44) 3011-4321**

**e-mail: [ppb@deg.uem.br](mailto:ppb@deg.uem.br)**



**Universidade Estadual de Maringá**

*Programa de Pós-Graduação em Bioenergia*

**Mestranda:**

Érica Aparecida Romero Ortega

**Formação de graduação:**

Bacharel em Economia

**Orientador(a):**

Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

**Linha de pesquisa:**

Impactos ambientais e sócio-econômicos

**Título da Pesquisa**

Valorização do uso agrícola da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar.

**Local de realização:**

Universidade Estadual de Maringá

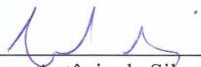
Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central – UEM, Maringá – PR., Brasil)

077v	Ortega, Érica Aparecida Romero Valorização do uso agrícola da cinza residual do bagaço de cana-de-acúcar / Érica Aparecida Romero Ortega. -- Maringá, 2013. 67 f. : il. color.  Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Bioenergia, 2013.  1. Fertilização do solo. 2. Fuligem. 3. Resíduo sólido. 4. Sustentabilidade. 5. Viabilidade. I. Ravagnani, Mauro Antonio da Silva Sá, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.  CDD 22.ed. 631.422
------	---

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA**

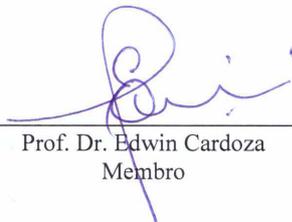
Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por **Érica Aparecida Romero Ortega** perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Bioenergia em 20 de agosto de 2013.

**COMISSÃO JULGADORA**



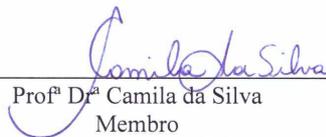
---

Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani  
Orientador/Presidente



---

Prof. Dr. Edwin Cardoza  
Membro



---

Profª Drª Camila da Silva  
Membro

*Dedico esta etapa tão importante de minha vida a uma grande mulher “Mauriza Angélica Leite Ortega” (in memoriam), exemplo de profissionalismo e humanidade.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus que sempre direciona minha vida.

Aos meus pais que me educaram com base em valores sólidos de responsabilidade e determinação. E me ensinaram que na vida nada tem que ser fácil, pois quanto maior o desafio maior a vitória.

Ao meu marido, meu alicerce, companheiro e amigo. Obrigado pela paciência e compreensão.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani que me direcionou nesta jornada, a minha eterna gratidão por ter me dado esta oportunidade.

Ao Prof<sup>o</sup> Pedro Arroyo pelo trabalho realizado como coordenador do Programa de Mestrado em Bioenergia na UEM.

A todo o corpo docente do Programa de Bioenergia que nos apoiou nesta jornada, transmitindo seus conhecimentos e nos dando a direção de nossas pesquisas.

Aos colaboradores da UEM, em especial a Maria Sueli, exemplo de eficiência e prestatividade.

Ao meu amigo Marcos Garcia, que me apoiou na coleta de informações desta pesquisa. E a todos os gerentes e colaboradores da empresa que me receberam.

E um agradecimento especial a Prof<sup>a</sup> Ricardina que no dia de minha formatura em meio a um abraço me disse que se afastaria para o doutorado e gostaria de me ver substituindo-a como professora colaboradora. E nesse momento me direcionou no caminho da docência no ensino superior, onde encontrei a minha realização profissional.

## RESUMO

O Brasil é classificado como o maior produtor e exportador de açúcar, e tem destaque na produção de etanol originado da cana-de-açúcar. Com o surgimento de novas plantas industriais e a ampliação das áreas de plantio a quantidade de bagaço tem aumentado substancialmente, proporcionando através do processo de queima o aumento da geração de cinza residual. O destino da cinza nas usinas sucroalcooleiras paranaenses é na sua maioria os aterros, não sendo aplicados critérios agrônômicos para sua disposição. Esse estudo tem por objetivo geral diagnosticar o resíduo sólido proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar nas caldeiras com a finalidade de utilização agrícola, tomando como objeto de estudo a cinza residual de uma destilaria localizada no noroeste do estado do Paraná na safra 2012/13. Inicialmente foi realizada uma pesquisa descritiva sobre o processo de geração e disposição da cinza residual na indústria sucroalcooleira selecionada. A investigação foi também documental, porque se valeu de documentos internos da indústria, como relatórios de produção, relatórios de emissão de efluentes, critérios referenciais para recomendação de adubação em cana-de-açúcar. Para buscar estas informações utilizou-se da pesquisa de campo, através de visitas a planta industrial e entrevistas. Após o levantamento dos dados foi utilizada a metodologia de avaliação econômica para identificar a taxa interna de retorno (TIR) que é um indicador da rentabilidade do projeto e do payback simples que fornece o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Com base nas quantidades de nutrientes verificados na análise e nos valores pagos pelos fertilizantes minerais, verificou-se uma taxa de retorno para o investimento de 3% ao ano e um payback de 18 anos, que apesar de significativos não viabilizam a implantação do circuito de fuligem. No entanto, cabe ressaltar que a legislação ambiental vigente exige a correta disposição deste resíduo e somente com a separação dos circuitos de lavagem da água da lavagem da cana e da retirada da fuligem dos gases e das grelhas da caldeira, é possível se obter uma cinza em condições de caracterização química e aplicação no solo de forma ambientalmente responsável.

**Palavras-chave:** Fertilização do solo; Fuligem; Resíduo sólido, Sustentabilidade, Viabilidade.

## ABSTRACT

The Brazil is classified as the largest producer and exporter of sugar, and has prominence in ethanol production originated from cane sugar. With the appearing of new industrial plants and the expansion of planting areas the amount of bagasse has increased substantially, providing through the process of burning the increased generation of residual ash. The destiny of ash sugarcane mills in Parana is mostly landfills not being applied agronomic criteria for their disposal. This research has objective the technical and economic viability of the agricultural use of the ash originated in the process of burning of bagasse, taking as object of study the residual ash from a distillery located in the northwest of the state of Paraná in 2012/13 crop. Initially was fulfilled descriptive a research about the process of generation and disposal of residual ash in the sugar industry selected. The investigation was also documentary, because it was worth of internal industry documents, such as production reports, reports issuing effluent criteria benchmarks for fertilizer recommendation on sugarcane. To get this information, we used the research field, through visits to industrial plant and interviews. After the survey was used for data evaluation methodology to identify the economic internal rate of return (IRR), which is an indicator of the profitability of the project and the simple payback that provides the time required to recover the initial investment. Originated 21,806, 200 tons of residual ash in the season 2012/13, calculated the proportions of nutrients in the ash identified in chemical analysis totaling 6.59 tonnes of N, 28.72 tons of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 128.55 tonnes of K<sub>2</sub>O. Based on the amounts of nutrients observed in the analysis and the amounts paid by mineral fertilizers, we obtained a final value of R \$ 557,081.40 (Five hundred and fifty-seven thousand, eighty-one dollars and forty cents), which although significant is not enough to make economically viable investment of U.S. \$ 5,000,000.00 (Five million dollars) to implement a circuit soot. However, it is noteworthy that the current environmental legislation requires the proper disposal of this waste, and only with the separation of circuits wash water from washing the cane and removal of gases and soot from the boiler grates, it is possible to obtain a ash in conditions of chemical characterization and soil application of environmentally responsible manner.

**Keywords:** soil fertilization; Soot; Solid Waste, Sustainability, Viability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar entre as safras 1948/49 a 2010/11.....	05
<b>Figura 02:</b> Mapa de Localização das Unidades Produtoras de Etanol e Açúcar do Estado do Paraná.....	07
<b>Figura 03:</b> Esquema simplificado do processo de industrialização da cana-de-açúcar.....	08
<b>Figura 04:</b> Fluxograma da produção da cinza do bagaço de cana.....	22
<b>Figura 05:</b> Bagaço de cana-de-açúcar (a) e diferentes cinzas residuais geradas após a queima do bagaço em caldeira: cinza escura com alto teor de carbono, característico de combustão incompleta (b), cinza com menor teor de carbono (c) e cinza gerada após combustão completa (d).....	25
<b>Figura 06:</b> Área industrial e lavouras de cana-de-açúcar da indústria sucroalcooleira.....	37
<b>Figura 07:</b> Fluxograma da caldeira AT 200 da DEDINI.....	42
<b>Figura 08:</b> Fluxograma do Circuito de Fuligem .....	44
<b>Figura 09:</b> Cinza residual sendo descarregada na caçamba do caminhão.....	45
<b>Figura 10:</b> Cinza residual sendo processada no filtro horizontal a vácuo para retirada da umidade.....	48

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012.....	07
<b>Tabela 02:</b> Produção e utilização do bagaço por todas as unidades visitadas nos Estados – safra 2009/2010.....	11
<b>Tabela 03:</b> Efluentes líquidos da produção sucroalcooleira.....	16
<b>Tabela 04:</b> Composição química de diversas cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.....	24
<b>Tabela 05 :</b> Resultados analíticos da cinza residual.....	49
<b>Tabela 06 :</b> Análise econômica da cinza residual considerando a quantidade deste resíduo na safra 2012/2013 na indústria analisada.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALCOPAR	Associação de Produtores de Bioenergia do estado do Paraná
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.
ATR	Açúcar Total Recuperável
BRIX	Teor de sólidos solúveis (Brix)
CBC	Cinza do bagaço de cana-de-açúcar
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CTC	Centro de tecnologia canavieira
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA/Rima	Estudo de Impacto Ambiental e o respectivo Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IAP	Instituto Ambiental Paranaense
ISO	Internacional Organization for Standardization
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MW	Megawatts
NBR	Normas Brasileiras
POL	Sacarose
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
USDA	United States Department of Agriculture (USDA)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	Erro! Indicador não definido.
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
2.1 SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO .....	4
2.1.1 O processo de industrialização da cana-de-açúcar e a cogeração de energia no setor sucroalcooleiro.....	8
2.2 ASPECTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA.....	12
2.2.1 Legislação e gestão dos resíduos sólidos na indústria sucroalcooleira ..	19
2.3 CARACTERÍSTICAS E POSSIBILIDADES DE USO CINZA RESIDUAL DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	22
2.3.1 Possibilidades de destinação da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar.....	26
2.3.2 Uso agrícola da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar .....	28
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
3.1 Descrição da Indústria.....	33
3.2 Caracterização química da cinza residual .....	34
3.3 Análise econômica .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA .....	37
4.2 DESCRIÇÕES DO PROCESSO PRODUTIVO DA DESTILARIA.....	39
4.3 PROCESSO GERADOR E CIRCUITO DE FULIGEM .....	42
4.4 USO AGRÍCOLA DA CINZA RESIDUAL DO BAGAÇO DE CANA .....	47
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é classificado como o maior produtor e exportador de açúcar, e tem destaque na produção de etanol originado da cana-de-açúcar; isso se deve ao estágio de desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro.

Outro importante produto do setor é a energia originada no processo de cogeração através da queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras. Sendo importante fonte energética, aproximadamente 95% de todo o bagaço produzido no Brasil é queimado em caldeiras para geração de vapor utilizado na produção de energia, originando como resíduo a cinza (PAULA et al., 2009).

O crescimento da produção de álcool e da cogeração de energia aumentou a produção de cinzas provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar que fica depositada na grelha da caldeira. Outra fonte de cinza, mais conhecida como fuligem, é resultante da lavagem dos gases originados no processo de combustão do bagaço na caldeira.

De acordo com Malavolta (2001) para cada 1000 kg de cana-de-açúcar processada são gerados 16,5 kg de cinza. Com base nestas informações, calculou-se, que a quantidade de cana moída no Paraná na safra de 2012/13 foi de 40 milhões de toneladas (ALCOPAR, 2013), com um potencial de gerar aproximadamente 660 mil toneladas de cinza no Estado.

O setor sucroalcooleiro tem mostrado experiências bem sucedidas na gestão de resíduos das usinas e destilarias. Segundo Demattê (2009), o processamento da cana nas indústrias do setor apresenta alta quantidade de resíduos orgânicos que podem ser usados nas lavouras de cana-de-açúcar. Mas quando se trata da cinza, de acordo com Zardo et al. (2004) a utilização ainda é restrita.

A implementação da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, fortaleceu a discussão sobre a correta disposição deste tipo de resíduo, inclusive da cinza originada no processo de queima do bagaço de cana nas caldeiras.

O destino da cinza residual nas indústrias sucroalcooleiras paranaenses é na sua maioria os aterros, não sendo aplicados critérios agronômicos para sua disposição. Além disso, existem diferentes tipos de processamento da cana-de-açúcar que também influenciam na composição final da cinza, de modo que as

industrias do setor sucroalcooleiro que realizam o tratamento da água residuária da lavagem da cana, separado da água da lavagem das caldeiras, possuem o resíduo puro (cinza), separado das impurezas do solo, mais adequado a utilização na correção do solo.

Constatou-se no levantamento bibliográfico que ainda não foi realizado um estudo econômico que apresente a viabilidade dos processos de disposição nas usinas, a fim de aproveitar a cinza proveniente do processo de queima do bagaço na adubação das lavouras.

Diante deste contexto, esse estudo tem por objetivo geral diagnosticar o resíduo sólido proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar nas caldeiras com a finalidade de utilização agrícola, tomando como objeto de estudo a cinza residual de uma destilaria localizada no noroeste do estado do Paraná na safra 2012/13.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram: Caracterizar físico/quimicamente a cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar na usina em estudo, visando destino adequado na agricultura; Apresentar a adequação necessária na planta industrial da usina para que se possa ocorrer o aproveitamento da cinza; Realizar um levantamento de investimentos e custos operacionais referentes a implementação do sistema industrial necessário com vistas ao aproveitamento da cinza; Demonstrar a viabilidade econômica da utilização agrícola da cinza residual em substituição a adubação mineral.

Espera-se com este estudo fornecer as informações necessárias para que as indústrias sucroalcooleiras comprovem a viabilidade da adequação dos processos inerentes ao manejo da cinza residual, a fim de agregar valor à mesma, com sua utilização na agricultura de forma ambientalmente responsável.

A fim de atingir os objetivos propostos inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica abordando o setor sucroalcooleiro e os aspectos ambientais inerentes a esta atividade. Posteriormente apresentou-se a metodologia desta pesquisa que caracteriza-se como quantitativa com método descritivo, com a utilização de levantamento documental e pesquisa de campo. Na elaboração da pesquisa buscou-se conhecer as características da indústria utilizada como fonte de levantamento de dados, posteriormente foi apresentado o processo de produção e as fontes geradoras de resíduos na planta industrial, com ênfase na geração e na disposição da cinza residual do processo de queima do bagaço na caldeira,

recolhida na grelha e no processo de lavagem dos gases. Foram apresentados os resultados da análise econômica com relação ao uso agrícola da cinza residual nas lavouras de cana da indústria analisada. E por fim foram feitas as considerações finais e as propostas de trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar esta pesquisa buscou-se conhecer melhor o setor sucroalcooleiro do país e do estado do Paraná, sua representatividade econômica, assim como alguns aspectos de sua cadeia produtiva como a cogeração de energia.

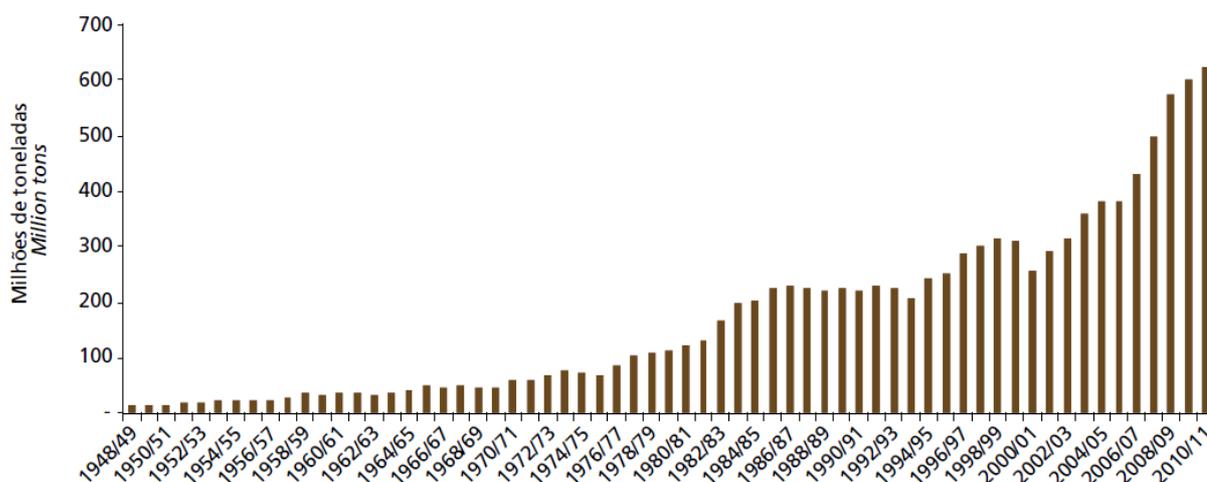
Também foram abordados os aspectos ambientais da produção sucroalcooleira, a geração de efluentes e sua disposição, assim como, a gestão dos resíduos sólidos da indústria sucroalcooleira, com ênfase na cinza residual do bagaço de cana.

### 2.1 SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO

O setor sucroalcooleiro brasileiro abrange as empresas que produzem açúcar ou álcool, ou atuam em algum elo da cadeia produtiva desses elementos. No Brasil, esse setor está diretamente relacionado à cana-de-açúcar, uma vez que este é o principal insumo para os processos produtivos citados (LINS, SAAVEDRA, 2007).

O Brasil é classificado como o maior produtor e exportador de açúcar e tem destaque na produção de etanol originado da cana-de-açúcar (GOES, 2009). O açúcar pode ser classificado em diferentes tipos de acordo com a sua coloração e o grau de pureza do produto. O álcool muda de classificação em função da proporção de água presente na mistura final: o álcool anidro, que é utilizado como aditivo à gasolina; e o álcool hidratado, que pode ser utilizado como combustível diretamente nos motores a álcool ou *flexfuel*. O álcool pode ser destinado a diferentes finalidades, como a indústria farmacêutica ou química, mas a sua aplicação no setor de transportes vem sendo o grande impulsionador do crescimento do negócio sucroalcooleiro (LINS, SAAVEDRA, 2007).

A figura 01 apresenta a evolução da produção brasileira de cana em milhões de toneladas.



**Figura 01:** Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar entre as safras 1948/49 a 2010/11.

**Fonte:** MAPA, 2013.

A produção na safra 2010/2011 foi de 623.947.613 toneladas de cana, sendo 372.911.547 toneladas provenientes de produção em áreas pertencentes as indústrias e 251.036.066 toneladas provenientes de fornecedores (MAPA, 2013).

A produção de etanol no Brasil atingiu 27.604.120 de m<sup>3</sup> na safra 2010/2011, sendo 8.027.283 de m<sup>3</sup> de etanol anidro e 19.576.837 m<sup>3</sup> de etanol hidratado (MAPA, 2013).

Ocorreu um salto na produção de etanol, em especial do hidratado, no Brasil depois de 2003, ano em que ocorreu a introdução dos carros *flexfuel*, fato que causou uma mudança sensível no consumo de etanol no mercado interno nos últimos anos. Os veículos *flexfuel* são tipicamente automóveis ou utilitários leves que operam com gasolina, etanol ou quaisquer misturas destes combustíveis. A diferença entre veículos comuns e os *flexfuel* existentes no Brasil é que nestes o sistema de gerenciamento eletrônico da injeção e da ignição é capaz de identificar, indiretamente, o combustível ou mistura utilizada e ajustar sua operação adequadamente (PIACENTE, 2006).

A produção de automóveis *flexfuel* no Brasil começou com 39.853 unidades em 2003 e atingiu 2.256.158 unidades produzidas em 2010 (ANFAVEA, 2012).

O aumento dos preços do petróleo, associado ao aumento acentuado da demanda por fontes de energia limpas e renováveis, criou um cenário bastante favorável para o etanol como um combustível alternativo à gasolina, pois é um

combustível menos poluente e pode ser produzido de matérias-primas renováveis (BIOSEV, 2013).

Os países de destino das exportações do etanol do Brasil em 2011 foram: Estados Unidos (34%), Coréia do Sul (15,3%), Japão (14,8%), Trinidad e Tobago (8,5%), Jamaica (5,3%), Países Baixos (4,5%), Suíça (3,8%), Nigéria (3,5%), Índia (1,7%) e outros (6,2%) (MAPA, 2013).

O açúcar é uma *commodity* essencial, produzida em várias partes do mundo. A cana-de-açúcar e a beterraba são as matérias-primas básicas utilizadas na produção de açúcar, sendo que a cana-de-açúcar é responsável por mais de 80% da produção mundial de açúcar (BIOSEV, 2013).

O consumo interno de açúcar é estável em torno de 11 milhões de toneladas por ano, isso significa que qualquer crescimento da produção nacional gera maior excedente exportável. Os principais países de destino das exportações de açúcar bruto em 2011 foram: a Rússia (16%), China (10%), Egito (7,6%), Argélia (6,4%), Malásia (5,1%), Bangladesh (5%), Venezuela (4,5%), Canadá (4,2%), Marrocos (4,2%) e Irã (4,0%) (MAPA, 2013).

A importância socioeconômica da agroindústria canavieira no Brasil pode ser observada em diversos aspectos. Um dos mais importantes do ponto de vista da sustentabilidade é a geração de postos de trabalho e renda na área rural (PIACENTE, 2006). O setor sucroalcooleiro foi responsável por aproximadamente 2% do PIB nacional e por 8% do PIB da agricultura no Brasil em 2011, tendo empregado cerca de 4,5 milhões de pessoas (BIOSEV, 2013).

A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro Sul e Nordeste do Brasil. A região centro-sul é responsável por aproximadamente 90% da produção de cana do país, aproximadamente 90% da produção de etanol e 87% da produção de açúcar (BIOSEV, 2013).

A Tabela 01 apresenta a moagem de cana-de-açúcar na safra 2011/2012, onde é possível verificar a representatividade do Paraná no setor sucroalcooleiro do país.



**Figura 02:** Mapa de Localização das Unidades Produtoras de Etanol e Açúcar do Estado do Paraná.

**Fonte:** Alcopar (2012).

Segundo Wregel et al. (2005) o clima tropical e a baixa altitude são responsáveis pelo baixo índice de ocorrências de geadas (em média uma a cada dez anos), nas regiões norte, noroeste e oeste do Paraná. Desta forma, observa-se um clima favorável para o cultivo da cana-de-açúcar, culminando na elevada concentração de usinas sucroalcooleiras nestas regiões.

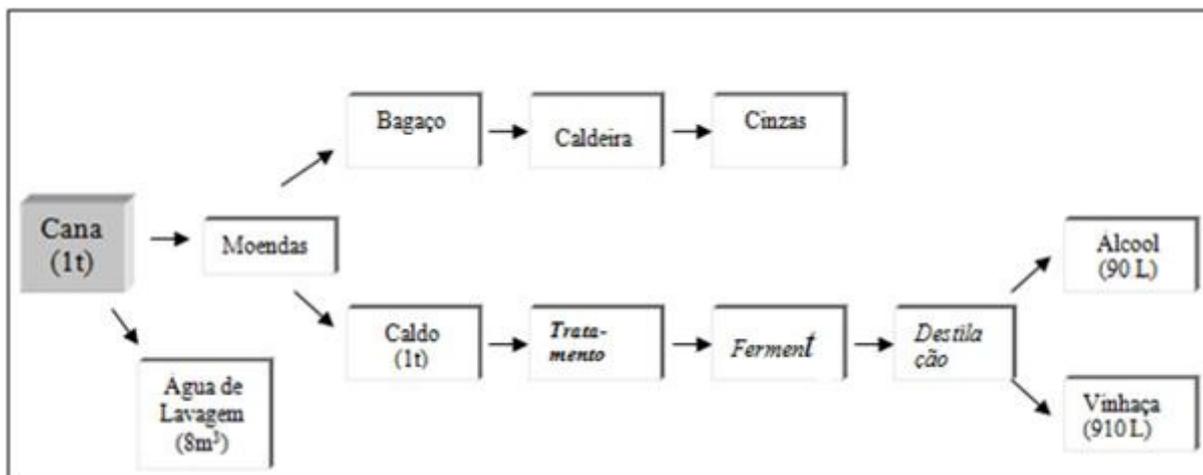
Na sequência é possível entender o processo de industrialização da cana-de-açúcar e o seu potencial de geração de resíduos.

### **2.1.1 O processo de industrialização da cana-de-açúcar e a cogeração de energia no setor sucroalcooleiro**

Os diversos produtos e subprodutos gerados no processamento da cana dependem em grande parte da qualidade com que este insumo chega até as unidades processadoras. Essa qualidade deve-se a uma série de fatores, dentre eles: a variedade; as condições de clima e solo; o sistema de cultivo; ausência ou emprego da irrigação; o estágio de maturação da cana; o teor de impurezas minerais ou de matéria estranha; a sanidade da cana em relação ao ataque de doenças; o tempo de estocagem da cana queimada, e outros (PIACENTE, 2006).

As indústrias sucroalcooleiras geralmente são localizadas nas áreas rurais devido às suas características especiais: necessidade de muita água; transporte de matéria prima; facilidades de recirculação, armazenamento e disposição final de água do processo e resíduos orgânicos originados.

A Figura 03 apresenta esquema simplificado do processo de industrialização da cana-de-açúcar e o potencial de geração de resíduos deste setor.



**Figura 03:** Esquema simplificado do processo de industrialização da cana-de-açúcar.

**Fonte:** ORLANDO FILHO e LEME, 1990.

O processo de industrialização da cana-de-açúcar segue determinados procedimentos padrão descritos a seguir:

#### **a) Recepção da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar, vinda das lavouras é transportada por caminhões chega à usina e é pesada. A fim de avaliar a qualidade da cana recebida e efetuar a sua remuneração, todo o carregamento que chega até a usina tem uma amostra recolhida e analisada. Nessa análise os técnicos avaliam, segundo normalização, a porcentagem de fibras, de sólidos solúveis (Brix) e de sacarose (Pol) da amostra de cana.

#### **b) Lavagem da cana-de-açúcar**

A cana é descarregada sobre a mesa alimentadora, onde passa por um processo de lavagem, a fim de diminuir as impurezas, geralmente areia e terra, que acentuam desgastes nos equipamentos e interferem na qualidade do caldo.

Com o aumento da mecanização das lavouras há uma forte tendência de redução, ou mesmo, eliminação do sistema de limpeza da cana com água. A alternativa é a introdução de sistemas de limpeza a seco, que permitem a remoção de impurezas minerais e parte das impurezas vegetais, resultado da colheita mecanizada ou da colheita de cana crua.

#### **c) Moagem**

A moenda é composta por rolos que esmagam a cana, extraindo-se o caldo e obtendo-se o bagaço de cana. Após a moagem, o bagaço é enviado para a caldeira, onde é queimado para geração de vapor. O bagaço excedente, não utilizado no processo, pode ser vendido para outras empresas.

#### **d) Surgimento da cinza - resultante da queima do bagaço para geração de energia**

O bagaço originado na moenda alimenta, como combustível, a caldeira para produção de vapor. A pressão e a temperatura da caldeira podem variar de 300 °C a 1000 °C, esse vapor direto atinge as turbinas movendo-as de modo a gerar energia mecânica e posteriormente energia elétrica. Destes processos de queima do bagaço surge a cinza residual, objeto deste estudo.

A cogeração de energia está se tornando o terceiro produto do setor sucroalcooleiro, proporcionando a plena utilização do bagaço gerado no processo de produção de açúcar e álcool.

Através do Protocolo de Kyoto, discutido e negociado no Japão em 1997 e em vigor a partir de fevereiro de 2005, diversos países assumiram o compromisso de reduzir a emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerado, de acordo com a maioria das investigações científicas, como a causa do aquecimento global. Por esse tratado internacional se propõe um calendário pelo qual os países desenvolvidos têm a obrigação de reduzir a quantidade de gases poluentes (BACHI, 2006).

Dentro deste contexto, a cana-de-açúcar que era utilizada quase que exclusivamente para a produção de açúcar, tornou-se um novo paradigma de energia limpa e renovável, contribuindo na luta contra o aquecimento global, já que é a matéria-prima mais eficiente na produção de etanol, obtido do caldo, e de bioeletricidade, obtida da biomassa do bagaço e da palha (pontas e folhas) (MARAFON, ENDRES, 2011). “Comparando a queima do bagaço com outros combustíveis fósseis, ela pode ser mais limpa, uma vez que praticamente não libera óxidos de enxofre, relativamente comuns na queima de combustíveis fósseis.” (PIACENTE, 2006, p.123).

Segundo Corrêa Neto e Ramon (2002), as usinas sucroalcooleiras são auto-suficientes em 98% de suas necessidades energéticas, utilizando como combustível o bagaço da cana - de- açúcar. No entanto, a opção histórica do

setor foi por tecnologias de baixa eficiência, porque o objetivo primordial era maximizar a queima do bagaço devido à dificuldade de armazenamento e a pouca relevância do mercado de bagaço *in natura*.

Na Tabela 02 é possível verificar a produção e utilização do bagaço de cana-de-açúcar nos estados produtores e o total do país para a safra 2009/2010.

**Tabela 02:** Produção e utilização do bagaço por todas as unidades visitadas nos Estados – safra 2009/2010

<b>Região</b>	<b>Total de cana moída na safra (T)</b>	<b>Total do bagaço produzido (T)</b>	<b>Bagaço destinado como combustível (T)</b>	<b>Bagaço destinado a outros usos (T)</b>
<b>Centro-Sul</b>	542.776.506	149.397.133	132.178.273	17.218.859
<b>Norte-Nordeste</b>	60.120.155	17.379.668	15.888.863	1.490.805
<b>Brasil</b>	602.896.661	166.776.801	148.067.137	18.709.665

**Fonte:** CONAB, 2011.

O bagaço de cana-de-açúcar, que representa um dos maiores resíduos lenho celulósicos da indústria sucroalcooleira (PANDEY *et al.*, 2000). Considerando a proporção de 16,5 kg de cinza por tonelada de cana (MALAVOLTA, 2001), percebe-se que o Brasil tem uma capacidade de geração de aproximadamente 4,44 milhões de toneladas de cinza residual caso todo bagaço produzido seja utilizado como combustível nas caldeiras das indústrias (Tabela 02), este resíduo deve ter uma correta disposição respeitando a Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Como nem todo bagaço produzido é utilizado na cogeração, ou seja, aproximadamente 89% do total produzido no país (Quadro 01) e a cadeia produtiva sucroalcooleira encontra-se em expansão no Brasil, existe um imenso potencial de produção de excedentes de eletricidade a serem exportados para a rede com a adoção também de tecnologias de produção mais eficientes (PIACENTE, 2006).

A venda dos excedentes de energia elétrica pelas indústrias do setor sucroalcooleiro foi favorecida por mudanças na legislação que garantiram a possibilidade de um elo efetivo entre a produção da energia elétrica e sua venda e disponibilização ao Sistema Elétrico Nacional. Essas mudanças foram descritas por Bley Jr. *et al* (2009, p. 79).

- Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004 – Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões, de autorizações de geração de energia elétrica e dá outras providências.
- Resolução Normativa da Aneel, nº 167, de 10 de outubro de 2005 – Estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de *geração distribuída*.
- Uma alteração introduzida na Lei nº 9.648/98 (a Lei nº 10.438/02 modificou, entre outros, o seu art. 11, § 4º, do mecanismo de sub-rogação da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis – CCC, que passou por sucessivos aprimoramentos e atualmente está regulamentado pela Resolução Aneel nº 146/05), permitiu a transferência dos benefícios da CCC, além das PCHs, já previstas, também para as fontes eólica, solar e de biomassa, implantadas em sistema elétrico isolado, que vierem a substituir geração termelétrica que use derivado de petróleo, no atendimento à demanda atual ou futura, o que vai ao encontro, ao mesmo tempo, do processo de universalização e de introdução de fontes alternativas na matriz energética.

Atualmente, a potência instalada nacional é da ordem de 120.954 MW, dos quais aproximadamente 8.186 MW, ou 6,77% do total nacional, já consistem em geração a partir da queima de bagaço de cana-de-açúcar (BIOSEV, 2013).

Com os avanços tecnológicos do setor sucroalcooleiro e atual necessidade de ampliar o parque de geração de energia elétrica, o bagaço passou a ser ainda mais valorizado como fonte primária de energia. O processamento de cada tonelada de cana necessita de aproximadamente 12 kWh de energia elétrica, que é obtido através de cogeração pelo próprio resíduo da cana-de-açúcar (palha, bagaço e vinhoto) (CORDEIRO, 2006).

Com a cogeração de energia, as empresas diversificam seu *portfólio* de produtos, tornam-se independentes energeticamente e ainda podem contribuir para a matriz energética nacional com uma energia neutra do ponto de vista de emissão de carbono (LINS, SAAVEDRA, 2007).

Com características climáticas favoráveis e dominando a tecnologia do setor sucroalcooleiro, o Brasil tem se destacado no mercado interno e externo na produção de álcool combustível e açúcar, mas apesar de todos os aspectos positivos de crescimento do setor, o segmento necessita corrigir algumas questões ligadas aos aspectos ambientais da produção sucroalcooleira apresentados na sequência.

## 2.2 ASPECTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA

A gestão de resíduos é a adoção de medidas normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor os resíduos sólidos (SEMA, 2009). Com sua implementação, empresas que se preocupam com a gestão de resíduos passam a ter cada vez mais respaldo por parte dos consumidores e usam estes investimentos para a melhoria da imagem e conseqüente aumento de vendas.

O gerenciamento de resíduos deve basear-se em ações preventivas preferencialmente e posteriormente corretivas. Um programa de gerenciamento deve utilizar o princípio da responsabilidade objetiva, onde o gerador é o responsável pelo seu correto tratamento (DO NASCIMENTO; MOTHÉ, 2007).

Para a implantação e a operação de usinas de açúcar e etanol no Brasil, é necessário, nos termos da Resolução CONAMA 237/1997, que sejam adequadamente cumpridas as três fases do licenciamento ambiental, caracterizadas pela obtenção das seguintes licenças (BNDES, CGEE, 2008, p. 181):

- a. Licença Prévia (LP) – aprova a localização e a concepção e estabelece requisitos; básicos e condicionantes a serem atendidos nas fases seguintes.
- b. Licença de Instalação (LI) – autoriza a instalação e inclui medidas de controle ambiental;
- c. Licença de Operação (LO) – autoriza a operação após o cumprimento das exigências estabelecidas nas licenças anteriores, devendo ser renovada periodicamente.

Os documentos básicos para esse processo de licenciamento são o Estudo de Impacto Ambiental e o respectivo Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (EIA/RIMA), conforme a Resolução do CONAMA nº 01/1986. No caso de projetos de menor capacidade ou alteração do processo, que não sejam causadores de impactos ambientais, como a ampliação de sistemas de cogeração, pode-se exigir um Relatório Ambiental Preliminar (RAP), em um procedimento simplificado (BNDES, CGEE, 2008).

As empresas do setor sucroalcooleiro segundo Ribeiro e Morelli (2009), estão implementando as normas elaboradas pela ISO's (*International Standards Organization*), que tratam da questão ambiental e tem como intuito a padronização dos processos de empresas que utilizem recursos tirados da natureza e/ou causem algum dano ambiental decorrente de suas atividades.

Quanto a padronização dos processos, a NBR ISO 9001 especifica requisitos para um sistema de gestão da qualidade que podem ser usados pelas

organizações para aplicação interna, para certificação ou para fins contratuais. Ela está focada na eficácia do sistema de gestão da qualidade em atender aos requisitos dos clientes.

Já a NBR ISO 14000 traz uma série de normas que estabelecem diretrizes sobre a gestão ambiental dentro das empresas: Minimização dos riscos de acidentes pela manipulação de resíduos perigosos; Deposição de resíduos em sistemas apropriados; Promoção de controle eficiente do sistema de transporte de resíduo perigosos; Proteção à saúde da população em relação aos riscos potenciais oriundos da manipulação, tratamento e deposição final inadequada; Intensificação de reaproveitamento de resíduos industriais; Proteção dos recursos não renováveis, bem como o adiamento do esgotamento de matérias-primas; Minimização dos impactos adversos, provocados pelos resíduos no meio ambiente, protegendo o solo, o ar e as coleções hídricas superficiais e subterrâneas de contaminação.

Dentre os aspectos ambientais do setor sucroalcooleiro, os principais são queima na pré-colheita da cana, o uso de água e a disposição dos efluentes (CASADO, SILVEIRA, CRUZ, 2009).

A queima da palha aumenta a produtividade da colheita, mas a fuligem que produz é um problema ambiental que afeta principalmente as cidades localizadas nas regiões canavieiras. Por isso, há uma forte disposição dos órgãos públicos brasileiros para restringir essa prática, principalmente devido emissões de gás carbônico ( $CO^2$ ) na atmosfera (BNDES, CGEE, 2008; WARWICK, ROCHA, 2006 ).

Nesse contexto, verificou-se a necessidade da antecipação para o término da queima da palha da cana-de-açúcar pelo fato das queimadas causarem sérios danos à atmosfera e à saúde da população. Sendo assim, o Projeto de Lei Nº 337, de 2012 alterou a lei número 11.241/2002 do Estado de São Paulo que proibi a queima de cana, antecipando os prazos limites. Ou seja, no ano de 2014, plantações que estiverem em áreas com nivelamento de solo de até 12 graus, consideradas áreas mecanizáveis, não poderão mais ser queimadas. Nas demais, o prazo é até o ano de 2017 (ALVARENGA, QUEIROZ, 2009).

A Resolução nº 076/2010 - SEMA do Estado do Paraná, dispõe que os plantadores de cana-de-açúcar, que utilizam a queima controlada como método para a despalha serão obrigados a eliminar a prática, nas áreas mecanizáveis nos seguintes prazos e percentuais: até 31 de dezembro de 2015 deverá ser eliminada a

queima da cana em 20% do total da área mecanizável do plantio; até 31 de dezembro de 2020, a queima da cana deverá ser eliminada em 60% do total da área mecanizável e até 31 de dezembro de 2025, os produtores terão que eliminar 100% da queima em área mecanizável do plantio da cana-de-açúcar.

São consideradas áreas mecanizáveis na Resolução n° 076/2010-SEMA do Estado do Paraná, plantações em áreas acima de 150 hectares, com declividade igual ou inferior a 12%, além de solos com estruturas que permitam a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade de corte da cana. Já nas áreas não mecanizáveis - plantações em áreas de até 150 hectares - a utilização da queima controlada deverá ser eliminada até 31 de dezembro de 2030, desde que haja tecnologia viável.

Outra preocupação ambiental do setor são as emissões de particulados do sistema de queima de bagaço na caldeira (SILVA, 2000). Com a introdução de caldeiras modernas nas usinas, com menor excesso de ar e queimando bagaço sob temperaturas de chama mais elevadas, os teores de óxidos de nitrogênio nos gases de chaminé atingiram níveis similares aos observados em outros sistemas térmicos de potência e passaram a ser controladas pelos órgãos ambientais, de acordo com a legislação própria, que estabelece limites e penalidades para tais emissões (Resolução CONAMA 382/ 2006).

Existem atualmente várias tecnologias para o controle de particulados em caldeiras a bagaço, como multiciclones, lavadores de gases, precipitadores eletrostáticos e filtros de mangas. Os particulados apresentam diferentes características de dimensões, densidade das partículas e concentração. A granulometria das partículas constitui o parâmetro mais importante para definir o tipo de separador que é possível utilizar com alta eficiência (SILVA, 2000).

As emissões das caldeiras podem e, efetivamente, têm sido abatidas mediante sistemas convencionais de limpeza dos gases de chaminé, com resultados positivos (BNDES, CGEE, 2008). As agroindústrias sucroalcooleiras estão em sua maioria inseridas em programas de redução de emissão de gases. Para tal, estão adotando alternativas como à utilização de equipamentos de alta tecnologia nos processos de produção minimizando a emissão desnecessária de gases (CASADO, SILVEIRA, CRUZ, 2009).

Além das emissões de gases e particulados, outra questão ambiental importante na indústria sucroalcooleira é a geração e o tratamento de efluentes líquidos (Tabela 03).

**Tabela 03-** Efluentes líquidos da produção sucroalcooleira.

<b>Efluente</b>	<b>Características</b>	<b>Tratamento</b>
Água de lavagem de cana.	Médio potencial poluidor e alta concentração de sólidos.	Decantação e lagoas de estabilização para o caso de lançamento em corpos d'água. Na reutilização, o tratamento consiste em decantação e correção do Ph.
Águas dos multijatos e condensadores barométricos.	Baixo potencial poluidor e alta temperatura (~ 50° C)	Tanques aspersores ou torres de resfriamento, com recirculação ou lançamento.
Águas de resfriamento de dornas e de condensadores de álcool.	Alta temperatura (~ 50° C)	Torres de resfriamento ou tanques aspersores para retorno ou lançamento.
Vinhaça e águas residuárias.	Grande volume e carga orgânica elevada.	Aplicação na lavoura de cana conjuntamente com as águas residuárias.

**Fonte:** Adaptado de Elia Neto (2005).

No âmbito do processo industrial, além do volume captado para o processamento da cana, um volume importante de água entra na usina com a própria cana, já que 70% do peso dos colmos é constituído de água. Assim, embora seja estimado um consumo da ordem de 21 m<sup>3</sup> por tonelada de cana processada, a captação e o lançamento de água são bem inferiores. Com relação aos usos, 87% do consumo da água ocorrem em quatro processos: lavagem de cana, condensadores/multijatos na evaporação e vácuos, resfriamento de dornas e condensadores de álcool. Com a racionalização do consumo da água, obtida através das reutilizações e fechamentos de circuitos e algumas mudanças de processo, como a limpeza a seco e a redução da lavagem da cana, por conta do corte mecanizado, a captação tem sido reduzida de modo significativo (ELIA NETO, 2005).

A indústria sucroalcooleira possui uma intensa demanda de água e energia, ao mesmo tempo em que é um potencial gerador de energia elétrica a partir da biomassa do bagaço de cana, a qual é utilizada nas caldeiras para geração de vapor. Ao queimar o bagaço produz cinzas e gases que são eliminados para a atmosfera, podendo poluir o ar. Para conter a emissão desses poluentes são

utilizados os lavadores de gases e cinzas, os quais demandam razoável quantidade de água e geram igual volume de efluentes (TORQUATO JR. et al., s/d)

Segundo Langowski (2007), além da utilização intensiva de água para o processamento industrial da cana-de-açúcar, que origina a geração de efluentes líquidos. O setor industrial também gera resíduos potencialmente poluidores como a vinhaça e a torta de filtro. O primeiro é originário em maior grau a partir da fermentação da cana no processo de fabricação do álcool e em menor como subproduto da fabricação de açúcar. Já a torta de filtro é um resíduo composto da mistura do lodo de decantação, que é originário a partir do processo de clarificação do açúcar, e do bagaço moído.

No processamento de cana nas usinas e destilarias para a produção de açúcar e álcool, são gerados anualmente no Brasil cerca de 320 bilhões de litros de vinhaça e 88 milhões de toneladas de torta de filtro (EMBRAPA, 2008). A fertirrigação, mediante a qual se aplica a vinhaça nos canaviais, é a principal forma de disposição final da carga orgânica, com vantagens ambientais e econômicas. Sua produção pode variar entre 10 e 15 de litros por litro de etanol, constitui o mais importante efluente líquido da agroindústria da cana. Ela é rica em matéria orgânica como potássio, cálcio e enxofre. O seu destino final no solo como fertirrigação deve-se realizar em doses de 150-300 m<sup>3</sup>/ha, a fim de que predominem os seus efeitos positivos sobre o solo em termo de fertilização (WARWICK, ROCHA, 2009).

Se a vinhaça aplicada nas lavouras estiver numa concentração muito alta, pode ocorrer a contaminação tanto do solo quanto do lençol freático. De acordo com Piacente (2005) a alta concentração de vinhaça no solo e no lençol pode acarretar uma alta concentração de diversos metais. Dentre esses, os mais prejudiciais são à amônia, magnésio, alumínio, ferro e o cloreto.

Em 2005 foi implementada a Norma Técnica P4 231 da CETESB referente aos critérios e procedimentos para aplicação da vinhaça no solo agrícola. A referida norma impõe às usinas e destilarias que produzem vinhaça a apresentação de um Plano Anual de Fertirrigação com uma série de exigências de procedimentos para aplicar a vinhaça nos solos, com base na Legislação Ambiental em vigor, tais como: revestimento e/ou monitoramento de depósitos, revestimento de canais principais; afastamento de pelo menos 1.000 metros de núcleos populacionais; distanciamentos específicos para estradas, ferrovias e Áreas de Preservação Permanente (APP); análises de solos e da própria vinhaça, dentre

outros. Estabeleceu-se uma dose mínima de potássio de 185 kg/ha, quando sua concentração no solo estiver acima de 5% da capacidade de troca catiônica do próprio solo (PIACENTE, 2006).

A torta de filtro, assim como a vinhaça, também apresenta potencial de utilização como substituto dos adubos químicos, visando a redução de custos da lavoura de cana. A sua produção é da ordem de 30 a 40 kg por tonelada de cana moída (ALVARENGA, QUEIROZ, 2009).

Sub-produto oriundo da filtragem final do lodo dos decantadores de caldo, a torta de filtro é rica em açúcar - contém até 4% - e sai com 75 a 80% de umidade do filtro rotativo do tipo "Oliver". Sua composição química média apresenta altos teores de matéria orgânica e fósforo, sendo também rica em nitrogênio, potássio e cálcio. A torta de filtro também é rica em micronutrientes, cujos teores variam com a região: Ferro (0,8 a 1,20%), Manganês (500 a 800 ppm), Cobre (40 a 80 ppm) e Zinco (150 a 220 ppm) (PIACENTE, 2006, p. 124)

Para cada mil toneladas de cana moída, as usinas produzem de 30 a 35 toneladas de torta de filtro. Numa dosagem de 20 t/ha de torta de filtro na base úmida, correspondente a 5 t/ha de matéria seca, podem ser fornecidas as seguintes proporções de elementos necessários na adubação e correção dos solos: 100% do nitrogênio; 50% do fósforo; 15% do potássio; 100% do cálcio; e 50% do magnésio (PIACENTE, 2006)

A torta de filtro é um composto muito rico em proteína, sua utilização se dá tanto na irrigação do solo preparado para o plantio da cana-de-açúcar como também no lançamento direto na vala onde a muda da cana será plantada.

O efluente objeto deste estudo compõe uma parte importante dos resíduos sólidos gerados na produção sucroalcooleira e forma-se durante a combustão do bagaço da cana de açúcar nas caldeiras das industriais sucroalcooleiras, são as cinzas que se classificam em leves e pesadas. As leves (volantes), são aquelas arrastadas pelo fluxo de gases e removidas pelos lavadores de gases. As pesadas são as que ficam no fundo da caldeira, sendo chamadas de cinzas residuais, e dessa forma não integram os efluentes aéreos (ARAÚJO, 2002).

O gerenciamento dos resíduos sólidos passa pelo uso racional de matéria prima e energia e num segundo momento pela reciclagem e reutilização dos resíduos (THEODORO, 2005). Na sequência é apresentada a legislação relativa aos resíduos sólidos e sua gestão na indústria sucroalcooleira.

### 2.2.1 Legislação e gestão dos resíduos sólidos na indústria sucroalcooleira

Os principais resíduos sólidos gerados no processo produtivo sucroalcooleiro são: a palha, o bagaço da cana, as cinzas da caldeira (queima de bagaço), embalagens de defensivos agrícolas ou agrotóxicos e vinhoto. Grande parte destes resíduos é reaproveitada seja como adubo orgânico (Vinhoto, cinza, e a palha) ou como matéria-prima industrial (Bagaço) (FIESP/CIESP, 2001).

A preocupação com os resíduos sólidos industriais iniciou-se somente no fim da década de 80, quando foi instaurado o *superfund*, uma legislação específica que visava recuperar os grandes lixões de resíduos sólidos espalhados pelos EUA. E essa abordagem levou a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) a fazer toda uma legislação sobre resíduos sólidos (RIBEIRO, MORELLI, 2009).

Segundo a NBR 10004/2004 resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente viáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

Na definição da NBR 10004/2004, observa-se que alguns resíduos líquidos também são incluídos entre os resíduos sólidos.

Segundo Ribeiro e Morelli (2009) a definição de resíduos sólidos pode sofrer pequenas modificações que, de forma geral, convergem para um ponto comum. E dentre as várias formas de classificar os diversos tipos de resíduos são apresentadas algumas características bastante comuns como: características físicas (secos, molhados), composição química (orgânicos, inorgânicos) e quanto à origem (urbanos, domiciliares, comerciais, serviços públicos, serviços de saúde, portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários, industriais, radioativos, agrícolas, construção civil e demolição).

A NBR 10004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados

adequadamente. A periculosidade do resíduo é analisada em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas. Assim, um resíduo é considerado perigoso quando representar risco à saúde pública ou riscos ao meio ambiente.

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou a atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características, além da comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. De acordo com a NBR 10004/2004 esses resíduos podem ser classificados em Classe I e Classe II.

Em resumo no procedimento para a classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, a Classe I inclui os resíduos perigosos que são aqueles que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde ou ao meio ambiente.

Enquanto que na Classe II, temos os não perigosos, que se dividem em A, quando são não inertes, ou seja, podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, sem se enquadrarem na Classe I. Ou B, quando são inertes, pelo fato de suas características intrínsecas não oferecerem riscos à saúde e que não apresentam constituintes solúveis em água em concentrações superiores aos padrões de potabilidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas a cinza da caldeira, objeto deste estudo, é um resíduo industrial classificado como Resíduo Não Inerte-Classe II A. Por apresentar biodegradabilidade e possibilidade de disposição em aterros. Conforme Resolução CONAMA Nº 313/02 a cinza de caldeira classifica-se sobre o código A111 e os resíduos do sistema de controle de emissão gasosa estão subscritos no código A 028.

Além da NBR 10004/2004 também são empregadas na classificação dos resíduos sólidos a NBR 10005/2004 que normatiza os procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos; a NBR 10006/2004 que traz o procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e a NBR 10007/2004 que se refere a amostragem de resíduos sólidos.

A questão dos Resíduos Sólidos foi considerada pelo Direito Brasileiro de forma predominante na sua história, como uma questão privada enquanto gerado nos domicílios. A intervenção estatal somente justificava-se no passado por motivos

sanitários. Somente em 1967 surge o Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental e a Lei nº 5.318/1967, mas ainda com fortes implicações com o tema do saneamento (RIBEIRO, MORELLI, 2009).

Com relação à disposição e reaproveitamento dos resíduos industriais, a legislação brasileira estabeleceu mais recentemente algumas leis, dentre elas destacam-se a resolução CONAMA 313 de 29 de outubro de 2002 que dispõe sobre o inventário dos resíduos sólidos industriais e a Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece os padrões de lançamento dos efluentes nos corpos hídricos (CASADO, SILVEIRA, CRUZ, 2009).

Uma grande mudança ocorreu com a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos que alterou a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. O Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a referida lei, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

No Estado do Paraná a Lei nº 12.493, de 05 de fevereiro de 1999 estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais.

A Portaria IAP 224, de 05 de dezembro de 2007 estabelece os critérios para exigência e emissão de Autorizações Ambientais para as Atividades de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. No art. 1º desta portaria estabelece-se que além da licença de operação, estão sujeitas à autorização ambiental, os procedimentos, de tratamento e disposição final de resíduos sólidos, tais como: incineração, coprocessamento, aterro, uso agrícola de resíduos e outros sistemas.

Spadotto (2008) afirma que, a gestão de resíduos vai muito além da reutilização destes insumos. Uma modificação no sistema de produção pode representar uma grande redução na produção de resíduos.

A legislação exige que as unidades de produção elaborem inventários de resíduos industriais e revelem sua disposição, a fim de que se conheça o possível impacto desses resíduos. Pelo fato do setor sucroalcooleiro gerar uma enorme quantidade de resíduo e a retirada do mesmo da unidade necessitar de agilidade, o problema torna-se ainda mais difícil. Por esse motivo a rapidez do descarte é

garantida pela reciclagem e utilização desses resíduos nas áreas próximas a indústria (JENDIDOBA et al., 2006).

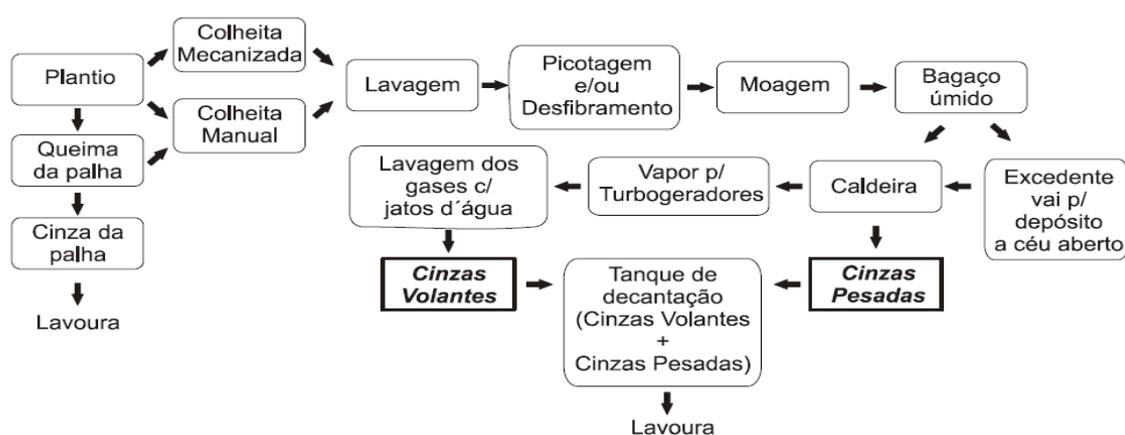
A indústria da cana-de-açúcar gera resíduos primários, como o bagaço da cana e secundários, como as cinzas da sua queima. Na sequência serão descritas as características e possibilidade de uso da cinza residual do bagaço de cana, objeto deste estudo.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS E POSSIBILIDADES DE USO CINZA RESIDUAL DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

De acordo com a Alcopar (2013), no Paraná, a quantidade de cana moída, saltou de 19 milhões de toneladas para 40 milhões de toneladas entre as safras 2000/01 e 2012/13.

De acordo com Malavolta (2001) para cada 1000 kg de cana-de-açúcar 16,5 kg de cinza. Com base nestas informações, observou-se que a quantidade de cana moída no Paraná na safra de 2012/13 foi de 40 milhões de toneladas (ALCOPAR, 2013), com um potencial de gerar aproximadamente 660 mil toneladas de cinza do bagaço de cana no Estado.

Souza et al. (2007) descreve a geração das cinzas em seis etapas (Figura 04).



**Figura 04:** Fluxograma da produção da cinza do bagaço de cana.

**Fonte:** Souza et al., 2007.

O processo inicia-se na colheita que pode ser realizada mecanicamente, sem a queima da cana, através de colhedoras ou manualmente pelos funcionários.

Em seguida, a cana-de-açúcar é transportada ao setor industrial por meio de caminhões, onde é lavada para retirar o solo e impurezas provenientes da lavoura. Na sequência, a cana é desfibrada e enviada à moenda para extração do caldo. O bagaço resultante com umidade média em torno de 50% é transportado da moenda para depósitos a céu aberto onde permanece até ser transportado por meio de uma esteira rolante para a caldeira onde é queimado restando as cinzas residuais (SOUZA et al, 2007).

A cinza consiste num material sólido e acinzentado remanescente da queima completa de qualquer material orgânico passível de ser incinerado (CORDEIRO et al., 2009b).

As cinzas são retiradas das grelhas da fornalha através de um sistema de água em circuito fechado, onde existem canais que são direcionados para as lagoas ou tanques de decantação. Além das cinzas que ficam depositadas na bacia das caldeiras frequentemente misturada com impurezas minerais, tais como areia, pedras, solo (cinza pesada), existe outra fonte de cinza, mais conhecida como fuligem (cinzas volantes), que é resultante da lavagem dos gases, antes de sair pelas chaminés (OBERNBERGER et al., 1997).

As cinzas de biomassa são uma importante fonte de potássio, cálcio, magnésio, fósforo. A aplicação de cinza possibilita a restituição ao solo de uma quantidade importante de nutrientes exportados pela biomassa (NIEMINEN et al., 2005).

Tomando como referência os dados da Tabela 04, constata-se que o silício é o elemento mineral dominante na cinza da queima do bagaço, representando, nas cinco amostras, valores superiores a 29%. Outra possível fonte de sílica para a cinza é a areia (quartzo), oriunda da lavoura, que não é totalmente removida durante a etapa de lavagem no processamento da cana-de-açúcar (CORDEIRO, 2006). O surgimento de concentrações mais elevadas de elementos como o alumínio, titânio e ferro, devem-se à presença de partículas de solo na superfície da planta (TURN et al., 2003).

Os elementos restantes possuem proporções variáveis, mas de um modo geral surge por ordem decrescente o cálcio, magnésio e o potássio como elementos mais importantes.

**Tabela 04:** Composição química de diversas cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

Elementos	Hernández et al. (1998)	Anjos & Martinelli (2008)	Cordeiro et al. (2009)	Singh et al. (2000)	Borlini et al. (2004)	Média
Si (%)	34,01	32,74	36,63	29,53	36,54	33,83
Al (%)	1,39	1,42	2,26	2,57	1,24	1,78
Ti (%)	0,19	0,28	0,30	-	0,18	0,24
Fe (%)	1,37	3,21	1,26	1,89	1,33	1,81
Ca (%)	5,71	2,25	1,54	6,00	1,64	3,43
Mg (%)	1,68	1,59	0,99	7,75	1,81	1,56
Na (%)	0,31	0,00	0,04	-	-	0,12
K (%)	1,44	0,84	1,44	-	2,24	1,49
S (%)	0,05	0,91	-	1,15	-	0,70
P (%)	0,45	-	0,30	-	0,65	0,47

**Fonte:** Adaptado de Pita, 2009.

Com menor representatividade estão também presentes o enxofre, o fósforo e o sódio. Vários podem ser os fatores que influenciam as quantidades e características da cinza, entre elas as condições de combustão, a variedade de cana, a nutrição do canavial, as condições edafoclimáticas impostas à cultura ou até mesmo a eficiência da operação de moagem (TURN et al., 2003).

A composição da cinza é fortemente influenciada também pelas características da biomassa que lhe deu origem, principalmente, a forma de extração de elementos do solo pela planta (OLANDERS, STEENARI, 1995).

O percentual de cinzas residuais geradas na queima do bagaço será variável em função da eficiência do processo de queima das caldeiras que interferem diretamente no rendimento da combustão e nas características da cinza gerada (CORDEIRO, 2006) como é possível visualizar na Figura 05.



**Figura 05.** Bagaço de cana-de-açúcar (a) e diferentes cinzas residuais geradas após a queima do bagaço em caldeira: cinza escura com alto teor de carbono, característico de combustão incompleta (b), cinza com menor teor de carbono (c) e cinza gerada após combustão completa (d)

**Fonte:** CORDEIRO, 2006.

Apesar do elevado teor de umidade, o bagaço possui uma boa ignição devido à presença do alto teor de materiais voláteis (da ordem de 87% em base seca), que representam 78% do poder calorífico e consomem aproximadamente 74% do ar de combustão (PELLEGRINI, 2002).

Segundo Cordeiro (2006), quanto maior a temperatura no interior do salão da caldeira (600 °C a 800 °C) e maior o tempo de exposição ao calor, maior será a quantidade de carbono liberada, produzindo diferentes colorações de cinzas. A cor é indicativa do grau de calcinação a que o bagaço foi submetido e, conseqüentemente, ao seu teor de carbono (Figura 05).

Quando a combustão da biomassa é incompleta, além dos gases e das cinzas, obtém-se também um material negro, o carvão, que corresponde a material orgânico não incinerado (OBERNBERGER et al., 2006).

Com o aumento da temperatura de incineração as tensões de vapor tendem a aumentar e a causar alterações profundas na composição da cinza remanescente (DAVIDSSON et al., 2002).

A temperatura de queima do bagaço de cana-de-açúcar vai determinar o surgimento das diferentes fases da sílica (amorfas ou cristalinas), onde a presença de material cristalino nas cinzas é devida às altas temperaturas de combustão nas caldeiras (TEIXEIRA et al., 2008)

Cordeiro et al. (2009) identificaram que a temperatura de 600 °C é a mais apropriada para produzir uma cinza de bagaço de cana predominantemente pozolânica.

O bagaço de cana-de-açúcar apresenta contaminação de areia do solo que, conseqüentemente, influencia a composição química das cinzas (MALHOTRA, MEHTA, 1996).

A areia, oriunda da lavoura, pode contribuir com a presença de sílica na composição da cinza, quando não é removida totalmente através do processo de lavagem da cana-de-açúcar. O quartzo representa a fase cristalina que torna o material menos reativo e, por conseqüência, com baixa atividade pozolânica

(FREITAS, 2005). Fator impeditivo para utilização deste resíduo na produção de cimento.

Quando considerado a Influência dos diferentes tipos de processamento do bagaço da cana na composição final da cinza, observa-se que as indústrias que realizam a retirada da cinza da caldeira com um sistema de água em circuito aberto, onde a água que passa pelas grelhas se junta nas lagoas de decantação com a água proveniente da lavagem da cana, geram um resíduo com maior proporção de restos de solo e impurezas trazidas do campo (CORDEIRO et al., 2009a)

A cinza originada nas caldeiras das indústrias sucroalcooleiras é um resíduo produzido em grandes quantidades e que é bastante rico em nutrientes e sílica e não contém quantidades consideráveis de metais pesados. O destino da cinza de caldeira tem sido o solo, muitas vezes utilizado como complemento na adubação mineral ou na construção civil, devido à propriedade pozolânica de algumas amostras (DAFICO et al., 2003).

A seguir são apresentados alguns resultados de estudos indicando os possíveis usos da cinza residual.

### **2.3.1 Possibilidades de destinação da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar**

Pesquisas indicam que as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar possuem predominantemente em sua composição sílica que, quando moída em granulometria muito fina, apresenta características químicas e físicas que podem proporcionar ao material, atividade pozolânica e efeito *filler* (NUNES, 2009).

Em um estudo de laboratório que teve por objetivo principal o aproveitamento da cinza do bagaço de cana como *filler* no concreto asfáltico, Leal e Castro (2007) verificaram que o aproveitamento do resíduo é tecnicamente viável. Como benefícios, podem-se citar: menor necessidade de exploração dos recursos naturais e a redução da necessidade de criação de novas áreas de deposição de resíduos.

Segundo Payá et al. (2001), a cinza do bagaço de cana-de-açúcar é um importante material para a confecção de argamassas e concretos devido à alta quantidade de silício (Si) e de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ).

Alguns estudos já foram realizados para avaliar a possibilidade de utilização de cinza proveniente da indústria da cana-de-açúcar para emprego como material pozolânico, pelo fato da cinza conter dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) com estrutura amorfa, que dependendo das condições de queima e de sua granulometria, apresentam características químicas e físicas que podem desenvolver atividade pozolânica (CORDEIRO et al., 2009c).

Caldas et al. (2000) demonstraram através de experimentos baseados na caracterização mineralógica e na avaliação comparativa de propriedades físicas e mecânicas do material, a viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar, visando a produção de materiais e componentes alternativos para o sub-setor da construção civil, tendo como diretriz principal a necessidade da redução dos custos construtivos.

Os referidos autores concluíram que o uso da cinza residual gerada pela queima do bagaço reduz o custo das argamassas ou concretos produzidos através da adição ou substituição parcial ao cimento Portland.

Valenciano (1999) realizou uma pesquisa sobre o aproveitamento de dois resíduos sólidos da indústria sucroalcooleira, a saber, fibras e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, para fins de obtenção de materiais alternativos de construção. Os resultados mostraram que, de um modo geral, as características de resistência e de absorção de água de tijolos confeccionados com misturas de solo-cimento-cinza pouca ou nenhuma influência sofreram pela incorporação de até 20% de cinzas na mistura.

Fairbairn et al. (2010) realizaram um estudo de substituição de cimento por cinzas de bagaço de cana (SCBA) em escala industrial com o objetivo de reduzir as emissões de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. Os resultados indicaram que a cinza misturada ao cimento reduz as emissões de  $\text{CO}_2$ , o que qualifica este produto para projetos de MDL.

Com o objetivo utilizar o resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como uma matéria-prima alternativa de baixo custo em mistura com argila caulinítica para obtenção de cerâmica vermelha. Foram estudadas por Faria et al. (2009) cinco formulações com 0, 5, 10, 15 e 20 % em peso de resíduo de bagaço de cana-de-açúcar misturado com argila caulinítica. Ficou comprovado, após resultados dos ensaios realizados, que a incorporação de resíduos de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar afeta significativamente as propriedades tecnológicas da cerâmica

vermelha. Portanto, o resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar pode ser usado como uma matéria-prima alternativa de baixo custo em cerâmica vermelha, desde que seja adicionado em quantidades moderadas.

Também foi verificado por Teixeira et al. (2010) que é possível a briquetagem de carvão vegetal a partir da cinza do bagaço de cana para ser utilizado como combustível alternativo.

A utilização pela construção civil de resíduos gerados em outros setores da economia é vantajosa não apenas em virtude do aumento da atividade industrial e, conseqüentemente, de subprodutos mas, sobretudo, devido à redução da disponibilidade de matérias-primas não renováveis, tão necessárias às atividades da construção civil convencional (SAVASTANO, 2003).

Diante do cenário volátil que vem acompanhando o setor sucroalcooleiro, é inevitável se pensar em diversificação de produtos e formas de melhor aproveitar os recursos disponíveis como fonte incremental de receita, em uma busca constante por novos produtos e mercados (FIESP/ CIESP, 2001).

Neste contexto, observa-se o total aproveitamento dos resíduos gerados na produção sucroalcooleira, como por exemplo, a utilização da cinza residual nas áreas agrícolas das indústrias sucroalcooleiras.

### **2.3.2 Uso agrícola da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar**

Segundo Feitosa et al. (2009), as cinzas de caldeira de bagaço de cana-de-açúcar, por apresentarem quantidades consideráveis de nutrientes de plantas, podem ser aproveitadas também em solos de baixa fertilidade natural, melhorando as suas características físico-químicas.

Brunelli e Pisani Jr. (2006) ponderam que a utilização da cinza na agricultura é ecologicamente viável e economicamente interessante, pois uma vez incorporado ao solo melhora sua capacidade de retenção de umidade e corrige parcialmente a acidez.

Segundo Demattê (2009), estudar uma forma racional do uso de fertilizantes é de fundamental importância no setor canavieiro devido a diversos fatores: primeiramente, diferente das principais culturas como a soja e o milho, o processamento da cana nas usinas apresenta alta quantidade de resíduos orgânicos que podem ser usados na própria cultura; em segundo lugar, a crise que atingiu o

setor em dois segmentos importantes nos anos de 2008 e 2009, o baixo preço do Açúcar Total Recuperável (ATR) e a elevação dos preços dos fertilizantes, requer a busca por opções diferenciadas de manejo para redução de custos. Segundo a ANDA (2010) em 2006 eram necessários 15,9 toneladas de cana para comprar 1 tonelada de adubo, já em 2009 a quantidade de cana necessária subiu para 32 toneladas.

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea perene pertencente à tribo Andropogoneae e à família Poaceae. É uma planta do metabolismo C4, assim chamada por formar compostos orgânicos com quatro carbonos durante o processo fotossintético. A cultura produz, em curto período, alto rendimento de matéria seca, energia e fibras, sendo considerada uma planta de alta eficiência fotossintética, devido à sua adaptação às condições de alta intensidade luminosa, alta temperatura e relativa escassez de água (SEGATO et al., 2006).

O ciclo de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, é normalmente de 5 anos, com plantio no primeiro ano e quatro rebrotamentos nos anos subseqüentes. O primeiro corte é feito 12 ou 18 meses após o plantio, quando se colhe a cana-planta. Os demais cortes, quando se colhe a cana-soca, são feitos uma vez por ano, ao longo dos quatro anos consecutivos, com redução gradual da produtividade. Geralmente, as usinas renovam cerca de 20% do seu canavial por ano (PIACENTE, 2006).

A produtividade da cana-de-açúcar é regulada por diversos fatores de produção, dentre os quais se destacam: planta (variedade), solo (propriedades químicas, físicas e biológicas), clima (umidade, temperatura, insolação), práticas culturais (controle da erosão, plantio, erradicação de plantas invasoras, descompactação do solo), controle de pragas e doenças, colheita (maturação, corte, carregamento e transporte), entre outros (MARAFON, ENDRES, 2011).

Observa-se que a produtividade do Brasil tem estado abaixo da dos demais produtores mundiais. A produtividade média das lavouras brasileiras gira em torno de 65 a 85 toneladas por hectare, com capacidade de 120 ton/ha (MAPA, 2013). As lavouras brasileiras vêm sofrendo com deficiências de investimento na renovação dos canaviais e na fertilidade do solo, o que provoca baixas produtividades.

Nos últimos anos, houve, no sistema de produção da cana-de-açúcar, um enorme avanço no melhoramento genético das variedades, permitindo o

desenvolvimento de plantas adaptadas às mais variadas condições climáticas, com altas resistências a pragas e doenças e potencialmente mais produtivas. No entanto, as pesquisas na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas foram subestimadas e relegadas a um segundo momento. Isto fez com que, mesmo que de posse de variedades altamente produtivas, aumentos consideráveis de produtividade não fossem alcançados, devido à falta de desenvolvimento de pesquisas capazes de gerar informações para nortear o manejo adequado dos solos para o pleno desenvolvimento destas variedades melhoradas (FREIRE et al, 2007).

A produção agrícola em busca de produtividade crescente exige o uso de corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas, de forma a atender a critérios racionais que permitam conciliar o resultado econômico positivo e a conservação do solo, bem como a elevação constante da produtividade das culturas. Isso não pode ser conseguido com a adoção de práticas de manejo generalizadas, ignorando as particularidades dos solos de diferentes locais (RAIJ, 2011).

No Brasil, o cultivo de cana-de-açúcar ocupa grande extensão territorial, sendo realizado em vários tipos de solos, sob influência de diferentes climas. É importante salientar que vários fatores podem interferir na produção e maturação da cultura, sendo os principais as interações edafoclimáticas, o manejo da cultura e a cultivar escolhida (DIAS, 1997).

O aumento da eficiência das adubações, com melhoria do ambiente radicular, reveste-se de particular importância, principalmente no caso da cana-de-açúcar, na qual os fertilizantes são responsáveis por 20 a 25% do custo total de produção, colocando a cultura como consumidora de 16,3% dos fertilizantes comercializados no Brasil. Segundo dados da ANDA (2010), a cultura canavieira consome 1,6 milhão de toneladas de fertilizantes, anualmente. Neste contexto, além dos aspectos econômicos também estão envolvidos aspectos socioambientais, em decorrência do uso indiscriminado de adubos químicos, que pode acarretar contaminação de lençóis freáticos.

Quanto à viabilidade agronômica da utilização da cinza na correção dos solos, alguns resultados já foram apresentados por pesquisadores, como Brunelli e Pisani Jr. (2006), que em busca de uma adequada alternativa de disposição desse resíduo, caracterizaram a cinza quimicamente, com a análise de suas propriedades agronômicas e concentração de metais pesados, hidrocarbonetos, dioxinas e furanos. Os resultados demonstraram viabilidade e segurança na aplicação da cinza

no solo de acordo com a quantidade e os métodos recomendados e concluíram que o material possui elevada capacidade de retenção de água, aperfeiçoa a irrigação e diminui a lixiviação de compostos no solo. Destacaram ainda que a cinza é fonte de macro e micronutriente essenciais, sendo o potássio o principal elemento.

A utilização da cinza na adubação ainda é restrita por parte de algumas indústrias do setor sucroalcooleiro. Dependendo do sistema de processamento utilizado, a composição final das cinzas pode chegar a 77% de sílica na forma cristalina (ZARDO, et al., 2004). As usinas que utilizam a cinza aplicam em consórcio com a vinhaça e a torta de filtro, no entanto a maioria delas não controlam a quantidade lançada ao solo ou não utilizam critérios agronômicos para a aplicação.

A cinza residual é geralmente utilizada como adubo nas próprias lavouras de cana-de-açúcar (MANHÃES, 1999). Mas existe a alternativa de uso em outras culturas, Feitosa et. al (2009) aplicaram doses crescentes de cinza na cultura do milho em cultivo protegido e verificaram que as doses acima de 60 t ha<sup>-1</sup> substituem toda adubação química recomendada para cultura.

Pita (2009) em um estudo voltado a valorização agrícola da cinza, avaliou o potencial de substituição dos calcários agrícolas por cinzas resultantes da combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa, realizando um ensaio laboratorial de incubação e um ensaio de vegetação em vasos com a cultura do milho (*Zea mays* L. cv. Moncada), no qual os resultados demonstram que a cinza aumentou e estabilizou o Ph dos solos mais rapidamente que os calcários. Por outro lado, gerou um aumento significativo do P e K absorvido pelas plantas bem como do P e K extraível do solo. Assim, a cinza pode ser encarada simultaneamente como corretivo alcalinizante e fertilizante fosfopotássico.

Silveira (2010) realizou uma pesquisa com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de cinza de caldeira proveniente da queima de bagaço de cana-de-açúcar sobre a atividade heterotrófica global e as principais características físico-químicas utilizadas para recomendação de adubação e correção da acidez de solos agrícolas. Concluindo que, a adição de cinzas promoveu o aumento do teor de fósforo e potássio e diminuição da acidez potencial. Os resultados mostraram que a utilização de cinza de caldeira proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar não promoveu qualquer desequilíbrio que reduzisse a atividade heterotrófica global do solo e que pode ser utilizada na adubação do solo aumentando sua sustentabilidade.

A utilização de resíduos da própria indústria sucroalcooleira e de outras agroindústrias na fertilização de solos cultivados com cana-de-açúcar constitui um importante passo na busca por sistemas de produção sustentáveis. A utilização da cinza na agricultura precisa ser definida com base em pesquisas para agregar valor ao processo produtivo, respeitando as recomendações agronômicas e o meio ambiente (MALAVOLTA, 2009).

### 3 METODOLOGIA

Para que o objetivo principal da pesquisa fosse atingido realizou-se uma pesquisa quantitativa com método descritivo (LAKATOS, MARCONI, 2010). Essa alternativa foi escolhida devido à necessidade de identificar o tratamento e a disposição da fuligem originada nas grelhas da caldeira e retirada dos lavadores de gases na indústria sucroalcooleira analisada.

Quanto aos meios, tratou-se de uma pesquisa bibliográfica (LAKATOS, MARCONI, 2010), porque para a fundamentação teórica do trabalho foi realizada investigação sobre os seguintes assuntos: A representatividade do setor sucroalcooleiro no Brasil e no estado do Paraná; os principais aspectos ambientais inerentes ao setor; o manejo e a legislação inerente aos resíduos sólidos e as características e possibilidades de uso da cinza residual originada no processo de queima do bagaço de cana nas industriais sucroalcooleiras do país.

A investigação foi também documental (LAKATOS, MARCONI, 2010), pois valeu-se de documentos internos da indústria, como relatórios de produção da safra 2012/13, inventários de emissão de efluentes e critérios referenciais para recomendação de adubação, calagem e gessagem em cana-de-açúcar.

A pesquisa de campo (LAKATOS, MARCONI, 2010), foi realizada mediante visitas a planta industrial a fim de conhecer o sistema de fuligem empregado, a realização da coleta de amostra da cinza e entrevistas com o Gerente Agrícola da destilaria, o Gerente de Produção e a Gerente de Qualidade para obter informações sobre o processo de geração e disposição da cinza na indústria.

#### 3.1 Descrição da Indústria

A indústria sucroalcooleira onde foram coletadas as informações desta pesquisa foi fundada em 1981, dentro do Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL iniciando suas operações em 1983.

É uma destilaria localizada na região noroeste do estado do Paraná que possui certificação de qualidade “ISO 9001” na fabricação de álcool e na produção de cana-de-açúcar.

Na safra 2012/13 (março/fevereiro) a indústria processou 1.405.063,700 toneladas de cana-de-açúcar com produção de 86.428.000 m<sup>3</sup> de etanol anidro e

25.802.000 m<sup>3</sup> de etanol hidratado. Esta proporção se modifica de acordo com os contratos que são fechados pela indústria.

A capacidade de processamento instala é de 11.000 t/dia de cana e 1.000.000 l/dia de etanol. A produção média atual é de 800.000 l/dia.

Atualmente a indústria conta com 8.181,64 hectares de área plantada, sendo 6.712,30 hectares de área própria e 1.469,32 hectares de fornecedores.

### 3.2 Caracterização química da cinza residual

A fim de identificar os macro e micronutrientes existentes na cinza residual foi coletada uma amostra em 11 de julho de 2013 de 1Kg de cinza diretamente no filtro horizontal a vácuo e empregada a metodologia para determinação de fertilizantes organo-mineral segundo a Instrução Normativa nº 28 (MAPA, 2007), realizada no laboratório de solos da faculdade Integrado de Campo Mourão.

Inicialmente a amostra *in natura* foi reduzida por quarteação a 250 gramas. Cerca de 30 gramas foi retirada para determinação de pH<sub>CaCl2</sub> em solução de 0,01N em potenciômetro com eletrodo combinado, marca Tecnal. O restante da amostra seguiu para a estufa para determinação de umidade a 65°C durante 16 horas.

Após a determinação de umidade a 65°C, a amostra foi moída em moinho de facas e passada em peneira com abertura de malha de 0,5mm (ABNT nº 35), para realização das demais determinações.

O nitrogênio foi extraído pelo método de oxidação com ácido perclórico p.a. e determinado pelo método Kjeldhal (destilador de nitrogênio). O Boro foi extraído por calcinação prévia e determinação com Azometina-h p.a. O Carbono foi extraído com metodologia via úmida com Dicromato de potássio 1N e ácido sulfúrico p.a., a determinação foi realizado por titulação com sulfato ferroso amoniacal a 0,5M.

A extração de fósforo(P), cálcio(Ca), magnésio(Mg), potássio(K), enxofre(S), ferro(Fe), cobre(Cu), manganês (Mn), zinco(Zn), alumínio (Al) e sódio(Na) foram com ácido nítrico e perclórico. A determinação de P e S foram realizadas em equipamento de espectrofotometria, os demais minerais foram determinados em Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA).

A matéria orgânica a 550 °C foi determinada pelo método gravimétrico em equipamento mufla.

### 3.3 Análise econômica

A fim de identificar o valor econômico deste resíduo sólido utilizou-se dos resultados inerentes a análise química realizada (Anexo 01), que descontando a umidade existente calculou-se a quantidade equivalente ao adubo mineral considerando a quantidade de Nitrogênio (N), pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) e óxido de potássio ( $K_2O$ ) contidas em uma tonelada de cinza. Por fim multiplicou-se a quantidade de cada um destes nutrientes pelo valor pago pela indústria analisada no adubo mineral, segundo relatórios de compra disponibilizados.

Através dos resultados obtidos foi possível avaliar o potencial de utilização deste resíduo sólido na adubação das lavouras de cana. Para este fim utilizou-se dos critérios referenciais empregados nas lavouras da indústria que adota as recomendações de Vitti e Mazza (1998). Onde a adubação da cana soca é realizada levando em consideração a expectativa de produção da área e a possível extração dos elementos do solo, considerando que 100 toneladas de colmos extraído do solo aproximadamente 72 Kg de nitrogênio (N) e 128 Kg de óxido de potássio ( $K_2O$ ).

Na cana planta o critério é aplicar 120 a 150 Kg/ha de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), na forma química ou orgânica, tendo em vista os baixos níveis de fósforo nos solos da região da indústria analisada. Com relação ao Nitrogênio (N) e o óxido de potássio ( $K_2O$ ) recomenda-se 63 Kg de N e 112 Kg de  $K_2O$ , por hectare, aplicados em cobertura antes do fechamento das covas (VITTI, MAZZA, 1998).

Considerando que para obter o resíduo em condições corretas para sua utilização (cinza pura) o circuito de fuligem deve operar em sistema fechado, possibilitando a recirculação de toda a água para o processo e a separação dos sólidos de forma compacta e apropriada para o transporte. Foi realizado um orçamento junto à empresa VLC equipamentos (Anexo 02), onde obteve-se um valor para um circuito com vazão de 450 m<sup>3</sup> de R\$ 5.000.000,00 (Cinco milhões de reais) igual ao utilizado na indústria.

Posteriormente, foi utilizada a metodologia de avaliação econômica de Gitman (2003) confrontando através da taxa interna de retorno (TIR) que é um

indicador da rentabilidade do projeto e do payback simples que fornece o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, calculados através de planilha Excel, a fim de verificar a viabilidade da adequação do processo adotado pela destilaria a fim de aproveitar a cinza residual na correção dos solos

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de atingir o objetivo proposto, inicialmente buscou-se conhecer as características da indústria utilizada como fonte de levantamento de dados, posteriormente foi apresentado o processo de produção e as fontes geradoras de resíduos nesta planta industrial, com ênfase na geração e na disposição da cinza residual do processo de queima do bagaço na caldeira, recolhida na grelha da caldeira e no processo de lavagem dos gases. Por fim, foi realizada uma análise econômica com relação ao uso agrícola da cinza residual nas lavouras de cana da indústria analisada.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

Na indústria analisada grande parte das lavouras são próximas a planta industrial (Figura 06), o que facilita o processo de transporte da cana e a utilização dos resíduos no processo de fertilização das lavouras.



**Figura 06:** Área industrial e lavouras de cana-de-açúcar da indústria sucroalcooleira.  
**Fonte:** Fornecido pela indústria analisada.

As variedades de cana cultivadas são: RB 855156 (Hiperprecoce); RB 966928 (Precoce); SP 81-3250 (Precoce); RB 835054 (Precoce); RB 855453 (Precoce); RB 72454 (Média); RB 867515 (Média).

Em condições normais, a cana tem a sua maturação influenciada por fatores como umidade do solo, temperatura, características físicas e químicas, tratos culturais e diferenças varietais. A cana atinge sua maior riqueza em sacarose quando o seu crescimento cessa. Quando a cana é usada sem atingir a maturação plena, as fermentações são difíceis e o rendimento industrial é proporcional ao teor de sacarose no colmo (NÓBREGA, PAIVA, 2009). Portanto a variedade desempenha papel importante no processo produtivo da indústria. Existem variedades de maturação precoce, média e tardia que devem ser implantadas de acordo com o planejamento da safra e dos contratos de comercialização.

Os tipos predominantes de solo nas áreas utilizadas pela indústria são: Latossolo Amarelo Textura Média; Latossolo Vermelho Alico Textura Média; Latossolo Vermelho Eutrófico Textura Argilosa; Nitossolo Vermelho Eutrófico e Euférrico Textura Argilosa; Latossolo Vermelho Distrófico Textura Argilosa.

O solo é um dos fatores que mais influenciam no crescimento da cana-de-açúcar, constituindo o substrato aonde as plantas vão se desenvolver e dele retirar os nutrientes de que necessitam. Todavia, por ser uma planta rústica a cana desenvolve-se bem em praticamente todos os tipos de solo, porém, apresenta melhor desempenho em solos com boa aeração, boa drenagem e com profundidade superior a um metro (CARVALHO, 2008).

A produtividade média na safra 2012/13 foi de 77 toneladas por hectare de cana colhido, acima da produtividade média do Estado do Paraná na mesma safra que foi de 66,2 toneladas por hectare segundo Alcopar (2013).

A indústria encontra-se em processo de adaptação a Resolução nº 076/2010-SEMA do Estado do Paraná, anteriormente abordada, no que diz respeito a eliminação da queima da cana no processo de colheita com 80% da área mecanizada. Atualmente a indústria conta com 10 máquinas para colheita da cana.

O espaçamento entre linhas utilizado na área destinada a colheita mecanizada é de 1,5 m e nas áreas ainda não mecanizadas utiliza-se 1,4 m. Segundo Benedini e Conde (2008) devido ao tráfego intenso de máquinas, o espaçamento ideal entre linhas para a colheita mecanizada é de 1,50 m. Este maior

espaço entre ruas de cana resulta em uma colheita sem injúrias ao canavial possibilitando uma maior longevidade.

O pisoteio das linhas de cana durante as safras resulta em queda de produtividade bem superior ao aumento previsto pela redução do espaçamento. Ensaio conduzido pelo CTC mostram queda de produtividade próxima a  $10 \text{ t ha}^{-1}$  por ano somente pela ação do pisoteio na colheita mecanizada quando o espaçamento é inferior a 1,5 m entre linhas (BENEDINI, CONDE, 2008).

A média da safra 2012/13 foi de 15% de cana inteira e 85% de cana picada (sem queima). Fator que está causando modificações na planta industrial, inicialmente no processo de limpeza da cana, que só é lavada em dias chuvosos, devido ao potencial de perda de sacarose da cana picada quando lavada.

A indústria não aderiu ao sistema de limpeza a seco devido à baixa eficiência deste processo, o que tem dificultado o processo produtivo devido à quantidade de impurezas vegetais e minerais enviadas à indústria no processo de colheita mecanizada.

A indústria caracteriza-se como uma destilaria autônoma pelo fato de produzir apenas álcool diretamente da cana-de-açúcar. A seguir constam as descrições do processo produtivo adotados.

#### 4.2 DESCRIÇÕES DO PROCESSO PRODUTIVO DA DESTILARIA

Após a colheita de cana-de-açúcar, a mesma é carregada em veículos que transportam a matéria-prima até a destilaria. Os veículos são pesados antes e após o descarregamento, e é realizada a amostragem da cana recepcionada para avaliação do teor de sacarose pelo controle de qualidade.

A lavagem, feita sobre as mesas alimentadoras, retira matérias estranhas à planta, como terra, areia etc., para a obtenção de um caldo de melhor qualidade e aumento da vida útil dos equipamentos. Na maioria das vezes não ocorre o processo de lavagem da cana picada, somente em dias chuvosos. Lava-se apenas a cana inteira que representa atualmente 15% da cana processada na indústria.

Quando ocorre a lavagem o consumo de água é de  $3,6 \text{ m}^3$  por tonelada de cana. O circuito de lavagem utilizado é fechado e independente do processo de retirada de fuligens da caldeira, funciona através de bombeamento com volume de

1.000 m<sup>3</sup> por hora e uma reposição de 50 m<sup>3</sup> por hora, esta reposição ocorre devido as perdas decorrentes da evaporação e de possíveis vazamentos.

A água residual segue para seis células de sedimentação com 3600 m<sup>3</sup> cada, onde o manejo é feito através do esgotamento de uma célula por vez com a retirada através de pá carregadeira dos resíduos da decantação que compõem-se de barro, palha, areia e ponteiros de cana. Este resíduo é aplicado nas lavouras pela sua composição em matéria orgânica e resíduos de solo (areia e argila).

A água utilizada na planta industrial é captada dos rios Ligeiro e Timbotú, e de poços artesianos. A água de poços é utilizada para a indústria e consumo humano, sendo tratada através de cloração. A água dos rios é tratada através de coagulação e decantação com sulfato de alumínio, correção de pH com hidróxido de sódio e filtro de areia, ocorrendo sua reutilização em circuito fechado no processo de lavagem de cana quando necessário.

Após a recepção a cana é picada e desfibrada. A extração do caldo ocorre por um conjunto de moendas de cinco ternos de 42" x 78" com embebição composta. O caldo de cana extraído pelas moendas passa por peneiras rotativas a fim de remover o bagacilho em suspensão. A areia e a terra são removidas durante o processo de decantação.

O caldo peneirado é então tratado com adição de leite de cal e enviado para os regeneradores, aquecedores, decantadores e para o processo de evaporação.

O caldo misto é aquecido em trocadores de calor (aquecedores) até a temperatura de 90°C a 105°C. Nesta temperatura o caldo estará adequado à decantação e pasteurização, isto é, praticamente isento de bactérias contaminantes não esporuladas.

Para a purificação do caldo, em seguida ocorre à adição de polímeros com a finalidade de floculação e decantação de impurezas nos decantadores. O caldo sobrenadante é retirado dos decantadores e parte enviada para evaporação, concentração e produção de xarope, ocorrendo a mistura na linha de caldo após o tanque, resultando, em sua mistura, no mosto destinado à fermentação.

As impurezas sedimentadas constituem o lodo, que é retirado do decantador e enviado à filtração para recuperação de açúcar na forma do caldo filtrado. Com a adição do bagacilho, o lodo decantado passa por filtro rotativo à vácuo, e o caldo resultante (caldo filtrado) é conduzido para o tanque de caldo misto

para ser tratado novamente, depois é encaminhado para o decantador. Nesse processo origina-se a torta de filtro (lodo retido no filtro).

É nesta fase que os açúcares presentes no mosto são transformados em álcool (etanol). Durante a fermentação do mosto pela levedura, ocorre liberação de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), geração de calor e formação de alguns produtos secundários como: glicerol, álcoois superiores, aldeídos, entre outros.

O tempo de fermentação varia em média 10 horas. Ao final deste período praticamente todo o açúcar já foi consumido, produzindo álcool com a conseqüente redução da liberação de gases. O processo é realizado, em batelada, em dornas fechadas.

Ao terminar a fermentação, o teor médio de álcool nas dornas é de 7% a 12%, e a mistura resultante recebe o nome de vinho bruto. O vinho contém a levedura multiplicada durante a fermentação. Devido à grande quantidade de calor liberada durante o processo e à necessidade da temperatura ser mantida baixa na faixa de 32°C, é preciso realizar o resfriamento do vinho com “trocadores de placa vinho/água”, processo executado em circuito fechado com torres de resfriamento, com reposição apenas para compensar perdas de processo.

Procede-se a lavagem dos gases de saída em uma torre de recheio para recuperação do álcool evaporado, por absorção deste em água, que é retornada ao processo.

O vinho bruto é centrifugado para a recuperação do leite de levedura. O concentrado do fermento recuperado, retorna às cubas para o tratamento, que é diluído com água e tratado com ácido sulfúrico/antibióticos. A fase leve da centrifugação, ou apenas vinho, é enviada para a destilação.

A destilação é feita em aparelhos próprios denominados colunas de destilação. Obtêm-se, na primeira etapa da destilação o álcool hidratado, com grau alcoólico entre 92,6 e 93,8 °INPM, vinhaça e óleo fúsel. A vinhaça é reaproveitada para fertirrigação em áreas agrícolas e o óleo fúsel armazenado para venda.

O álcool hidratado é posteriormente desidratado, com o auxílio do monoetilenoglicol em uma coluna denominada coluna de desidratação, chegando a 99,3 e 99,9°INPM.

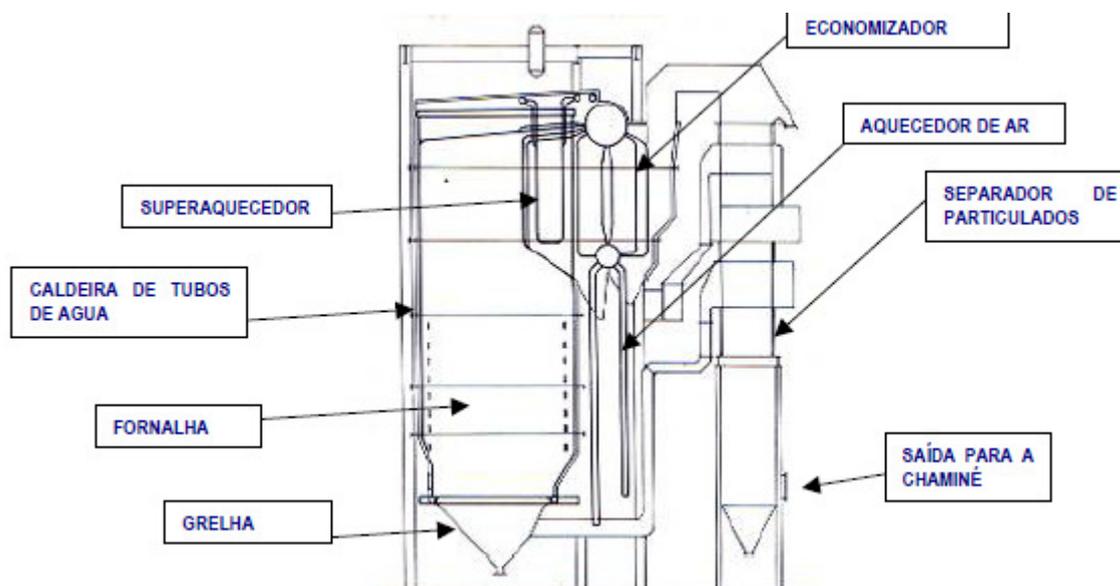
O álcool produzido é armazenado em tanques com capacidade total 81.000m<sup>3</sup>, onde aguardam seu carregamento a granel por caminhões.

Para gerar a energia necessária a todo o sistema produtivo a destilaria utiliza o bagaço originado no processo produtivo do álcool como combustível na caldeira que gera vapor e toca as turbinas gerando energia. Nesse processo descrito a seguir, origina-se a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, que se concentra na grelha da caldeira (cinzeiro) e nos gases que passam pelos processos de remoção de particulados.

#### 4.3 PROCESSO GERADOR E CIRCUITO DE FULIGEM

A destilaria utiliza-se de uma caldeira AT 200 da Dedini (Figura 07) que produz cerca de 200 toneladas/hora de vapor tipo água tubular, utilizando bagaço de cana como combustível. Com um consumo de 90 toneladas de bagaço/hora com 50% de umidade e uma eficiência de queima de 95%. A indústria é quase auto-suficiente energeticamente, na safra 2011/12 foram gerados 21.150 MW e consumidos apenas 2.273 MW da concessionária (Copel).

Nem todo o bagaço é utilizado na geração de energia, pelo fato da indústria não vender seus excedentes para a concessionária. Sobram em média 500 toneladas por dia, que são comercializadas.



**Figura 07:** Fluxograma da caldeira AT 200 da Dedini

**Fonte:** Indústria analisada

Na composição da caldeira observou-se a existência dos principais componentes: **Grelha:** Elemento que suporta o combustível em combustão, ao mesmo tempo que distribui o ar primário. Este dispositivo garante também a remoção periódica da cinza acumulada; **Fornalha:** Local da caldeira onde acontece a combustão do combustível; **Tubos de água:** São superfícies evaporativas que cobrem parcial ou totalmente as paredes da fornalha; **Superaquecedor:** O vapor saturado é superaquecido até a temperatura de operação. Possui dispositivos para a regulagem da temperatura do vapor, denominados atemperadores; **Aquecedor de ar:** Superfície onde ocorre o pré-aquecimento do ar que será introduzido na fornalha, junto com o bagaço; **Economizador:** Pré-aquece a água de alimentação até uma temperatura um pouco mais baixa que a de saturação (normalmente não se gera vapor neste equipamento); **Separador de particulados:** Equipamento instalado antes do ventilador, que tem por função capturar as partículas existentes nos gases através da diminuição da velocidade de arraste e impactação com água, no caso de lavadores de gases via úmida.

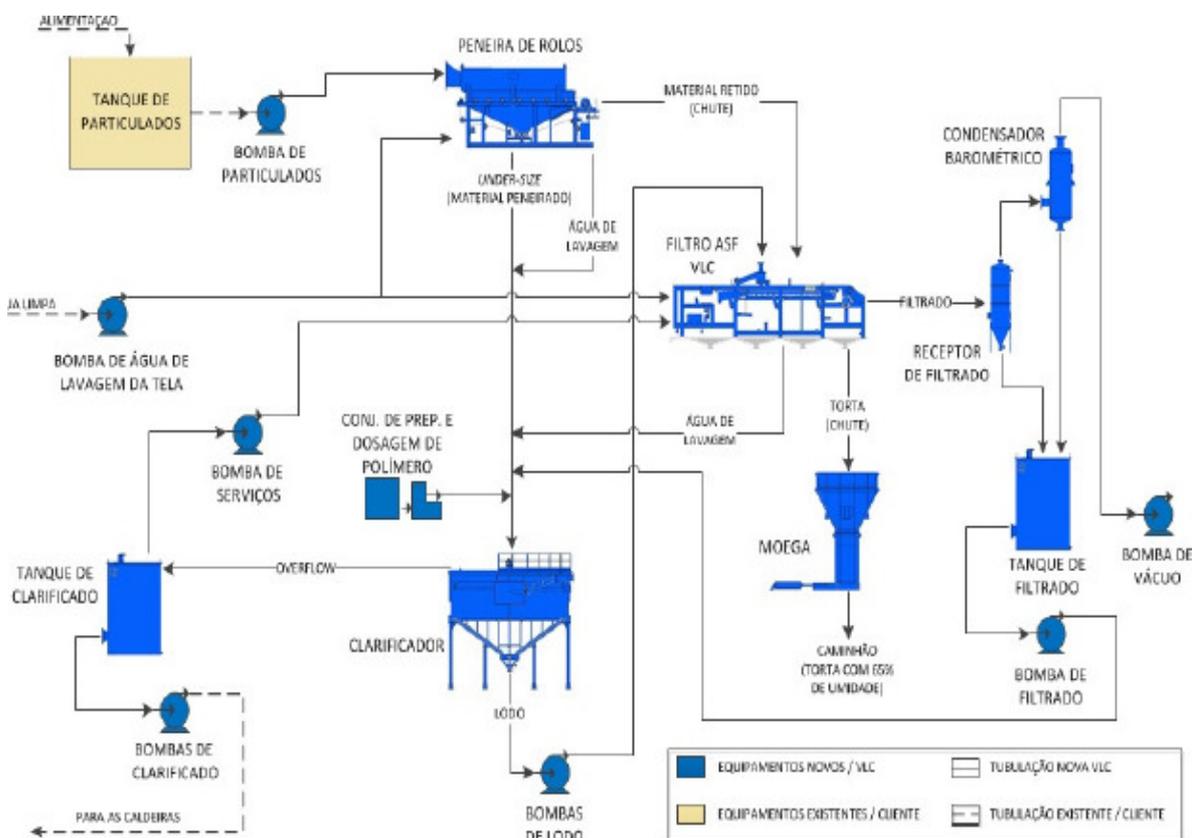
De forma geral, os sólidos residuais compreendem, além de fuligem de bagaço, grande quantidade de materiais não queimados e resíduos minerais oriundos do solo (areia e argila). O total de fuligem esperado pode ser relacionado diretamente à capacidade de geração de vapor da caldeira. A quantidade de bagaço mal queimado depende da eficiência de queima da caldeira, a qual depende do tipo e das condições operacionais do equipamento. Caldeiras mais modernas tendem a gerar menos bagaço mal queimado. Os sólidos minerais dependem dos processos de colheita e transporte da cana, bem como, da existência e dos tipos de sistemas de lavagem da cana na indústria.

Com o aumento da colheita mecanizada, e conseqüente redução da utilização de água de lavagem na cana, maior quantidade desses sólidos vem sendo observada, na indústria analisada observou-se 12,5 Kg de sólidos residuais (areia, argila e não queimados) para cada tonelada de cana, quando o aceitável segundo o gerente industrial é 10 Kg destes resíduos por tonelada de cana.

Na queima de bagaço de cana na caldeira, a parte mais leve dos sólidos residuais é arrastada junto aos gases de exaustão. Os sólidos não arrastados pelos gases se depositam nos cinzeiros da caldeira e também precisam ser removidos, para evitar a obstrução do equipamento e a perda de eficiência.

A remoção da fuligem na caldeira é feita através de sopro de vapor no fundo da grelha para uma canaleta por via úmida, este processo é contínuo. Outro ponto de retirada de fuligem é através dos lavadores dos gases para remoção das fuligens, que são dispostas em canaletas via úmida. O sistema opera em circuito fechado, possibilitando a recirculação de toda a água para o processo e a separação dos sólidos de forma compacta e apropriada para o transporte (Figura 08).

Após passar pelo processo de lavagem os gases limpos são emitidos através das chaminés conforme os padrões de qualidade ambiental exigidos. A água vinda dos lavadores de gases, limpeza de grelhas e cinzeiro das caldeiras arrasta particulados (bagacilhos queimados e não queimados, areia e materiais grosseiros), e cai por gravidade no tanque de particulados, de onde é bombeada até a peneira.



**Figura 08:** Fluxograma do Circuito de Fuligem  
**Fonte:** VLC

A peneira, por sua vez, recebendo a água com particulados na caixa de alimentação, reduz a velocidade do material e separa os sólidos mais grosseiros, dirigindo-os para o filtro ASF (horizontal à vácuo) e posteriormente para a moenga que descarrega a cinza diretamente na caçamba do caminhão, enquanto que a

vazão principal passa pela tela, seguindo para o clarificador por gravidade, com tempo de residência de uma hora, onde ocorre a correção do Ph da água com cal e uso de polímero para flocular a água e assim aglutinar as moléculas de sujeira e decantá-las. No clarificador a água limpa sai pela calha de overflow e é direcionada ao tanque de água clarificada, sendo posteriormente enviada para as caldeiras, ao mesmo tempo em que os sólidos que se concentram no fundo por decantação são bombeados para o filtro ASF.

O Filtro que recebeu o lodo concentrado do clarificador e o material sólido retido na Peneira faz o desaguamento e gera uma torta (cinza prensada) que é descarregada na moega por gravidade, que já descarrega diretamente no caminhão que efetuara o transporte da cinza até a lavoura (Figura 09). O caldo filtrado passa pelo conjunto de proteção do vácuo, caindo por gravidade no tanque de filtrado, onde é posteriormente bombeado para a linha de alimentação do Clarificador.

Este circuito trabalha com vazão de 400 m<sup>3</sup> por hora através de bombeamento com temperatura de 50 graus e uma reposição de 10 m<sup>3</sup> por hora devido às perdas por evaporação e vazamento.



**Figura 09:** Cinza residual sendo descarregada na caçamba do caminhão  
**Fonte:** Indústria sucroalcooleira analisada

De acordo com os relatórios da indústria foram processadas 1.405.063,7 toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2012/13, originando 335.099,00 toneladas

bagaço, sendo 23,84% de bagaço para cada tonelada de cana processada, resultado próximo ao apresentado por Malavolta (2001), 26% de bagaço para cada tonelada de cana.

Deste total 308.908,25 toneladas de bagaço foram utilizadas no processo de geração de vapor na caldeira da indústria, originando 21.806,200 toneladas de cinza residual, representando aproximadamente 7% de cinza para cada tonelada de bagaço, ressaltando que mesmo com o uso do circuito fechado para a retirada da fuligem a quantidade de impurezas contidas na cinza da indústria analisada é considerável devido ao fato de só se lavar a cana crua nos dias chuvosos.

Cordeiro (2009) resalta que no bagaço de cana picada, o teor de cinzas é superior aquele do bagaço de cana inteira. O corte mecanizado da cana aumenta a quantidade de cinzas no bagaço, observando-se valores de até 5,2-28,5 % por tonelada de bagaço (base seca). Isso ocorre porque normalmente a cana picada não passa pelo processo de lavagem para redução da terra aderida aos colmos, como ocorre com a cana inteira.

A legislação exige que as unidades de produção elaborem inventários de resíduos industriais e revelem sua disposição, a fim de que se conheça o possível impacto destes resíduos. Todo o resíduo gerado na indústria é corretamente inventariado seguindo a Resolução CONAMA 313/2002, os dados são informados ao IAP a cada dois anos. Também é realizado o Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadores de Recursos Ambientais segundo a Lei 10.165/2000, que é informado ao IBAMA anualmente, com dados da safra anterior.

Em função da enorme quantidade dos resíduos gerados na indústria, a situação é complexa, pois exige um planejamento para disposição durante toda a safra. Assim foi desenvolvida a prática de uso de resíduos em áreas de produção de cana-de-açúcar, adotou-se, por exemplo, a substituição de fórmulas de fertilizantes para adubação. Para este fim a indústria segue as condições impostas pela Portaria nº 234, de 23 de novembro de 2010 que dispõe sobre a dispensa de Autorização Ambiental para o uso agrícola de resíduos gerados pelas usinas de beneficiamento de cana-de-açúcar para produção de etanol, açúcar e energia elétrica.

Artigo 1º - Fica dispensada de Autorização Ambiental o uso agrícola dos seguintes resíduos, gerados pelas usinas de beneficiamento de cana-de-açúcar para produção de etanol, açúcar e energia elétrica:  
I - Torta de filtro;

II - Resíduos sólidos do processo de lavagem da cana-de-açúcar;  
III – Cinzas/fuligens provenientes da queima de biomassa das caldeiras.  
Parágrafo primeiro: O uso agrícola dos resíduos previstos no caput deste artigo somente é permitido nas áreas de cultura de cana-de-açúcar destinadas à usina geradora dos resíduos (IAP, 2010, p. 01).

Para uso agrícola dos resíduos previstos no caput deste artigo, as usinas de beneficiamento de cana-de-açúcar para produção de etanol, açúcar e energia elétrica com Licença de Operação em vigor deverão protocolar perante o IAP no prazo de até 90 (noventa) dias da data de publicação desta Portaria, Projeto de Uso Agrícola dos Resíduos, contendo no mínimo a quantidade gerada, a taxa de aplicação e as áreas que os receberão, realizado por um profissional habilitado (IAP, 2010). A indústria analisada segue rigorosamente todos os procedimentos ambientais estabelecidos pela legislação em vigor quanto ao uso agrícola dos seus resíduos.

A permissão do uso agrícola dos resíduos nas lavouras da indústria se dá devido às características potencialmente favoráveis dos resíduos gerados no processo produtivo da cultura de cana-de-açúcar, como alternativa de utilização de resíduos agroindustriais, visando à reciclagem da matéria orgânica, devolvendo-a ao meio ambiente na forma de fertilizante orgânico e pelo fato de ser uma tecnologia de disposição final ambientalmente adequada. A indústria analisada utiliza toda a cinza originada no processo de produção nas lavouras de cana, seguindo os padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente no Estado.

#### 4.4 USO AGRÍCOLA DA CINZA RESIDUAL DO BAGAÇO DE CANA

Mesmo após passar por todo o processo de decantação o resíduo final ainda apresenta 80% de sílica e insolúveis, segundo os dados fornecidos pela indústria (Figura 10), mesmo com o processo de tratamento da cinza na indústria analisada sendo realizado em circuito fechado separado das águas de lavagem da cana. O que indica que existe uma alta incidência de sólidos residuais na cana utilizada na indústria e tem por consequência efeitos nas propriedades físico-químicas da cinza residual.



**Figura 10:** Cinza residual sendo processada no filtro horizontal a vácuo para retirada da umidade

**Fonte:** Pesquisa de campo na indústria analisada

Além da grande quantidade de sílica (areia) facilmente visualizada no processo final de retirada de umidade no filtro horizontal outra característica da cinza analisada é sua coloração (Figura 10), que se comparada ao estudo apresentado por Cordeiro (2006) enquadra-se como uma cinza escura com alto teor de carbono, característico de combustão incompleta. O que foi comprovado na análise laboratorial onde submeteu-se a cinza a um processo de incineração a 550<sup>o</sup> e obteve-se 1,87% de matéria orgânica, ou seja, não queimados (Tabela 05)

Considerando as características físicas desta cinza (80% de sílica e insolúveis) sua utilização na indústria de cimento é praticamente inviável, devido ao comprometimento da atividade pozolânica deste material, assim como do seu efeito *filler*, também comprometido pela existência de matéria orgânica devido à combustão incompleta (CORDEIRO et al., 2009; FREITAS, 2005).

Na composição química de vários estudos sobre a cinza de bagaço de cana-de-açúcar apresentada por Pita (2009) o cálcio, ferro, alumínio, magnésio e o potássio foram os elementos mais importantes, na análise realizada pela indústria na safra 2012/13 apesar da grande quantidade de sílica e insolúveis, foram detectados todos esses elementos (Tabela 05).

**Tabela 05** : Resultados analíticos da cinza residual

Determinações	Unidade	Resultados analíticos
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/Kg	1,83
Potássio (K <sub>2</sub> O)	g/Kg	8,19
Cálcio	g/Kg	2,7
Magnésio	g/Kg	1,26
Enxofre	g/Kg	1,76
Alumínio	g/Kg	16,18
Cobre	g/Kg	0,0259
Manganês	g/Kg	0,2174
Zinco	g/Kg	0,5704
Ferro	g/Kg	20,05
Nitrogênio Total Kjeldahl	g/Kg	0,42
Boro	g/kg	0,0064
Matéria Orgânica	%	1,87
Umidade a 65% (Gravimetria)	%	28,02

**Fonte:** Elaborado pelo autor através da análise química da cinza residual coletada na indústria analisada.

A grande incidência de ferro e alumínio deve-se à presença de areia e argila na composição final da cinza residual analisada (TURN et al., 2003). Apesar dos potenciais benefícios da utilização da cinza como adição mineral, o maior obstáculo para o seu uso de forma efetiva está no fato de que cada usina produz cinzas de diferentes características físico-químicas.

Comprovou-se neste estudo que a cinza possui em sua composição os nutrientes básicos (NPK) para fertilização das lavouras, no entanto, observou-se que a quantidade destes elementos na cinza é comprometida pela alta incidência de sílica e insolúveis, o que pode ser explicado pela mecanização da lavoura que originou modificações na planta industrial, como eliminação da lavagem da cana picada devido à perda de sacarose inerente ao contato com a água, o que inseriu uma grande quantidade de areia e argila no processo de produção.

Com base nas informações existentes na análise da cinza residual e os critérios agronômicos empregados pela empresa, verificou-se que uma tonelada de cinza contém 302,31 g de Nitrogênio (N), 1.317,23 g de Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 5.895,16 g de Potássio (K<sub>2</sub>O). Considerando que foram originadas 21.806, 200 toneladas de cinza residual na safra 2012/13 têm-se um total de 6,59 t de Nitrogênio (N), 28,72 t de Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 128,55 t de Potássio (K<sub>2</sub>O).

Considerando os valores pagos pela indústria analisada temos R\$ 3.120,00 por tonelada de Nitrogênio (N), R\$ 2.120,00 a tonelada de Fósforo ( $P_2O_5$ ) e R\$ 3.700,00 a tonelada de Potássio ( $K_2O$ ). Com base nestes dados é possível estipular um valor total para a cinza residual originada na indústria na safra 2012/13 de R\$ 557.081,40.

Esta cinza é distribuída na área total da lavoura em uma proporção de 25 toneladas de cinza por hectare nas áreas de cana soca, em um raio de 12 km da indústria, devido ao custo de transporte que atualmente é de R\$ 0,17 (dezessete centavos) por tonelada de cinza. Essa quantidade fornece 7,55 kg de Nitrogênio (N), 32,93 kg Fósforo ( $P_2O_5$ ) e 147,37 kg Potássio ( $K_2O$ ), originando uma economia de R\$ 638,63 por hectare.

Ressalta-se que a cinza é utilizada apenas como uma complementação da adubação mineral, a indústria não aplica uma quantidade maior devido a recomendações agronômicas inerentes a carga de metais existentes na composição da cinza, como o alumínio, e o elevado custo de transporte e aplicação, pelo fato de serem necessárias grandes quantidades de cinza para suprir as necessidades da lavoura.

Como por exemplo, na adubação da cana soca que segundo a gerência agrícola da indústria analisada recomenda-se aproximadamente 72 Kg de Nitrogênio (N) por hectare, seriam necessárias em torno de 238 toneladas por hectare de cinza *in natura* para atingir aproximadamente esta quantidade de nutrientes.

Cabe ressaltar que as análises praticadas na indústria em estudo objetivam apenas o elemento de interesse para cálculo de dosagem da quantidade de cinza a ser aplicação nas lavouras. A utilização da cinza de caldeira da agricultura tem levantado questionamento de entidades regulatórias de meio ambiente com relação ao balanço dos efeitos potencialmente benéficos ou prejudiciais às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e em que condição (dose, tipo de solo e outras) este material é benéfico ao solo e às plantas. Portanto sugere-se a indústria analisada que realize o monitoramento através de análises de solo e foliares, a fim de identificar os efeitos da aplicação deste resíduo nas lavouras de cana-de-açúcar.

#### 4.5 ANÁLISE ECONÔMICA DA CINZA RESIDUAL

O custo operacional anual com o sistema de fuligem (energia elétrica, funcionário e manutenção) segundo as informações disponibilizadas pela indústria foi de R\$ 37.500,00 (Trinta e sete mil e quinhentos reais) no ano agrícola analisado. Para formar o custo anual total foi calculada a depreciação do equipamento utilizando-se do método linear ( Valo novo – Sucata/ vida útil em anos) (GITMAN, 2003), considerando uma vida útil de 25 anos e um valor residual de 20% disponibilizados pela VLC empresa fabricante do equipamento.

Nesta análise também foi considerado o custo verificado nas planilhas fornecidas pela indústria com o transporte da cinza até a lavoura de R\$ 0,17 (dezessete centavos) por tonelada, em um raio de 12 Km e o custo hora máquina adicional para disposição deste resíduo nas lavouras de cana mediante ao seu maior volume em relação ao fertilizante mineral que é de R\$ 3,80 (três reais e oitenta centavos) por tonelada de cinza. Assim como o custo da análise química completa das amostras de cinza que é de R\$ 248,00 (Duzentos e quarenta e oito reais) por amostra.

**Tabela 06** : Análise econômica da cinza residual considerando a quantidade deste resíduo na safra 2012/2013 na indústria analisada

<b>Indicadores econômicos</b>	<b>Valores</b>
A- Custo operacional anual do circuito de fuligem (R\$)	37.500,00
B- Custo anual com depreciação do circuito de fuligem (R\$)	160.000,00
C- Custo com transporte e disposição da cinza na lavoura (R\$)	86.570,61
A+B+C- Custo Total (R\$)	284.070,61
D- Receita Bruta - Valor da cinza residual (N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O) (R\$)	557.081,40
E- Receita Líquida (R\$)	273.010,79
TIR (%)	3
Payback (anos)	18,31

**Fonte:** Elaborado pelo autor

Considerando o investimento realizado no circuito de fuligem de R\$ 5.000.000,00, os custos inerentes ao circuito de fuligem (depreciação, manutenção, energia, funcionário) e a redução de custos obtida pela utilização da cinza residual como fertilizante orgânico nas lavouras de cana, obteve-se um tempo de retorno do investimento, uma taxa de retorno para este investimento em um prazo de 25 anos

que é a vida útil projetada do equipamento de 3% e um período de 18,31 anos para recuperar o investimento realizado.

Considerando uma taxa mínima de atratividade equivalente a taxa de poupança acumulada em 2012 de 6,47% (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2012), considera-se que o projeto não é viável economicamente pelo fato da taxa de retorno do investimento estar abaixo da taxa mínima do mercado, assim como o prazo de retorno do investimento esta muito acima do preconizado por Gitman (2003) como o mínimo ideal de 8 anos.

No entanto, quando consideradas as externalidades ambientais proporcionadas pela disposição incorreta deste resíduo, considera-se como vantajosa a implementação do circuito de processamento de fuligem para obtenção de um resíduo com características ideais para a aplicação como complemento de adubação mineral nas lavouras de cana.

A aplicação de resíduos no solo resulta na soma de grandes cargas de metais, por isso seu uso pode ser feito desde que haja controle da quantidade máxima e as concentrações permitidas no solo (SIQUEIRA, 2002). A indústria analisada não utiliza a cinza incorporada à torta de filtro nas lavouras de cana devido à alta concentração de alumínio em ambos os resíduos, o que pode originar a contaminação tanto do solo quanto do lençol freático.

Do ponto de vista da sustentabilidade do agroecossistema, a restituição da cinza ao solo é uma mais-valia, já que parte dos seus elementos constituintes foram exportados do solo pela cultura da cana-de-açúcar. O monitoramento, através de análises rotineiras de solo e foliares é ponto crucial para o sucesso do uso deste material na agricultura (BRUNELLI; PISANI JÚNIOR, 2006).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

A indústria sucroalcooleira é responsável pela produção de vários resíduos que representam o principal desafio do setor, que é aumentar a produção de forma sustentável e com o reaproveitamento de seus resíduos minimizar os impactos sobre o meio ambiente.

A produção sucroalcooleira se enquadra no conceito de sustentabilidade devido a alguns aspectos de sua cadeia produtiva. Por exemplo, o bagaço que foi desenvolvido como volumoso para criação de bovinos no sistema confinado e, posteriormente, também passou a ser utilizado como fonte de energia para a usina, diminuindo a dependência do fornecimento de energia hidrelétrica. A vinhaça que passou a ser aplicada como fertilizante e devolver grande parte de nutrientes que havia sido exportada com a colheita da cana. A torta de filtro que também constitui um fertilizante orgânico bastante importante e, juntamente com a vinhaça, reduz a necessidade de nutrientes na forma adubos químicos.

Uma vez considerada a possibilidade do uso da cinza de caldeira na agricultura, sua utilização na construção civil é altamente indesejada num processo de sustentabilidade. O que tecnicamente também se mostrou inviável considerando as características da cinza analisada, quanto a seu efeito *filler* e sua atividade pozolânica que foram comprometidas pela existência de 80% de sílica e insolúveis e a condição de uma combustão incompleta. Portanto, o destino mais adequado para a cinza de caldeira de cana-de-açúcar analisada deve ser a aplicação como fertilizante orgânico.

Com base nas informações existentes na análise da cinza residual e os critérios agronômicos empregados pela empresa, verificou-se que uma tonelada de cinza contém 0,03% de N, 0,13% g de  $P_2O_5$  e 0,59% g de  $K_2O$ .

Considerando que foram originadas 21.806, 200 toneladas de cinza residual na safra 2012/13 têm-se um total de 8,03 t de Nitrogênio (N), 1,26 t de Fósforo ( $P_2O_5$ ) e 13,27 t de Potássio ( $K_2O$ ). Com base nestes dados é possível obteve-se um valor total para a cinza residual originada na indústria na safra 2012/13 de R\$ 557.081,40, que apesar de significativo não é suficiente para viabilizar economicamente o investimento de R\$ 5.000.000,00 (Cinco milhões de reais) para implantação de um circuito de fuligem, pois originou uma TIR de 3%

quando considerada a vida útil total do circuito de fuligem e um período de 18,31 anos para o retorno do investimento.

No entanto, cabe ressaltar que a legislação ambiental vigente exige a correta disposição deste resíduo e somente com a separação dos circuitos de lavagem da água da lavagem da cana e da retirada da fuligem dos gases e das grelhas da caldeira, é possível se obter uma cinza em condições de caracterização química e aplicação no solo de forma ambientalmente responsável.

## **PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Sugere-se que seja realizado um estudo agrônômico a fim de identificar os efeitos da aplicação deste resíduo sobre as propriedades físicas e biológicas do solo e em que condição de dosagem este material é benéfico ao solo e às plantas.

Observou-se também no levantamento bibliográfico que alguns autores (POGGIALI, 2010; PAULA et al, 2009, entre outros) salientaram a existência de silício na composição da cinza de cana-de-açúcar, portanto sugere-se que seja realizado um estudo sobre o efeito deste elemento sobre a cultura da cana-de-açúcar, visto que este elemento pode dar à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção segundo Marafon e Endres (2011).

## REFERÊNCIAS

ALCOPAR - Associação de Produtores de Bioenergia do estado do Paraná. **Indústria de Bioenergia do Paraná: relatório 2012**. Maringá, PR: Alcopar, 2013. Disponível em: <<http://www.alcopar.org.br/relatorios/relatorios.php>>. Acessado em: 05 de março de 2013.

\_\_\_\_\_. **Indústria de Bioenergia do Paraná. Mapa**. Maringá, PR: Alcopar, 2012. Disponível em: <<http://www.alcopar.org.br/associados/mapa.php>>. Acessado em: 28 de outubro de 2012.

ALVARENGA, R. P., QUEIROZ, T. R. Produção mais Limpa e Aspectos Ambientais na Indústria Sucroalcooleira. **Anais...** 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production. KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE São Paulo – Brazil – May 20th-22nd – 2009.

ANFAVEA- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. 2012. São Paulo, 2012.

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2010.

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005.

ARAUJO, F. J. C. Óbices ambientais da nova matriz energética brasileira: Paradigma da termoeletricidade. **Anais...** XXVIII Congresso Internacional de Engenharia Ambiental, Cancún, México, 27 a 31 de outubro de 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/viii-003.pdf>>. Acessado em: 15 de março de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Classificação de resíduos**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

BACCHI, M. R. P. **Brasil - gerando energia de biomassa, limpa e renovável**. 2006. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/especialagro/EspecialAgroCepea\\_4.doc](http://www.cepea.esalq.usp.br/especialagro/EspecialAgroCepea_4.doc)>. Acessado em 15 de março de 2012.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Remuneração dos depósitos de poupança**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>> . Acessado em 13 de julho de 2013.

BENEDINI, M. S.; CONDE, J. C. Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana** - Outubro 2008, p. 26-28. Disponível em: <<http://www.coplana.com/gxpfiles/ws001/design/RevistaCoplana/2008/Outubro/pag26-27-28.pdf>>. Acessado em: 05 janeiro de 2013.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos de Resíduos Sólidos**. São Carlos, EESC/USP, 1999, 120 p.

BIOSEV. **Setor Sucroalcooleiro**. 2013. Disponível em: <[http://ri.biosev.com/biosev/web/conteudo\\_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=30884](http://ri.biosev.com/biosev/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=30884)>. Acessado em: 05 de março de 2013.

BLEY JÚNIOR, C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN M.; OLIVEIRA, M. M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2ª ed. rev. – Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009. 140 p.

BNDES, CGEE (Org). **Bioetanol de cana-de-açúcar** : energia para o desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro : BNDES, 2008. 316 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Esbalece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 jan. 2007. Nº 1, pp. 131.

BRASIL. Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 de ago. de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acessado em: 29 ago. 2012.

BRASIL. Lei nº. 12.493, de 05 de fevereiro de 1999 – Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 de Fevereiro de 1999. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acessado em: 29 ago. 2012.

BRASIL. Decreto nº. 7.404, de 23 de dezembro de 2010 – Regulamenta a Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos, Cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e da outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de dez. de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)>. Acessado em: 10 de abr. 2012.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de Disposição de Resíduo Gerado a partir da Queima do Bagaço de Cana em Caldeiras como Fonte de Nutriente e Corretivo do Solo. in: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste : Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1. p. 1-9.

CALDAS, A.; MELO NETO, A. A.; JOHN, V. M.; PIRES SOBRINHO, C. W. de A. **Tecnologias alternativas para habitação: O uso de cinzas residuais para produção de novos Materiais e componentes construtivos**. Disponível em: <<http://antoniomelo.pcc.usp.br/arquivos/Microsoft%20Word%20-%20o%20uso%20de%20cinzas%20residuais%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20novos%20materiais%20e%20componentes%20construtivos.pdf>>. Acessado em: 05 de janeiro de 2013.

FAIRBAIRN, E. M.R. ; AMERICANO, B. B. ; CORDEIRO, G. C. ; PAULA, T. P. ; TOLEDO FILHO, R. D. ; SILVOSO, M. M. Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO<sub>2</sub> emissions reduction and potential for carbon credits. **Journal of Environmental Management**, 2010, Vol.91(9), pp.1864-1871.

FARIA, K.C.P., GURGEL, R.F., HOLANDA, J.N.F., **Characterization of sugarcane bagasse ash for use in ceramic bodies**, Proceedings of 7<sup>th</sup> PETCH 09, Atibaia, pp. 1292-1295, 2009.

FELIPE, Danielle Carvalho. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)** 2008. 70 p. Dissertação ( Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal da Paraíba- Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2008.

CASADO, A. P.; SILVEIRA, A. M.; CRUZ, I. S. da. Diagnóstico da gestão dos resíduos da indústria Canavieira do estado de Sergipe: um estudo de caso. **Anais...** VI Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém, Paraíba, 2009.

CETESB, **1º Simpósio sobre queima de palha de canaviais**. 5 de Dezembro, Campinas, São Paulo, 1989.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura sobre a produção de Cana-de-açúcar no Estado do Paraná**. 2007. Gerência de Desenvolvimento e Suporte Estratégico/Setor de Apoio à Logística e Gestão da Oferta. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/PR/cana\\_de\\_acucar/cana\\_de\\_acucar\\_junho\\_2007.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/PR/cana_de_acucar/cana_de_acucar_junho_2007.pdf)> Acessado em: 23 de outubro de 2012.

\_\_\_\_\_. **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**- Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. Março de 2011. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_05\\_05\\_15\\_45\\_40\\_geracao\\_termo\\_baixa\\_res..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf)>. Acessado em: 29 de outubro de 2012.

CORDEIRO, G.C.; TOLEDO FILHO, R.D.; FAIRBAIRN, E.M.R. Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais Cimentícios. **Química Nova**, vol. 32, n° 1, p. 82-86, 2009a.

CORDEIRO, G.C., ROMILDO, D.T.F., TAVARES, L.M., FAIRBAIRN, E. M. R., Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete. **Cement and Concrete Research**. 39, p. 110-115, 2009b

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R. Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v.23 , p. 3301–3303, 2009c.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 445 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORRÊA NETO, V; RAMON, D. **Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Cogeração no Setor Sucroalcooleiro**. Setap. Brasília, 2002

DAFICO, D. A. **Métodos de produção de cinza de casca de arroz para utilização em concretos de alto desempenho**. 2003. Disponível em:< [http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Dario\\_Resumo.pdf](http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Dario_Resumo.pdf).> Acessado em: 10 de dezembro de 2012.

DAVIDSSON, K.O., PETTERSSON J.C.B., NILSSON, R., 2002. Fertilizer influence on alkali release during straw pyrolysis. **Fuel**. 81, 259-262.

DEMATTE, J. L. I. Racionalização do uso de fertilizantes e corretivos na cultura da cana-de-açúcar: uma importante alternativa de redução do custo agrícola. IPNI, International Plant Nutrition Institute. **Informações Agrônomicas**, n ° 127, 2009, 27 p.

DIAS, F. L. F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 1997, 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

DO NASCIMENTO, T. C. F.; MOTHÉ, C. G. Gerenciamento de resíduos de sólidos industriais. **Revista Analytica**, Fevereiro/Março 2007, n° 27, pg. 36-47.

ELIA NETO, A. **Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar**. In: MACEDO, I. C. (org.). A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Unica, 2005.

EMBRAPA. **Gestão de resíduos: realizações e desafios no setor sucroalcooleiro**. 2008. Disponível em < [http://www.cnpma.embrapa.br/down\\_hp/360.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/360.pdf).> Acessado em: 23 de outubro de 2012.

FIESP/CIESP. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa**. 2001. Relatório. Disponível em:< <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fiesp.com.br%2Farquivo-download%2F%3Fid%3D4505&ei=zgPBUcH-KsWA0AGjk4CYDQ&usg=AFQjCNGQfw4wV->

HyAoe7vKIKHenTpEocDQ&bvm=bv.47883778,d.dmQ>. Acessado em: 23 de outubro de 2012.

FEITOSA, D. G.; SILVA, I. P.; MALTONI, K. L. Avaliação da cinza, Oriunda da Queima do Bagaço da Cana de Açúcar, na Substituição da Adubação Química Convencional para Produção de Alimentos e Preservação do Meio Ambiente. **Rev. Bras. De Agroecologia**. nov. 2009, v. 4, n 2.

FRANCO, H.C.J.; VITTI,A.C; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.;TRIVELIN,P.C. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar.**STAB**, v.25, n. 6, p. 32-36, 2007.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.; FARONI,C.E.; VITTI.A.C.; OTTO,R. Aproveitamento pela cana de açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2763-2770, 2008.

FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. 2005. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campo dos Goytacazes/RJ, 2005.

FREIRE, F. J.; FREIRE; M. B. G. DOS S.; ROCHA; A. T. DA; OLIVEIRA, A. C. DE. Gesso mineral do araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco. **Anais...** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vol. 4, p.199-213, 2007. Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34843/1/AAPCA-V4-Revisao-07.pdf>>. Acessado em: 12 de novembro de 2012.

GOES, T. **A energia que vem da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. Disponível em:<<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/A%20energia%20que%20vem%20da%20cana%20de%20acucar%20ultimo.pdf>>. Acessado em: 12 de novembro de 2012.

IAP- Instituto Ambiental do Estado do Paraná. **Portaria nº 234, de 23 de novembro de 2010**. Disponível em:<[http://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form\\_cons\\_ato1.asp?Codigo=2355](http://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=2355)>. Acessado em: 10 de novembro de 2012.

\_\_\_\_\_. **Portaria nº 224/07, de 05 de dezembro de 2007**. Disponível em:<<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=276>>. Acessado em: 10 de novembro 2012.

JENDIROBA, E.; SEGATO, S.V.; PINTO, A. DE S.; NÓBREGA, J.C.M. DE. **Atualização em produção de Cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006.

JENKINS, B.M., BAXTER, L.L., MILES JR, T.R., MILES, T.R., 1998. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**. 54, 17-46.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ª edição. São Paulo: Atlas, 2010.

LANGOWSKI, E. **Queima da cana: uma prática usada e abusada**. Cianorte, maio de 2007. Disponível em:  
<<http://www.apromac.org.br/QUEIMA%20DA%20CANA.pdf>>. Acessado em: 23 de outubro de 2012.

LEAL, C. L. D., CASTRO, P. F. Aproveitamento da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como fíller em concreto asfáltico. **VÉRTICES**, v. 9, n. 1/3, jan./dez. 2007.

LINS, C.; SAAVEDRA, R. **Sustentabilidade corporativa no Setor sucroalcooleiro brasileiro**. Agosto 2007. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em:  
<<http://fbds.org.br/fbds/Apresentacoes/Relatorio%20Final%20Sucroalcooleiro.pdf>>  
Acessado em: 23 de outubro de 2012.

MANHÃES, M. S., **Adubação, correção do solo e uso de resíduos da agroindústria**. In: Tecnologia canavieira nas Regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo – Boletim Técnico n. 12, Campos dos Goytacazes: UFRRJ, 1999, p. 24-31.

MALAVOLTA, E. **Sobre a utilização agrícola do resíduo de cinza de caldeira**. CNA- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, *In*: Parecer para a Cargill Citrus Ltda, Piracicaba, 2001.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. Pozzolanic and cementitious materials. **Advances in Concrete Technology**. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1996.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.  
**Anuário estatístico de agroenergia em 2012**. Brasília : MAPA/ACS, 2013.  
284 p.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 28, de 27 de julho de 2007**. Métodos analíticos oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-minerais e Corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Secretaria de Defesa Agropecuária. Disponível em:  
<[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in\\_28\\_07.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in_28_07.pdf)>. Acessado em: 10 de julho de 2013.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju :Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 46 p. Disponível em  
<[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2011/doc\\_165.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_165.pdf)>. Acessado em: 29 de outubro de 2012.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Genesis, 2004.

NIEMINEN, M., PIIRAINEN, S., MOILANEN, M., 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilizers: Field studies in Finnish forest soils. **Scandinavian Journal of Forest Research**. 20, 146-153.

NÓBREGA, I. C. da C.; PAIVA, J. do E. **Apostila de tecnologia de produtos Agropecuários**. Parte I: tecnologia pós-colheita da cana-de-açúcar. DTR/UFRPE, 2009.

NUNES, I. H. S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. 2009. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

OBERNBERGER, I., BIEDERMANN, F., WIDMANN, W., RIEDI, R., 1997. Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions. **Biomass and Bioenergy**. 12 (3), 211-224.

OBERNBERGER, I., BRUNNER, T., BÄRNTHALER, G., 2006. Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. **Biomass and Bioenergy**. 30, 973-982.

ORLANDO FILHO, J., LEME, E.J. Fluxograma Simplificado apresentando quantidades médias de produtos e subprodutos gerados na industrialização da cana-de-açúcar. **Revista Saneamento Ambiental**, [S.l.], n.11, Dez.1990.

OLANDERS, B., STEENARI, B.-M., 1995. Characterization of ashes from wood and straw. **Biomass and Bioenergy**. 8 (2), 105-115.

PAULA, M. O. DE; TINÔCO, I. DE F. F.; RODRIGUES, C. DE S.; SILVA, E. N. DA; SOUZA, C. DE F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.3, p. 353-357, 2009.

PANDEY, A., SOCCOL, C.R., NIGAM, P., SOCCOL, V.T., 2000. Biotechnological potencial of agroindustrial residues. I: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**. 74, 69-80.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; DÍAZ-PNZÓN, L.; ORDOÑEZ, L. M. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies in its properties for reusing in concrete production. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, n.77, p. 321-325, 2002.

PELLEGRINI, M. C. **Inserção de centrais co-geradoras a bagaço de cana no parque energético do Estado de São Paulo**: exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locacionais e de integração energética. Dissertação M.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 178 p, 2002.

PIACENTE, F.J. **Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2005. 181p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – UNICAMP, Campinas. 2005.

PIACENTE, E. A. **Perspectivas do Brasil no mercado internacional de etanol.** 2006. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNICAMP, Campinas.

PITA, P. V. V. **Valorização agrícola de cinza da Co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e Biomassa lenhosa.** 2009. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

POGGIALI, F. S. J. **Desempenho de microconcretos fabricados com cimento portland com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.** 2010. 149 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2011. 420 p.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos Sólidos: problemas ou oportunidades?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

SAVASTANO JR., W. P. G. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. **Cement & Concrete Composites**, v.25, n.5, p.517-624, 2003.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMA. **Desperdício zero.** Programa da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. Curitiba – PR, 2009.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE S. **Biologia e Bioquímica do Solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

SILVA, E., **Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira.** ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ. STAB, 2000.

SILVA, V.S; GARCIA, C. DE A; SILVA, C. M. DA. O Destino do Bagaço da Cana-de-açúcar: Um Estudo a Partir das Agroindústrias Sucroalcooleiras do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.3, n.1, p. 59-76, jan./abr. 2010.

SILVEIRA, T. **Avaliação de cinza de caldeira de indústria de concentrados de frutas cítricas sobre as Propriedades de solo degradado e solo cultivado com cana-de-açúcar.** 2010. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, São Paulo, 2010.

SOUZA, G. N; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por

Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-açúcar. 2007. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. **Anais...** Bento Gonçalves, Brasil: IBRACON. CD- ROM.

SPADOTTO, C. A. **Gestão de resíduos: realizações e desafios no setor sucroalcooleiro**. 2008. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/down\\_hp/360.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/360.pdf)>. Acessado em: 30 de dezembro de 2012.

TEIXEIRA, R.S., SOUZA, A.E., SANTOS, G.T.A., *et al.*, **Sugarcane bagasse ash as a potential quartz replacement in red ceramic**, *Journal of the American Ceramic Society*, v.91, n.6, pp.1883-1887, 2008.

TEIXEIRA, S.R. ; PENA, A.F.V. ; MIGUEL, A.G. Briquetting of charcoal from sugarcane bagasse fly ash (SCBFA) as an alternative fuel. **Waste Management**, 2010, Vol.30(5), pp.804-807.

THEODORO, J. M. P. **Considerações sobre os custos ambientais decorrentes dos resíduos sólidos e dos efluentes industriais gerados no setor sucroalcooleiro: Um estudo de caso**. Centro Universitário de Araraquara – Programa de pós-graduação em desenvolvimento regional e meio ambiente. Araraquara – SP. 2005.

TORQUATO Jr, H.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A.; PIMENTEL, I. M. C. ; MENEZES, A. C. V.; OMENA, S. P. F. **Caracterização da água de lavagem de cinzas e gases de caldeiras Na indústria de cana de açúcar**. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/vap/AguaCinzaGasesCaldeiraIndustria.pdf>>. Acessado em: 30 de dezembro de 2012.

TURN, S.Q., KINOSHITA, C.M, JAKEWAY, L.A., JENKINS, B.M., Baxter, L.L, WU, B.C., BLEVINS, L.G., *Fuel characteristics of processed, high-fiber sugarcane*. **Fuel Processing Technology**. 81, 35-55, 2003.

UNICADATA. **Histórico de produção e moagem**. 2013. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=1325&safra=2011%2F2012&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR>>. Acesso em janeiro de 2013.

VALENCIANO, M. del C. M. **Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com Cimento**. 1999. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. São Paulo, Campinas. 1999.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Aspectos importantes no manejo da cana-de-açúcar**. Piracicaba: FERTIZA/CEA, 1998. 3p. Folder Técnico.

ZARDO, A. M.; BEZERRA, E. M.; MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JR., H.  
**Utilização da cinza de bagaço da cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento.** In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18-21 de julho de 2004, São Paulo.

WARWICK, M; ROCHA, M. **O Agronegócio da cana e as Mudanças do Clima – Algumas Implicações da Convenção do Clima sobre o Setor Sucroalcooleiro.** UDOP, 2006. Disponível em:  
<<http://www.udop.com.br/geral.php?item=noticia&cod=980>> Acessado em: 23/07/200

WREGEL, M. S.; CAROMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A.; FERREIRA, R. C.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, S. L. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. 2005. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.1, p. 113-122, 2005.

## ANEXOS



