



ANSELMO DUEÑAS GONZALEZ

Caracterização e análise comparativa de cinzas provenientes da queima de biomassa

101/2014

**CAMPINAS
2014**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANSELMO DUEÑAS GONZALEZ

Caracterização e análise comparativa de cinzas provenientes da queima de biomassa

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Térmicas e Fluidos.

Orientador: Prof. Dr. Caio Glauco Sánchez

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO ANSELMO DUEÑAS GONZALEZ, E ORIENTADA PELO PROF. DR. CAIO GLAUCO SÁNCHEZ.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

**CAMPINAS
2014**

FICHA CATALOGRÁFICA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

G589c Gonzalez, Anselmo Dueñas, 1968-
Caracterização e análise comparativa de cinzas provenientes da queima de biomassa / Anselmo Dueñas Gonzalez. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Caio Glauco Sánchez.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Biomassa. 2. Gaseificadores. 3. Resíduos agroindustriais. I. Sánchez, Caio Glauco, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Characterization and comparative analysis of ash from biomass burning

Palavras-chave em inglês:

Biomass

Gasifiers

Agro-industrial residues

Área de concentração: Térmica e Fluidos

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora:

Caio Glauco Sánchez [Orientador]

Waldir Antonio Bizzo

Josmar Davilson Pagliuso

Data de defesa: 29-10-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Caracterização e análise comparativa de cinzas
provenientes da queima de biomassa**

Autor: Anselmo Dueñas Gonzalez
Orientador: Prof. Dr. Caio Glauco Sánchez

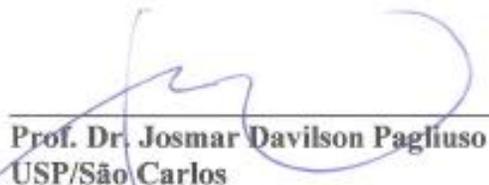
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação



Prof. Dr. Caio Glauco Sánchez
UNICAMP/ Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dr. Waldir Antônio Bizzo
UNICAMP/ Faculdade de Engenharia Mecânica



Prof. Dr. Josmar Davilson Pagliuso
USP/São Carlos

Campinas, 29 de outubro de 2014.

Dedicatória

Dedico este trabalho ao único que é digno de receber toda Honra, Glória e Louvor, a **Deus**, o grande criador, por conduzir os meus passos por caminhos verdejantes com fé, persistência, determinação e coragem.

Aos meus amados pais José e Cida que me instruíram nas primeiras lições de minha vida e me ensinaram, com amor e carinho, os valores da honestidade e da perseverança.

À minha amada esposa Lilian, pela compreensão, paciência e dedicação, e com quem divido a responsabilidade diária de tornar nosso filho Lucas um grande homem.

Agradecimentos

Ao querido mestre e orientador Professor Dr. Caio Glauco Sánchez pela expressiva orientação, pelo carinho e consideração dedicados a mim e ao presente estudo.

Ao meu amigo Professor Fábio Gatamorta, que de uma maneira muito especial, me ofereceu a oportunidade e o privilégio de conhecer o meu orientador.

Agradeço também aos Professores Dr^a. Katia Tannous (FEQ - UNICAMP) e Dr. Oscar Antônio Braunbeck (FEAGRI - UNICAMP) pelas ricas sugestões de aprimoramento e acréscimos gentilmente oferecidos.

Aos Professores Waldir Antônio Bizzo (FEM - UNICAMP) e Josmar Davilson Pagliuso (USP – São Carlos) pela avaliação na defesa desta dissertação, sugestões e críticas que corroboraram a versão final deste trabalho.

Agradeço aos Professores da UFSCar, Dr. Almir Sales (Campus São Carlos) e Dr. Walter Ruggeri Waldman (Campus Sorocaba), pelo apoio, pelas boas dicas e materiais compartilhados.

Aos amigos André, Alessandra e Denise da CPG da FEM, pelo carinho, apoio e pela sempre disposição em ajudar.

A todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram neste trabalho. Cada momento foi especial, valeu todo o sacrifício. Essa vitória é nossa.

“Sucesso não é definitivo; fracasso não é definitivo; a coragem para prosseguir é o que conta”

Winston Churchill.

Resumo

GONZALEZ, Anselmo Dueñas, *Caracterização e análise comparativa de cinzas provenientes da queima de biomassa*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado).

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um processo de caracterização das cinzas das biomassas bagaço de cana-de-açúcar, eucalipto e capim elefante após sua queima quando utilizadas para geração de energia alternativa. É, então, analisada a influência de parâmetros físico-químicos na qualidade final das cinzas. O parâmetro químico avaliado foi a interpretação da composição elementar das cinzas estudadas por análises de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X e Cromatografia de Íons e por Análise Química por, objetivando a caracterização e reutilização desses resíduos. As amostras de cinzas de biomassas estudadas neste trabalho, foram analisadas quanto à presença dos elementos Cloro (Cl), Alumínio (em Al_2O_3), Cálcio (em CaO), Ferro (em Fe_2O_3), Fósforo (em P_2O_5), Magnésio (em MgO), Manganês (em MnO), Potássio (em K_2O), Sódio (em Na_2O) e Silício (em SiO_2), e foram caracterizadas conforme os percentuais em massa dos elementos presentes. Os resultados obtidos mostraram a possibilidade de reutilização adequada de cinzas das biomassas em função da alteração das propriedades químicas do solo, por ocorrência de elevação dos níveis de pH, Cálcio (Ca), Fósforo (P), redução dos teores de Alumínio (Al) trocável e melhoria substancial da capacidade de agregação das partículas e fertilização do solo. Também foram associadas as influências dos elementos presentes nas cinzas como alternativa viável na composição do cimento Portland, em especial, o Silício (em SiO_2). As cinzas das biomassas possuem nutrientes que estão na forma solúvel e são libertados ao longo do tempo devido à sua decomposição contínua e também pela solubilidade dos compostos químicos, o que, conseqüentemente, torna os nutrientes menos suscetíveis à lixiviação.

Palavras-chave: biomassa, gaseificadores, cinza, resíduos agroindustriais.

Abstract

GONZALEZ, Anselmo Dueñas, *Characterization and comparative analysis of ash from biomass burning*, Campinas, Mechanical Engineering Faculty, University of Campinas, 2014. 70 p. Thesis (MsC).

This paper presents the development of a process of characterization of the ashes of biomass bagasse from sugar cane, eucalyptus and elephant grass after its burning when used for alternative energy generation. It then analyzed the influence of physicochemical parameters on the final quality of the ash. The chemical parameter evaluated was the interpretation of the elemental composition of the ash studied by analysis Fluorescence Spectrometry X-Ray and Ion Chromatography and Chemical Analysis, aiming at characterization and reuse of the waste. The ashes from biomass samples studied in this work were analyzed for the presence of chlorine (Cl^-), aluminum (as Al_2O_3), calcium (as CaO), iron (as Fe_2O_3), phosphorus (as P_2O_5), Magnesium elements (as MgO), manganese (as MnO), Potassium (as K_2O) Sodium (as Na_2O) and silicon (as SiO_2), and were characterized as the weight percentage of the elements present. The results showed the possibility of proper reuse of ashes of biomass due to changes in chemical properties of the soil, by the occurrence of elevated levels of pH, calcium (Ca), phosphorus (P), reduced levels of aluminum (l) the significant improvement exchangeable capacity of aggregation of particles and soil fertilization. Were also associated with the influences of the elements present in the ash as a viable alternative in the composition of the Portland cement, in particular, silicon (as SiO_2). The ash of the biomass have nutrients that are in soluble form and are released over time due to its continuous decomposition and also by the solubility of the chemical compounds, which consequently makes them less susceptible to leaching nutrients.

Keywords: biomass gasifier, ash, agro-industrial residues.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1: Transporte de bagaço de cana-de-açúcar por esteiras. (CBE, 2012)	1
Figura 1.2. Biomassas utilizadas para a geração de energia (CBE, 2012)	2
Figura 1.3 Coleta de cinzas em uma caldeira(a); Secas ao ar livre (b) e Coletadas em correia transportadora (c). (SALES, ET AL 2010).	4
Figura 2.1: Desenvolvimento e acúmulo de biomassa. (HAAG, 1987)	8
Figura 2.2: Preparo do solo. (EMBRAPA, 2011)	28
Figura 2.3: Preparo do solo com tração animal. (EMBRAPA, 2011)	28
Figura 2.4: Adubação pós-emergente. (EMBRAPA, 2011)	29
Figura 2.5: Cavaco de Eucalipto preparado para a produção de energia.	38

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 Composição química elementar de materiais lignocelulósicos (JENKINS, 1990)	22
TABELA 2.2 Composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos (JENKINS, 1990)	22
TABELA 2.3 Composição química, em termos de óxidos, da cinza do bagaço de cana-de-açúcar produzida a 600 °C (CORDEIRO ET AL, 2009)	23
TABELA 2.4 Concentração de elementos em cinzas de madeira e suas variações em %.	24
TABELA 2.5: Resultado da análise química das amostras de Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (LIMA, ET AL, 2009)	37
TABELA 2.6: Elementos encontrados no extrato solubilizado das amostras de CBC e os limites permitidos pela NBR10004 (LIMA, ET AL, 2009)	37
TABELA 4.1. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar coletadas na Usina Vista Alegre, aqui denominada amostra (A).	47
TABELA 4.2. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar produzidas no laboratório da FEM, aqui denominada amostra (B).	48
TABELA 4.3. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Capim-elefante	49
TABELA 4.4 – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Eucalipto	50
TABELA 4.5. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Peroba Garapeira produzida no Laboratório da FEM	52
TABELA 4.6. - Resultados analíticos, em %, obtidos nas cinzas das amostras analisadas.	53

SUMÁRIO

Dedicatória	vii
Agradecimentos	ix
Resumo.....	xiii
Abstract	xv
Lista de Ilustrações	xvii
Lista de Tabelas	xix
SUMÁRIO	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	6
1.2. Estrutura	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Biomassas.....	7
2.1.1. Cana-de-açúcar.....	11
2.1.2. Capim elefante	12
2.1.3. Eucalipto	13
2.1.4. Peroba Garapeira.....	14
2.2. Tecnologias de aproveitamento de Biomassa	16
2.3. Combustão de Biomassa	19
2.4. Cinzas de Biomassa.....	20
2.5. A importância econômica da aplicação das cinzas de biomassa.....	24
2.6. Solo	26
2.7. Adubação.....	29
2.8. Cimento Portland	32
2.9. Gerenciamento de resíduos industriais.....	32
2.9.1. Classificação de Resíduos Sólidos.....	34
2.10. Caracterização físico-química das cinzas residuais de Bagaço de cana de açúcar.	35
3. METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS...39	
3.1. Metodologia.	39
3.2. Coleta das amostras das cinzas residuais das biomassas estudadas.	42
3.3. Ensaios de caracterização química das cinzas residuais do Bagaço da Cana-de-açúcar, tipos A e B e Peroba Garapeira.	43
3.4. Ensaios de caracterização química das cinzas residuais de Eucalipto.	44
3.5. Ensaios de caracterização química das cinzas residuais de Capim elefante.	45
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	46

4.1.	Bagaço de cana-de-açúcar.....	46
4.2.	Capim elefante	49
4.3.	Eucalipto	50
4.4.	Peroba Garapeira.....	51
4.5.	Resultados dos estudos.....	53
5.	CONCLUSÕES	56
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação com a sustentabilidade e o meio ambiente, as fontes de energias renováveis tornam-se um tema de crescente importância no cenário mundial.

O advento da utilização de biomassas como forma de obtenção de geração de energia limpa através de sua queima em caldeiras, aponta para a necessidade de uma caracterização e destinação adequada e sustentável das cinzas residuais geradas.

Conforme ilustrado na Figura 1.1, o bagaço de cana-de-açúcar é transportado por esteiras onde será utilizado para queima em produção de energia.



Figura 1.1: Transporte de bagaço de cana-de-açúcar por esteiras. (CBE, 2012)

Devido a grande produção da safra anual de cana-de-açúcar, a quantidade de resíduos gerados anualmente pode chegar a 2,7 milhões de toneladas (CASTADELLI et al. 2013).

Dentre os resíduos produzidos pela indústria sucroalcooleira podemos listar como os principais o bagaço, a torta de filtro, a vinhaça e a água de lavagem (CORDEIRO et al. 2008).

A geração de energia através da biomassa tem aumentado sua representatividade na matriz energética nacional, pois se trata de uma alternativa interessante dos pontos de vista tecnológico, econômico e ambiental. A biomassa destaca-se, neste contexto, como uma fonte de energia alternativa com grande potencial bioenergético. Carvão e petróleo, apesar de serem igualmente provenientes de seres vivos, não são considerados biomassa, já que resultam de processos geológicos.

Neste contexto, portanto, o termo biomassa refere-se ao material biológico proveniente de seres vivos que pode ser convertido em energia. Este material inclui produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias relacionadas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Bagaço de cana de açúcar, madeira, palha, casca de arroz, milho, capim, casca de cupuaçu, algas, capim elefante, são exemplos característicos de biomassas utilizadas na geração de energia. A figura 1.2. ilustra alguns exemplos de biomassas utilizadas para a conversão de energia.



Figura 1.2. Biomassas utilizadas para a geração de energia (CBE, 2012).

Todavia, a energia oriunda da transformação da biomassa pode ser considerada renovável a partir de seu manejo correto, desde o momento de seu plantio e cuidados com o solo até a utilização de seus substratos residuais na produção de energia. Este processo de obtenção de energia através da biomassa é também um fator benéfico no tocante à redução de emissão de CO₂ na atmosfera.

O crescente consumo de energia somado ao impacto ambiental e social causados pelas fontes de energias tradicionais levaram o governo e a sociedade a pensarem em novas alternativas para geração de energia elétrica.

As fontes alternativas de energia como eólica, solar e biomassa, são consideradas alternativas viáveis, principalmente, por apresentar impactos ambientais e sociais substancialmente menores. O debate contínuo, sobre os impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis, contribui decisivamente para o interesse mundial por soluções sustentáveis por meio de geração de energia oriunda de fontes limpas, renováveis e ambientalmente corretas.

Diante desse cenário, torna-se importante garantir a utilização e transformação de recursos provindos da biomassa, a fim de absorver toda a energia renovável e também para garantir a vitalidade de toda a cadeia produtiva, garantindo o ciclo de toda a produção agroindustrial e fortalecendo a economia nacional e o balanço energético.

Nos sistemas produtivos de qualquer natureza, a geração de resíduos gera um problema para o produtor, que muitas vezes não tem recursos disponíveis, seja mecânico ou intelectual, para a reutilização desses resíduos, pois os mesmos, geralmente, poluem o meio ambiente de alguma forma, além de demandar espaço para armazenamento.

Segundo Cortêz, Lora e Gómez (2008), o bagaço de cana de açúcar residual, constituiu um problema de caráter ambiental, por ocasião de sua disposição final é de difícil solução, sendo o uso energético uma saída oportuna e viável, já que reduz seu volume e seu potencial contaminante.

Nos processos de fabricação de açúcar e etanol, o bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto considerado como matéria-prima para a produção de energia, deixando, pois, de ser considerado como resíduo.

Atualmente, este problema tornou-se vantagem econômica para as usinas sucroalcooleiras, no tocante à sua utilização do bagaço de cana-de-açúcar enquanto matéria-prima para a geração de energia, onde se produz, ao final deste processo, as cinzas residuais, objeto deste estudo.

Essas cinzas residuais, por sua vez, destacam-se entre os resíduos agroindustriais em detrimento a sua destinação final inadequada ao meio ambiente, problema que pode ser resolvido através de pesquisa de metodologias de aproveitamento desses resíduos, que é o objetivo principal deste trabalho.

A cana de açúcar possui uma indústria estruturada para o aproveitamento energético em suas diversas etapas, e escala elevadíssima de produção, além de despontar para o crescimento potencial na produção sucroalcooleira, o que caracteriza o aumento da produção de bagaço de cana de açúcar e, no mesmo sentido, as cinzas residuais e, nas mesmas proporções e formas, a preocupação com o destino dos resíduos.

Em conjunto a esses fatores, surgem neste cenário, outras biomassas de grande potencial energético em escalas menores de produção quando comparadas à cana-de-açúcar. São elas: eucalipto, capim elefante e casca de arroz.

Segundo o Centro da Biomassa para a Energia (CBE), a aplicação de cinzas de biomassa altera as propriedades físico-químicas do solo, pois ocorre uma elevação dos níveis de pH, Cálcio (Ca) trocável, Fósforo (P) extraível, redução dos teores de Alumínio (Al) trocável e melhoria substancial da capacidade de agregação das partículas do solo. Estas alterações levam a um aumento da fertilidade do solo.

Conforme informações disponibilizadas por Santos et al (1995) e Prado et al (2003), a composição química das cinzas apresenta nutrientes capazes de neutralizar a acidez do solo e que, portanto, há efeito fertilizante e corretivo de solo.

Já nos estudos realizados por Sales e Lima (2009) as cinzas residuais geradas pela queima do bagaço da cana-de-açúcar podem ser utilizadas na confecção de argamassas, em substituição parcial da areia extraída de rios, tomando por base suas propriedades físicas (massa específica, massa unitária e granulometria) semelhantes as da areia natural. A Figura 1.3 apresenta a coleta de cinzas em três etapas: caldeira, ao ar livre e por correia.



Figura 1.3 Coleta de cinzas em uma caldeira (a); Secas ao ar livre (b) e Coletadas em correia transportadora (c). (SALES, et al 2010).

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar, mesmo apresentando pouca reatividade hidráulica¹, tem se mostrado um subproduto viável para incorporação em materiais de construção, ainda que sejam observadas suas características intrínsecas, como alto teor de sílica em forma de quartzo, um dos principais elementos presentes na areia natural (CORDEIRO et al. 2008) e (SALES E LIMA - 2009).

Segundo Prado (2007), Sales e Lima (2009), o setor sucroalcooleiro tem apresentado um grande potencial de geração de energia, apresentando atrativos econômicos e ambientais, principalmente devido à queima de bagaço de cana de açúcar como combustível nas usinas.

Os potenciais energéticos em conjunto com as cinzas residuais geradas serão estudados neste trabalho, buscando-se obter novos recursos sustentáveis, tendo como parâmetro principal, as indústrias que se utilizam destes recursos para a cogeração de energia.

Um dos requisitos abordados neste trabalho é o desenvolvimento sustentável como meta para o contínuo desafio do reaproveitamento de resíduos sólidos.

Em conjunto a isso, o aproveitamento dos resíduos gerados na queima da biomassa terá como subsídio a criação de metodologias capazes de alicerçar fundamentos necessários para o manejo, destinação e utilização adequada desses substratos.

Portanto, com o objetivo de maximizar o uso das cinzas residuais provenientes da queima da biomassa para cogeração de energia, que serão aqui denominados recursos materiais resultantes da produção de energia pela queima da biomassa, este trabalho visa à pesquisa em busca de uma organização de metodologias e ferramentas necessárias para a transformação destes subprodutos em novos recursos, ambientalmente sustentáveis, que serão posteriormente reutilizados em comunidades adjacentes e/ou na própria produção agroindustrial.

¹ A reatividade hidráulica ou reação com água é medida pelo calor gerado na reação de hidratação em função do tempo.

1.1. Objetivos

Este trabalho visa contribuir para a viabilização de forma consciente do uso de cinzas das biomassas bagaço de cana-de-açúcar, eucalipto, peroba garapeira e capim elefante provenientes de sua queima na geração de energia e sugerir possíveis aplicações, propondo:

- Caracterização química das cinzas das biomassas estudadas;
- Sugerir possíveis aplicações sustentáveis para essas cinzas, visando sua destinação e aproveitamento adequados.

1.2. Estrutura

O trabalho está subdividido em seis capítulos, assim estruturado:

- ✓ Capítulo 1 – Introdução;
- ✓ Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica – revisão do conhecimento sobre biomassa e sua utilização como fonte de energia alternativa em conjunto com os resíduos gerados;
- ✓ Capítulo 3 – Metodologia e caracterização dos substratos- Técnicas e procedimentos adotados na realização da pesquisa;
- ✓ Capítulo 4 – Apresentação dos Resultados - Apresentação dos resultados dos ensaios realizados: caracterização, químicos e resíduos; Análise e discussão dos resultados – Análise e interpretação dos resultados dos ensaios realizados com o resíduo;
- ✓ Capítulo 5 – Conclusões - Apresentação das conclusões do estudo e sugestões para a continuidade da pesquisa;
- ✓ Capítulo 6 - Sugestões para trabalhos futuros;
- ✓ Referências Bibliográficas – Relação da bibliografia consultada na elaboração do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Biomassas

A biomassa é definida, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como “todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal), que pode ser utilizada na produção de energia” (BRASIL, 2005).

A biomassa é considerada uma das principais alternativas como fonte de energia, uma vez que apresenta grande potencial de crescimento com capacidade de reduzir a utilização de fontes de energia de origem fóssil. Com a utilização da biomassa, deixa-se de emitir mais CO₂ para a atmosfera, resultando em créditos de carbono (BRASIL, 2008).

Biomassa é, portanto, uma fonte renovável e inesgotável, portanto, indireta, de energia com redução de custos e impactos ambientais.

Os organismos biológicos que podem ser aproveitados como fontes de energia, são chamados de Biomassa. Cana-de-açúcar, eucalipto, beterraba, biogás, lenha, carvão vegetal, óleos vegetais (amendoim, soja, dendê), são alguns exemplos.

De acordo com a professora Dra. Katia Tannous, em Tannous et al (2013), cada região do país tem suas potencialidades de biomassa. Na região Sudeste, há o bagaço da cana-de-açúcar; no Sul, a concentração maior é a casca de arroz; e no Norte, a fibra do coco e o caroço do açaí. Segundo Tannous, a casca do arroz serve como fonte de calor para a secagem do próprio arroz.

Para o necessário desenvolvimento e acúmulo de biomassa (ver Figura 2.1), as plantas necessitam de CO₂, O₂, energia solar, água, além dos elementos minerais nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, cloro, ferro, manganês, molibdênio, zinco, cloro, Níquel. (HAAG, 1987) e (BARICHELLO, 2003).

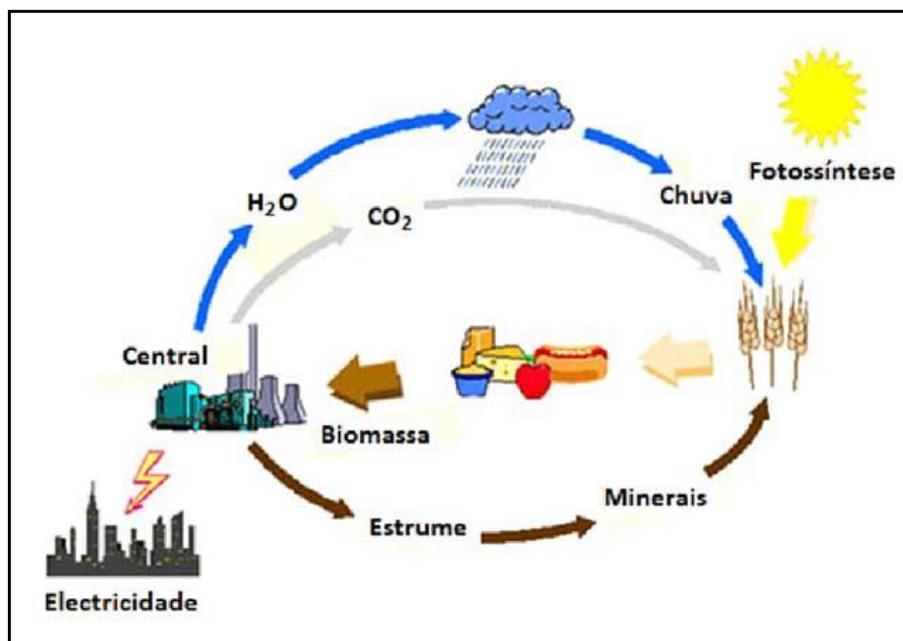


Figura 2.1: Desenvolvimento e acúmulo de biomassa. (HAAG, 1987)

Para Kramer & Kozlowski (1972) e Barichello (2003), o acúmulo de biomassa é influenciado por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração. Segundo ensinam, os principais fatores são luz, temperatura, concentração de CO_2 do ar, umidade e fertilidade do solo, além dos fatores internos, como: idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono.

As concentrações de nutrientes contidos na biomassa variam com a espécie, fase de desenvolvimento e estado nutricional do vegetal (LARCHER, 1986).

Atualmente, há estudos com cinzas provenientes da casa de arroz, do bagaço de cana-de-açúcar, folha de bambu, entre outros. Esses estudos buscam utilizar essas biomassas como adições ativas para a elaboração de materiais à base de cimento, sejam: argamassas, massas, fibrocimentos. (CORDEIRO et al, 2009).

Outra fonte de biomassa estudada para a geração de energia é a conhecida como “biomassa lignocelulósica” que, além de poder ser utilizada para a geração de energia, não compete com outras culturas alimentares. Nesse grupo, podem-se enquadrar as espécies lenhosas e as espécies herbáceas, como, por exemplo, o capim elefante (*Pennisetum purpureum*), que possui como vantagens, a alta eficiência no sequestro de carbono e o alto rendimento quanto à produção de biomassa. O capim elefante pode também ser considerado fonte de energia de biomassa, devido à

sua capacidade de acumular matéria seca e a alta percentagem de fibra semelhante à cana-de-açúcar. O capim elefante é uma espécie originária da África, com elevadas taxas de crescimento e produção de 40 ton. de matéria seca/ ha por ano.

Conforme Andrae e Krapfenbauer (1982), na madeira das árvores, encontram-se, em média, 50 % de carbono, 43 % de oxigênio, 6 % de hidrogênio e 1 % de elementos minerais.

A biomassa celulósica é, na verdade, uma mistura complexa de polímeros naturais de carboidratos conhecidos como celulose e hemicelulose, lignina e uma pequena quantidade de outras substâncias, tais como, extrativos e cinzas. Em geral, a celulose é a maior porção e representa cerca de 40 % a 50 % do material.

As partes remanescentes são formadas, predominantemente, por lignina e uma quantidade menor de extrativos. A porção de celulose é composta de glicoses, ligadas umas as outras em longas cadeias que formam uma estrutura cristalina. Para árvores coníferas, o componente predominante da hemicelulose é a xilose (SILVA, 2007).

Quando a biomassa é queimada de modo eficiente, há produção de CO₂ e água. Portanto, o processo é cíclico e pode-se afirmar que a biomassa é um recurso renovável.

Para uma minimização de custos e de impactos socioambientais, pesquisadores têm desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão de biomassa em energia, tais como a gaseificação e a pirólise, além da geração de energia em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética.

De acordo com Ribas (2008), fatores relacionados ao desenvolvimento de modelos energéticos alternativos, deram à biomassa um papel de destaque no suprimento de parte da demanda energética nacional. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (2007), a utilização de fontes dispersas de energia, em particular a biomassa, aparece como importante fonte, por colaborar na oferta de energia do sistema interligado do país e diversificar a matriz energética, além de tratar do resíduo produzido pela agroindústria.

Além do tema abordado por Ribas (2008), as questões climáticas são consideradas hoje como um dos grandes desafios ambientais enfrentados pela sociedade. O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais gases responsáveis pelas mudanças climáticas e cerca de um terço do CO₂ global liberado para atmosfera está associado com a utilização da energia em vários setores industriais. Deste montante, 7 % correspondem à parcela da indústria do cimento (ALI et al., 2011). O cimento é um dos materiais de construção mais importantes mundialmente. Seu

consumo e produção estão intimamente relacionados com o setor da construção, por sua vez, à atividade econômica. A produção de cimento demanda muita energia e estima-se que cerca de 2 % do consumo global seja de energia primária (WORRELL et al., 2001).

Na indústria de cimento, a emissão de CO₂ se deve principalmente à queima de combustível fóssil e à calcinação do calcário em óxido de cálcio.

As cinzas produzidas vêm sendo avaliadas e estudadas como adição mineral pozolânica, como material de substituição parcial de cimento Portland em compósitos. A adição de minerais em compósitos à base de cimento, como substituição parcial do cimento Portland se enquadra no conceito de mecanismos de desenvolvimento limpo que contempla projetos de redução de emissões de CO₂.

O uso da biomassa pode trazer vantagens, como, por exemplo, o melhor manejo da terra, a geração de empregos, o fornecimento de alternativas energéticas às comunidades rurais, redução dos níveis de emissão de gás carbônico (CO₂), controle de resíduos e reciclagem de nutrientes. Apresenta também algumas desvantagens, como os impactos causados à biodiversidade e a concorrência com terras para cultivo alimentar (ABBASI & ABBASI, 2010) e (HALL, et al., 2005).

Estas desvantagens podem ser minimizadas em função dos benefícios que o uso da biomassa proporciona.

Logo, tendo em vista o interesse em obter novas fontes de biomassas, existem na literatura diversos estudos com cinzas provenientes da queima de biomassa. A cinza apresenta em sua composição boa parte de materiais inorgânicos, com características pozolânicas, ou seja, são materiais silicosos ou silico-aluminosos, que, adequadamente preparados, apresentam propriedades aglomerantes. Além disso, a cinza apresenta teores consideráveis de Cálcio, que podem ser utilizados na composição de substâncias utilizadas na melhoria da adubação do solo. Portanto, o uso da cinza incorporada à matriz cimentícia ou a adubos são duas possíveis soluções para diminuir o excedente produzido (ZARDO et al., 2004).

2.1.1. Cana-de-açúcar

Dentre as biomassas disponíveis no território brasileiro, a cana-de-açúcar é a mais usada para geração de energia limpa (etanol, por exemplo). Os seus resíduos, o bagaço e a palha, são queimados como principal matéria-prima em centrais de cogeração para a produção de energia elétrica.

O Brasil é o quinto maior país em área territorial do mundo, seguido da Rússia, China, Canadá e Estados Unidos, apresentando uma área territorial equivalente a 8,5 milhões de Km² (IBGE, 2009).

Com cerca de 590 milhões de hectares de área destinada ao plantio, o Brasil lidera a produção de diversas culturas, como, por exemplo, o café, o feijão, a laranja e o mamão. É também o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, seguido da Índia e da China (FAO, 2014).

A cana-de-açúcar apresenta grande interesse industrial e tecnológico, por possuir um grande potencial energético e por ser completamente renovável (HAHN-HÄGERDAL et al., 2006).

O aproveitamento da cana-de-açúcar é integral, pois ocorre desde a extração do caldo de cana, para a produção de açúcar e etanol, até a utilização de seus subprodutos (bagaço, melaço e palha), na alimentação animal, geração de energia e obtenção de produtos por vias biotecnológicas (HERNÁNDEZ-SALAS et al., 2009).

Muitas variedades de cana-de-açúcar são produzidas em centros de biotecnologia, onde se almeja a produção de variedades que atendam ao contraste de condições ambientais e sazonais do país. Esse melhoramento é realizado a partir da hibridização, seleção e caracterização das espécies, produzindo-se plantas mais resistentes a pragas e com alto potencial genético.

A cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) é uma planta herbácea, angiosperma, pertencente à classe Liliopsida (monocotiledônea), subclasse *Commelinidae*, ordem Poales (*Cyperales*) e família *Poaceae* (*Gramineae*) (MIRANDA, 2009).

As poáceas representam a quarta maior família em número de espécies no mundo, depois das compostas (*Asteraceae*), das orquídeas (*Orchidaceae*) e das leguminosas (*Leguminosae*) (GIULIETTI et al., 2005).

Pertencem também, a essa família, o arroz, a aveia, a braquiária, a cevada, o milho, o sorgo e o trigo, por exemplo. Representam a primeira família em importância econômica global, pois são amplamente utilizadas na alimentação humana e animal, além de serem utilizadas na produção de bebidas e na confecção de fármacos.

O cultivo e a produtividade de cana-de-açúcar dependem de diversos fatores, dentre eles destacam-se as condições de plantio, o tamanho de lavoura, o tipo de solo, a topografia, o clima e a tecnologia aplicada (CONAB, 2011).

Esses fatores, somados aos caracteres genéticos da planta, estão intrinsecamente relacionados à composição química-estrutural do vegetal, o que pode levar à alteração da produtividade. (MAULE; MAZZA; MARTHA JR, 2001).

2.1.2. Capim elefante

O *Pennisetum purpureum Schum*, também conhecido por capim elefante, pertence à família *Graminae* e subfamília *Panicoideae*, e é originário do continente africano. Foi introduzido no Brasil no ano de 1920. O capim elefante é uma gramínea perene, com hábito de crescimento ereto e cespitoso, podendo alcançar de 3 a 5 m de altura. Essa gramínea apresenta colmos cilíndricos e folhas longas, sendo muito rizomático. Apresenta também relativa resistência a seca ou solo úmido, porém não é tolerante ao encharcamento por período prolongado (SOUZA et al., 1995).

Por ser uma espécie de rápido crescimento e de alta produção de biomassa vegetal, muito semelhante à cana-de-açúcar, o capim elefante apresenta alto potencial para uso como fonte alternativa de energia. Dall’Agnol et al. (2004) registraram a produção de capim elefante *cv. cameroon*, cultivado sob clima frio em diferentes idades, aos 42, 84, 126, 147 e 210 dias, obtiveram produção de matéria seca de 1,03; 9,95; 18,83; 27,04 e 31,13 ton/ha.

O capim elefante, por apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, pode contribuir de forma eficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo (SOUZA et al., 1995) ou o sequestro de C (carbono) no solo (ABBASI & ABBASI, 2010).

Uma das características do uso desta forrageira como biomassa é a possibilidade de dois cortes ao ano, aos 150 dias.

Visando a produção de energia, este número de cortes aumenta o potencial de sua utilização (SAMSON et al., 2005).

Ou seja, a idade de corte da biomassa ocorre aos 150 dias e conforme a planta se desenvolve ocorre a diminuição dos nutrientes da planta, e o aumento de fibra, ou seja, o aumento do teor de lignina e celulose. O aumento da lignina na composição da planta significa uma diminuição na digestibilidade do alimento pelo animal (DESCHAMP, 1999).

Portanto, plantas com idade mais avançada não são usadas para alimentação animal. Xie et al. (2011) constataram isso ao avaliar o desenvolvimento de cinco diferentes genótipos de capim elefante. Os autores observaram um aumento no teor de lignina com o desenvolvimento da planta.

Altos teores de lignina e celulose na biomassa são interessantes do ponto de vista do uso de biocombustíveis sólidos, visto o aumento do teor de carbono. A biomassa de forrageiras perenes possuem teores de celulose e lignina maiores do que as culturas anuais, portanto, possuem maior utilidade como fonte de geração de calor e energia (XIE et al.,2011).

O interesse no uso do capim elefante como fonte de energia é tão grande que, em 2010, entrou em funcionamento a primeira usina termoeletrica alimentada por capim elefante do mundo. A Sykué Bioenergia está localizada em São Desidério, no interior da Bahia, e possui uma área plantada de 4 mil ha de capim elefante. A meta da usina é a geração de 30 MW de energia.

2.1.3. Eucalipto

O potencial do eucalipto como substrato para produção de energia apresenta uma tendência a uma sinergia crescente. Das biomassas florestais, o Eucalipto destaca-se devido à sua fácil adaptação a diferentes solos e, por sua vez, é utilizado para a geração de energia em diferentes configurações que envolvem espaçamentos entre árvores e diferentes ciclos de corte.

No Brasil, onde a variação climática é muito grande, uma das tarefas mais difíceis é a escolha do gênero e da espécie a ser cultivado. Do gênero *Eucalyptus*, por exemplo, observa-se uma grande variação de espécies, com predominância maior e tolerância ao frio, como *E. dunnii*

e *niten* (ao sul do país), o *E. grandis*, *saligna* e *urophylla*, ou híbridos destas espécies (nas regiões leste e centro-oeste).

O plantio de eucalipto no Brasil tem se estendido para regiões além daquelas tradicionais, como a Sul e Sudeste do país, o que levanta a necessidade de se obter informações sobre a produção esperada desses novos plantios. A produção de uma cultura é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e pela eficiência de conversão dessa radiação em biomassa. Essa eficiência é principalmente influenciada pela disponibilidade de água e de nutrientes. O aumento do fornecimento destes fatores, além do ponto de deficiência, tende a aumentar a produção que é fortemente influenciada pelas interações dos mesmos até que se atinja um nível ótimo (MARSCHNER, 1997).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam elevada eficiência nutricional em razão de sua maior capacidade de translocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais. A translocação de nutrientes, principalmente N, P e K, consiste na migração dos elementos químicos das folhas para os galhos, pouco antes de a queda delas (COSTA et al., 2005).

Assim, o eucalipto consegue aproveitar a disponibilidade de nutrientes do sítio em produção maciça de madeira.

A produção de biomassa na madeira por indivíduo de *E. camaldulensis* cresce com a adubação e com espaçamentos maiores, devido à maior disponibilidade de nutrientes, água e luz para cada árvore (OLIVEIRA et al, 2000).

O potencial energético do eucalipto e sua rentabilidade econômica, segundo Rocha et al. (1993), mostraram-se vantajosos quando a partir do uso de cavacos de eucalipto, a uma umidade média de 49,47 %, constatou que para atingir a mesma energia obtida na queima de 1 m³ deste material seriam necessários 72 kg de óleo combustível, 220,39 kWh de energia elétrica, ou ainda 105 kg de carvão mineral.

2.1.4. Peroba Garapeira

A grápia ou peroba garapeira, está na relação das espécies madeireiras promissoras para o Estado do Paraná (CARVALHO, 1988).

Ela apresenta crescimento lento a moderado e, de acordo com o Sistema de Classificação de Cronquist, a taxonomia de *Apuleia leiocarpa* obedece à seguinte hierarquia: Divisão: Magnoliophyta (*Angiospermae*) Classe: Magnoliopsida (*Dicotyledonae*) Ordem: Fabales Família: *Caesalpinaceae* (*Leguminosae Caesalpinioideae*). Espécie: *Apuleia leiocarpa*.

Nomes vulgares no Brasil: amarelão, em Mato Grosso; amarelinho em Mato Grosso do Sul, no Paraná, em Santa Catarina e no Estado de São Paulo; amarelinho-da-serra, garapiapanha, grapiapunha-branca e guarapeapunha, em Santa Catarina; aricirana, no Maranhão; barajuba; cetim; coração-de-negro, no Estado do Rio de Janeiro; rnuirajuba, no Maranhão e em Mato Grosso; mulateira em Mato Grosso do Sul; parajuba; pau-cetim; pau-mulato, no Espírito Santo e em Minas Gerais.

Forma biológica: árvore caducifólia. Na Região Nordeste, com 2 a 15m de altura; na Região Sudeste, com até 20 m de altura; e na Região Sul, atingindo até 35 m de altura e 100 cm de DAP, na idade adulta. Na Amazônia, a variedade *molaris* atinge até 40 m de altura (PAULA & ALVES, 1997).

Tronco: irregular a cilíndrico, reto na floresta fechada e um pouco tortuoso, em lugar mais ou menos aberto. Fuste geralmente um pouco tortuoso, com até 15 m de comprimento na floresta. Às vezes, forma *sapopemas basais*. Ramificação: cimosa a simpódica. Copa larga, muito ramificada, aplanada e não muito densa, de até 8 m de diâmetro, que proporciona uma sombra média.

Casca: fina, com espessura de até 10 mm. A casca externa é pardo-amarelada a branco-acinzentada, áspera, quase lisa, com escamas delgadas que se desprendem facilmente em placas rígidas em forma de conchas, deixando cicatrizes características que tornam essa árvore inconfundível na floresta (KLEIN, 1982).

A grápia, ou peroba garapeira, é considerada padrão para terrenos secos e profundos, sempre encontrada nos lugares altos. Ela ocorre naturalmente no noroeste do Rio Grande do Sul, em solos formados da decomposição de rochas eruptivas básicas, com textura franca a argilosa e substrato basáltico (MATTOS & GUARANHA, 1983).

No norte do Paraná, em Nitossolo Vermelho eutroférico (na antiga classificação de solos Terra Roxa estruturada). Com fertilidade química entre média a boa e com textura argilosa; e no Nordeste brasileiro, nos tabuleiros, em solos arenosos. Em plantios no Paraná, tem crescido

melhor em solo com boa fertilidade química, com propriedades físicas adequadas, como bem drenado e com textura arenoargilosa a argilosa.

2.2. Tecnologias de aproveitamento de Biomassa

A tecnologia do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar como geradora de energia é muito comum e conhecida no setor sucroalcooleiro, tanto para a produção de energia elétrica para consumo próprio como para comercialização e, até mesmo, para consumo distribuído nas adjacências da usina.

O bagaço de cana-de-açúcar é o subproduto de maior interesse pelas indústrias, apesar de não ser o substrato de maior volume. Isto se deve ao seu grande potencial calorífico, 1850 kcal/kg, que o torna um resíduo com grande potencial de aplicação como combustível (BARBIERI et al. 2013).

O capim elefante apresenta elevada produtividade, de 30 a 40 toneladas de biomassa por hectare, gerando 3.500 kcal/kg a 12 % de umidade, enquanto que o eucalipto, a árvore mais cultivada no Brasil para produzir celulose e carvão vegetal, produz 15 toneladas de biomassa por hectare ao ano, em média, e até 20 toneladas nas melhores condições, gerando 3.800 kcal/kg a 12 % de umidade.

O eucalipto necessita de sete anos para atingir um tamanho conveniente para o corte, enquanto que o capim elefante pode ser colhido até duas vezes por ano, devido ao seu rápido crescimento (MAZZARELLA, 2008).

A peroba garapeira ou grápia possui boa aceitabilidade para a produção de energia, por se tratar de madeira com alto teor de lignina, sendo considerada muito boa para produção de álcool, coque e carvão (PAULA, 1981).

Além disso, a peroba garapeira produz polpa para papel de embalagem de características plenamente satisfatórias e até mesmo superiores às de Eucalipto. (MELO et al., 1986).

O aproveitamento destas biomassas pode ser feito por meio da queima em centrais de geração de energia elétrica ou pela combustão para a produção de calor, gerando, ao final, as cinzas residuais, objetos de estudo deste trabalho.

O uso da biomassa como fonte de energia é cada vez mais frequente e promissor, pois o Brasil é grande produtor de biomassa e essa é uma das mais abundantes das energias renováveis. Além dessas vantagens, a biomassa possui ciclo fechado de carbono e reduz emissões de CO₂ e outros produtos nocivos ao meio ambiente.

Tecnologias de conversão de biomassa variam em termos de escala, qualidade do combustível e custo. Tecnologias de larga escala incluem combustão em leito fluidizado, combustão e cocombustão de carvão e biomassa, recuperação de resíduos sólidos urbanos assim como diversos tipos de sistemas para gaseificação, pirólise, etc.

As tecnologias de aproveitamento do potencial da biomassa sólida passam essencialmente pela queima em centrais térmicas com tecnologias de cogeração para a produção de energia elétrica.

Estas tecnologias, segundo Silva (2007), são conhecidas e dominadas por empresas nacionais e internacionais. Uma pequena central termelétrica é concebida para consumir lenha, podendo também consumir outras biomassas, como casca de arroz, milho, algodão, bagaço-de-cana e resíduos celulósicos em geral. O resíduo compactado (briquetes e pellets) é ideal pela homogeneidade de forma e pela qualidade energética agindo como facilitador no sistema de alimentação da caldeira.

Segundo Cortez et al (2008), o uso energético dos resíduos agroindustriais é obtido, na maioria dos casos, por meio da queima direta em fornos e caldeiras ou, de maneira mais inovadora, através da biodigestão anaeróbia. O que determina o processo utilizado de conversão energética dos resíduos é seu teor de umidade, pois, em termos práticos, só é possível queimar resíduos com até 50 % de umidade.

O bagaço de cana é um subproduto resultante da extração do caldo da cana-de-açúcar em usinas ou destilarias na produção de álcool etílico e açúcar. Pode ser considerado atualmente como o principal resíduo agrícola brasileiro, devido à expansão na produção de álcool. A maior parte do bagaço produzido é utilizada na própria usina na geração de vapor para o suprimento de energia de seu parque industrial (LORA, 2004).

O bagaço de cana *in natura* resultante do processo de moagem apresenta aproximadamente umidade de 50 % (base úmida) e densidade aparente de 120 kg/m³.

A extração do caldo da cana consiste no processo físico de separação da fibra (bagaço), sendo feito, fundamentalmente, por meio de dois processos: moagem ou difusão.

Na extração por moagem, a separação é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana desfibrada. Na difusão, a separação é feita pela lavagem da sacarose absorvida ao colchão de cana.

A cana picada e desfibrada chega às moendas por meio de um alimentador vertical. Cada conjunto de rolos de moenda, montados numa estrutura denominada castelo, constitui um terno de moenda. O número de ternos utilizados no processo de moagem varia de quatro a seis, e cada um deles é formado por três cilindros principais, denominados cilindro de entrada, cilindro superior e cilindro de saída.

Algumas moendas contam com um quarto rolo, denominado rolo de pressão, que melhora a eficiência de alimentação. A carga que atua na camada de bagaço é transmitida por um sistema hidráulico que atua no rolo superior. Com o aumento da capacidade de moagem advindo do preparo da cana, é necessária a instalação do rolo de pressão, cuja finalidade é manter constante o fluxo de alimentação da moenda.

A cana desfibrada chega à primeira moenda, onde recebe a primeira compressão entre o cilindro anterior e superior e uma segunda compressão entre o cilindro posterior e o superior. Tem-se, pois, um caldo conhecido como primário. O bagaço resultante segue pela esteira intermediária para o segundo terno de moagem, recebendo novamente duas pressões, como mencionado anteriormente. Os esmagamentos se sucedem para os ternos seguintes. O bagaço final sai com umidade em torno de 50 % e segue para as caldeiras onde se produz vapor, que será consumido em todo o processamento e no acionamento das próprias moendas.

As principais propriedades para caracterização energética de biomassas em geral são: Poder Calorífico – PC (kJ/kg), densidade (kg/m³) e composição, onde o poder calorífico é classificado em dois tipos:

- Poder Calorífico Superior - PCS: Poder Calorífico em base seca, onde não se leva em consideração o calor associado à condensação da água formada em reação com o hidrogênio contido na biomassa.

- Poder Calorífico Inferior (PCI): É calculado subtraindo do PCS o calor associado com a condensação do vapor de água formado pela reação do hidrogênio contido na biomassa.

Durante a determinação do PCI deve-se levar em consideração o teor de umidade presente.

Uma UTE (Unidade Termoelétrica) típica do setor sucroenergético atual contém os seguintes equipamentos básicos: caldeira a vapor, turbina a vapor de extração e condensação, gerador elétrico, desaerador, condensador, bombas d'água e de condensado. (DEDINI, 2008)

As turbinas a vapor são do tipo multiestágio de pressão, multiválvulas de regulação, com eficiência isentrópica na faixa de 84 a 88 % e eficiência mecânica de 98 % (incluído o gerador elétrico). Na extração da turbina, o vapor é utilizado no processo de fabricação (açúcar e etanol) e no desaerador, para aquecer o condensado que vem do condensador e vai para a caldeira (circuito fechado vapor/condensado).

2.3. Combustão de Biomassa

A combustão é uma reação química exotérmica que ocorre na presença de combustível e comburente (geralmente o oxigênio), para liberar calor e luz. O processo de combustão é o principal processo de conversão das fontes de biomassa sólida para extração da energia contida na mesma e o processo de cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de uma mesma fonte primária de energia. (BOUJAOUDE, 1991).

A queima de biomassa é a maior fonte doméstica de energia nos países em desenvolvimento. Aproximadamente metade da população do planeta, e mais de 90 % das casas na região rural dos países em desenvolvimento, permanecem utilizando energia proveniente da queima de biomassa, na forma de madeira, carvão, esterco de animais ou resíduos agrícolas.

No quesito análise de ciclo de vida, a biomassa tem sido identificada pela sua importância na produção de energia renovável no tocante às baixas emissões de CO₂ em comparação com os combustíveis fósseis, com o custo da energia produzida e, principalmente, pela fixação de carbono no solo.

O interesse no uso do capim elefante como fonte de energia é tão grande que, em 2010, entrou em funcionamento a primeira usina termoelétrica alimentada por capim elefante do mundo. A Sykué Bioenergia está localizada em São Desidério, no interior da Bahia, e possui uma área plantada de 4 mil ha de capim elefante. A meta da usina é a geração de 30 MW de energia.

Da mesma forma, biomassas como bagaço de cana de açúcar e eucalipto, que são parte dos objetos deste presente estudo, são bastante conhecidas e utilizadas como fonte de cogeração de energia tanto no setor sucroalcooleiro como em outras indústrias de transformação.

A demanda para geração de bioenergia é significativa o suficiente para criar uma mudança no paradigma tradicional para a agricultura global. (SCHMIDHUBER, 2006).

2.4. Cinzas de Biomassa

As cinzas são os resíduos gerados nas caldeiras de cogeração de energia com a combustão de biomassa. No presente trabalho discutir-se-á o uso específico de cavacos de eucalipto, capim elefante, peroba e bagaço de cana de açúcar.

O efeito benéfico das cinzas quando espalhadas na superfície do solo é resultado de sua composição química e, principalmente, da solubilização dos macronutrientes Ca, K e Mg e de micronutrientes (NOLASCO et al, 1999).

As cinzas podem ser vistas como um resíduo a ser descartado, no entanto, contém minerais valiosos e podem ser utilizadas como fertilizante.

Cinzas provenientes de combustão de biomassa dividem-se em dois componentes: as partículas maiores, que caem através da grelha durante a combustão e são recolhidas como cinzas de fundo, e as partículas muito finas que são transportadas nos gases de combustão e são conhecidos como cinzas volantes. (BRAUNBECK et al 1999).

Por conter minerais desenvolvidos pela biomassa durante o crescimento, tais como potássio e fósforo, as partículas maiores das cinzas podem ser utilizadas como fertilizantes, que, por sua vez, podem ser utilizados como um complemento nas operações de manejos florestais sustentáveis.

Devido à natureza altamente concentrada das cinzas e a presença de óxidos de metais alcalinos como o cálcio e o potássio, por exemplo, as cinzas tendem a apresentar um pH muito alto e, conseqüentemente, torna-se necessário e até mesmo desejável, que estas cinzas sejam distribuídas uniformemente e em camadas superficiais.

Na Suécia, segundo Pitman (2006), a dose máxima permitida de cinzas de madeira é de 3 toneladas por hectare.

Cinzas de partículas maiores, ou cinzas de fundo, podem também ser adicionadas a uma pilha de compostagem, a uma taxa de até cerca de 15 % do total (em peso), e também podem ser utilizadas na fabricação de blocos refratários, observando-se, todavia, as quantidades necessárias para uma viabilidade econômica no quanto em operações de larga escala.

As cinzas volantes, coletadas de filtros de gás de combustão, no entanto, devem ser tratadas com mais cautela. Quaisquer metais pesados presentes tendem a concentrar-se nas cinzas volantes e, portanto, não devem ser utilizadas como fertilizante. (BRAUNBECK et al 1999).

De uma forma geral, as cinzas de partículas maiores agregam valores e melhorias químicas ao solo, como elevação dos níveis de pH, Ca, K e Mg.

Conforme demonstra Gonçalves e Moro (1995), as cinzas têm o papel de estabilizador das características químicas do solo, em especial, para os elementos P, K, Ca e Mg.

A aplicação de cinzas em plantio de eucalipto é uma alternativa técnica e economicamente viável, aumentando a fertilidade do solo, e influenciando no desenvolvimento da espécie (GUERRINI & MORO, 1994).

Segundo Moro (1990); Guerrini & Moro (1994), a aplicação de cinzas e/ou resíduo em plantio de eucalipto, são alternativas técnica e economicamente viáveis, aumentando a fertilidade do solo e influenciando o desenvolvimento desta cultura.

A parte correspondente às cinzas nos materiais ligno-celulósicos é constituída por óxidos de cálcio, potássio, sódio, magnésio, silício, ferro e fósforo; seu conteúdo é inferior a 1 %, em massa, para a maioria desses materiais. Os teores de extrativos, como terpenos, resinas, ácidos graxos, taninos, pigmentos e carboidratos ficam entre 2 a 5 % em massa.

Na tabela 2.1, mostra-se a composição química elementar de diferentes materiais lignocelulósicos e, na tabela 2.2, a composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos em base seca (JENKINS, 1990).

TABELA 2.1 Composição química elementar de materiais lignocelulósicos.

Biomassa	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)
Bagaço de cana-de- açúcar	43,82	5,85	47,10	0,35
Casca de amendoim	48,26	5,66	39,39	0,81
Casca de arroz	38,92	5,12	31,95	0,55
Casca de coco	50,22	5,70	43,40	0,00
Casca de painço	42,66	6,05	33,07	0,12
Fibra de coco	47,65	5,67	45,61	0,19
Madeira (Subadul)	48,15	5,87	45,09	0,03
Palha de trigo	47,47	5,42	35,79	0,13
Pé de milho	41,92	5,29	45,95	0,00
Resíduo de algodão	42,66	6,05	49,50	0,12
Sabugo de milho	47,57	5,00	44,60	0,00

Fonte: JENKINS (1990)

TABELA 2.2 Composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos.

Biomassa	Cinza (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	2,88	41,3	22,64	18,26
Casca de amendoim	5,88	35,68	18,67	30,22
Casca de arroz	23,46	31,29	24,32	14,30
Casca de coco	0,68	36,28	25,06	28,73
Casca de milho	18,10	33,28	26,94	13,97
Fibra de coco	0,88	47,74	25,89	17,78
Madeira (Subadul)	0,9	39,75	23,98	24,68
Palha de arroz	19,78	37,04	22,67	13,64
Palha de trigo	11,19	30,52	28,90	16,38
Pé de milho	6,84	42,71	23,61	17,50
Resíduo de algodão	5,36	77,79	15,96	0,00
Sabugo de milho	2,83	40,32	28,66	16,57

Fonte: JENKINS (1990)

A composição química da amostra de cinza do bagaço selecionada produzida a 600 °C, que pode ser observada na Tabela 2.3, aponta a predominância do composto SiO₂ da cinza, com 60,96 % em massa. Os óxidos K₂O, MgO, P₂O₅ e CaO representam cerca de 32 % da cinza. Impurezas também são encontradas na forma de Na₂O, MnO, Al₂O₃ e Fe₂O₃, com teores inferiores a 1 %. Cabe ressaltar que a composição química da cinza do bagaço pode variar em função do tipo de cana-de-açúcar cultivada, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, solo e água.

TABELA 2.3 Composição química, em termos de óxidos, da cinza do bagaço de cana-de-açúcar produzida a 600 °C.

Composto	Teor (% em massa)
Al ₂ O ₃	0,09
CaO	5,97
Fe ₂ O ₃	0,09
P ₂ O ₅	8,34
MgO	8,65
MnO	0,48
K ₂ O	9,02
Na ₂ O	0,70
SiO ₂	60,96
Perda ao fogo	5,70

Fonte: CORDEIRO et al (2009)

Conforme reporta Pitman (2006), em seu artigo intitulado “*Wood ash use in forestry – a review*”, e apresentado na Tabela 2.4, a composição das cinzas de madeira depende, especificamente, da natureza do combustível. Resíduos de indústrias de papel são queimados para a produção de energia.

O fator essencial na composição de cinzas é a temperatura da queima do forno. As cinzas de partículas menores ou volantes são os componentes mais leves dos resíduos gerados na queima da biomassa e, portanto, o que é depositado no interior dos sistemas, muitas vezes, contém níveis mais elevados de dioxinas e metais pesados do que nas cinzas de partículas maiores.

TABELA 2.4 Concentração de elementos em cinzas de madeira e suas variações em %.

	Resíduos de madeira/casca		Cinzas de papel	Madeira macia		Madeira dura	
	Média	Variação	Média	Caule	Casca	Caule	Casca
Ca	13,2	7,4 – 33,1	16,6	22,4	28,5	19	27,1
Fe	1,51	0,3 – 2,1	0,51	0,8	0,2	0,5	0,6
K	2,93	1,7 – 4,2	2,57	12,4	9,8	20,4	12,2
Mg	1,47	0,7 – 2,2	1,07	4,3	2,8	3,6	2,2
Mn	0,67	0,3 – 1,3	0,32	2,9	1,7	0,8	0,6
Na	0,24	0,2 – 0,5	0,10	--	--	--	--
P	0,79	0,3 – 1,4	0,39	2,4	2,8	4,2	3,4
S	0,56	0,4 – 0,7	0,02	2,3	1,2	2,1	1,1
Al	2	1,5 – 3,2	0,91	--	--	--	--
C	--	--	25,5	--	--	--	--
pH	12,7	11,7 – 13,1	12,4	--	--	--	--
N	<0,1						

Fonte: PITMAN (2006).

Etiégni e Campbell (1991) notaram diferenças na qualidade e quantidade de cinzas obtidas em um fogão a lenha doméstico e em caldeiras comerciais, com temperaturas abaixo de 1200 °C e acima de 2000 °C, respectivamente.

2.5. A importância econômica da aplicação das cinzas de biomassa

O Brasil é o país que mais utiliza biomassa na produção de energia, sendo 16 % do uso mundial no setor. Além disso, é reconhecido internacionalmente pela sua eficiência energética na produção de cimento, por apresentar baixa emissão de gases, e é o primeiro em produção mundial de cana-de-açúcar. Atualmente, a biomassa representa cerca de 14 % da produção de energia global.

Uma alternativa para redução da emissão de CO₂ para a atmosfera é o uso de combustíveis alternativos, como por exemplo, biogás, carvão vegetal e biomassa, visto que o aquecimento do nosso planeta está ligado diretamente ao efeito estufa, ou seja, o confinamento de calor na atmosfera. Parte da emissão de gases relacionados ao efeito estufa é proveniente da energia usada no nosso aquecimento, na iluminação de nossas casas, ruas e parques, no transporte e na manufatura. (ALI et al., 2011); (WORRELL et al., 2001) e (MADLOOL et al. 2011).

O bagaço da cana-de-açúcar é normalmente queimado como combustível em caldeiras que geram calor para a formação do vapor d'água, utilizado na produção de açúcar e álcool. Também é utilizado como combustível em processos de cogeração de energia (SOUZA et al. 2007).

Com a queima do bagaço são gerados diversos outros resíduos como a fuligem e as cinzas volantes.

No mesmo raciocínio, o capim elefante apresenta características de alta eficiência fotossintética, resultando numa grande capacidade de acumulação de matéria seca, é renovável, não esgota o solo como a cana-de-açúcar e seu plantio pode ser feito em qualquer lugar onde haja condições mínimas de fertilidade do solo, luz do sol e pluviosidade, condições essas existentes em diversas regiões brasileiras. A cultura extensiva do capim elefante poderia trazer diversos benefícios para o país, como a fixação do homem no campo, a geração de empregos e a criação de independência em relação a outros combustíveis.

O contexto de crescente aumento pela procura de energias e combustíveis alternativos, somado ao crescimento do setor sucroalcooleiro e à pressão pelo desenvolvimento sustentável, faz com que sejam relevantes os estudos que possibilitem um melhor aproveitamento de resíduos como as cinzas voláteis oriundas da queima de biomassas.

As cinzas, em função do teor significativo de Silício (em SiO₂), podem ser incorporadas ao cimento como uma alternativa de descarte destas cinzas.

Da mesma forma, o fato de haver quantidade significativa de Cálcio (em CaO) nas cinzas, indica que estas cinzas podem ser utilizadas em conjunto com o calcário para a melhoria das características químicas do solo, principalmente, pelo seu papel importante na correção da acidez do solo, tornando-se também um excelente aliado econômico, dada a redução deste insumo, o calcário. (SANTOS, 1995)

Com isso reduz-se as despesas do processo de produção e de aquisição dos aditivos utilizados, tanto na agricultura quanto na construção civil, reduzindo o impacto ambiental relativo

à sua disposição no meio ambiente, como pode ser observado na literatura (MACEDO, 2009). A aplicação de cinzas como atividade pozolânica é outra aplicação na área de construção civil encontrada na literatura da área (CORDEIRO & FAIRBAIRN 2009) e (NUNES et al. 2008).

De acordo com Souza (2007), a atividade pozolânica pode ser classificada em termos de propriedades químicas, físicas e mecânicas. Os métodos mecânicos expressam a atividade pozolânica em termos da resistência à compressão. Ainda como desvantagem, deve-se considerar que o ganho de resistência em misturas de cal ou cimento dá-se mais lentamente com a incorporação de aditivos minerais.

Quimicamente, as pozolanas podem ser classificadas através da determinação da cal consumida. Já a classificação física se dá através de ensaios de difração de raios-X, onde é possível determinar as fases cristalinas da sílica, e através de termogravimetria, que permite calcular a quantidade de cal na mistura.

2.6. Solo

Um fator preocupante para o desenvolvimento de culturas agrícolas é a acidez do solo. Os solos brasileiros são, em geral, solos ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes necessários ao maior rendimento das lavouras. Portanto, uma prática, que se torna necessária, é a correção desta acidez criando condições melhores tanto na fertilidade do solo como nas plantas. O alumínio (Al) e o manganês (Mn) são tóxicos devido a maior solubilidade nos solos ácidos. A acidez diminui a população de microrganismos que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Nas leguminosas, a fixação simbiótica é reduzida em solos com pH menor que 6,5. Além disto, nos solos ácidos, a capacidade de troca de cátions (CTC) é baixa; o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são limitantes, bem como, a disponibilidade de fósforo (P) e molibdênio (Mo). A acidez é medida pelo H^+ dissociado na solução do solo, expressa em pH. Quanto mais baixo for o pH do solo, maior a quantidade de H^+ .

Por definição, Solo é um corpo de material inconsolidado que cobre a superfície terrestre emersa, entre a litosfera e a atmosfera. Os solos são constituídos de três fases: sólida, líquida e gasosa. (MIRANDA, 2009).

Solo, sob o ponto de vista da engenharia, é a denominação que se dá a todo material de construção ou mineração da crosta terrestre escavável por meio de pá, picareta, escavadeira, etc., sem necessidade de explosivos.

O Brasil destaca-se como grande produtor agrícola, fato proveniente do extenso território e também da fertilidade do solo. Em razão da dimensão territorial do Brasil, é possível identificar diversos tipos de solo que são diferenciados segundo a tonalidade, composição e granulação.

No Brasil, são encontrados quatro tipos de solo, a saber: terra roxa, massapé, salmorão e aluviais.

Constituído essencialmente por matéria mineral e orgânica (fração sólida), água (fração líquida) e ar (fração gasosa) o solo é considerado um sistema trifásico. As proporções de cada constituinte variam, principalmente, de acordo com sua natureza.

A matéria orgânica do solo é constituída por restos de plantas e outros organismos, em estado mais ou menos avançado de decomposição, acumulando principalmente na superfície. A água e o ar do solo ocupam os espaços existentes entre as partículas terrosas e entre agregados de partículas. O ar ocupa os espaços não preenchidos pela água e a quantidade de água é variável em razão da precipitação e irrigação, à textura, estrutura, relevo e teor em matéria orgânica, podendo estar associada a uma grande variedade de substâncias.

O solo é o resultado de mudanças ocorridas nas rochas denominadas intemperismo. Ações dos ventos, chuvas e organismos vivos (processos físicos, químicos e biológicos) são os responsáveis por este lento processo. As Figuras 2.2, 2.3 e 2.4 ilustram, respectivamente, a atividade mecanizada de preparação de solo, a preparação de solo com tração animal e adubação pós-emergente, ou seja, logo após a emergência de plantas daninhas e antes que essas interfiram no desenvolvimento da cultura saída. Calcula-se que cada centímetro do solo se forma em intervalo de tempo de 100 a 400 anos. As condições climáticas existentes são a principal influência das características de cada solo.



Figura 2.2: Preparo do solo. (EMBRAPA, 2011)



Figura 2.3: Preparo do solo com tração animal. (EMBRAPA, 2011)



Figura 2.4: Adubação pós-emergente. (EMBRAPA, 2011)

Braunbeck & Oliveira (2006), e Silveira (2010), enfatizam a necessidade do aproveitamento dos resíduos agrícolas, sugerindo que durante a colheita de cana deve-se contemplar a recuperação e o transporte da palha sob condições satisfatórias de densidade e níveis de contaminação com solo.

2.7. Adubação

Adubação pode ser, em suma, descrita pela quantidade de nutriente requerido pela planta subtraída da quantidade de nutriente fornecido pelo solo. (GONÇALVES & MORO, 1995)

Um fator determinante da produtividade das culturas, do ponto de vista de correção da acidez do solo e adubação, é o manejo da fertilidade do solo. Entretanto, o emprego de fertilizantes e corretivos deve ser criterioso e equilibrado, considerando que o uso do solo deve ser feito de forma a manter sua fertilidade em equilíbrio com o meio ambiente.

A cana-de-açúcar apresenta sistema radicular que atinge camadas profundas do solo, uma vez que não há impedimentos físicos ou químicos. O crescimento das raízes em profundidade

contribui para o aumento da produtividade da cultura, já que aumenta o volume de solo explorado para a retirada de água e nutrientes.

O uso de agentes corretivos é fundamental para a melhoria da fertilidade do solo e dos ambientes de produção para todas as culturas.

O uso do calcário é prática comum como ação corretiva da acidez do solo. A correção da acidez do solo tem efeitos diretos e indiretos sobre as plantas, alterando características do solo, como: a neutralização do alumínio e do manganês, que podem ser tóxicos para as plantas quando em pH abaixo de 5,5, a elevação das concentrações de cálcio e magnésio, a elevação do pH e o aumento na disponibilidade de fósforo, por exemplo.

Efeitos indiretos dizem respeito ao aumento do sistema radicular das plantas em função da melhoria da fertilidade e do aumento do cálcio, maior produtividade em função da maior disponibilidade de nutrientes, melhoria nas características físicas e biológicas do solo.

Para a cana-de-açúcar, a calagem tem possibilitado uma maior longevidade do canavial. A adubação da cultura visa adicionar os nutrientes necessários em quantidades suficientes para garantir a máxima produtividade econômica.

O primeiro passo no planejamento da adubação é saber quais nutrientes são necessários para o bom desenvolvimento da cultura. Os elementos químicos encontrados em maiores concentrações são o carbono, o hidrogênio e o oxigênio, sendo que estes elementos são adquiridos do ar e da água, pelos processos de fotossíntese.

Os minerais obtidos do solo em maior quantidade (gramas por quilo de matéria vegetal produzida) em qualquer cultura agrícola são chamados de macronutrientes, divididos em: Primários ou nobres [Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)], Secundários [Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)].

Os nutrientes minerais exigidos em menores quantidades (miligramas ou microgramas por quilo de matéria vegetal produzida) são os micronutrientes Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni) e Zinco (Z).

A época da adubação é muito importante para o aproveitamento do fertilizante, levando-se em consideração o estágio da cultura e o comportamento do elemento no solo.

Os fertilizantes e corretivos podem ser classificados como os insumos de maior importância para a produção de culturas, devido à capacidade que estes têm de influenciar sua produtividade.

Na adubação mineral com NPK, em geral, o nitrogênio é o nutriente que as plantas necessitam em maior quantidade. Entretanto, na cultura da cana-de-açúcar, o potássio é requerido em quantidades maiores do que o nitrogênio, elemento que faz parte de muitos compostos, sobretudo das proteínas, e é constituinte da clorofila, ácidos orgânicos e hormônios vegetais. O canavial bem nutrido em nitrogênio apresenta-se verde e exuberante, uma vez que este nutriente estimula a brotação, o enraizamento e o desenvolvimento de perfilhos.

A resposta na produtividade da cana-planta devido à aplicação de nitrogênio é pequena, mas, mesmo assim, são utilizadas entre 30 e 60 quilos de nitrogênio por hectare. Já nas soqueiras, a produtividade é altamente influenciada pela aplicação do nitrogênio, sendo comum a utilização de 80 a 150 quilos por hectare, dependendo do ambiente de produção, da variedade e da idade do canavial.

O fósforo, por sua vez, é o nutriente que as plantas requerem em menor quantidade. Apesar disso, é um dos elementos aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, devido à sua baixa disponibilidade natural e grande afinidade da fração mineral do solo por este elemento, o que se torna um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais.

Com isso, a adubação fosfatada é imprescindível para a otimização da produção de diversas culturas, inclusive a cana.

A adubação fosfatada para a cana-de-açúcar é amplamente reconhecida como uma prática eficaz para elevar a produtividade dos canaviais, principalmente nos solos brasileiros, que são, em geral, pobres em fósforo.

O fósforo faz parte das moléculas de ATP e ADP, participando, portanto, de todos os processos metabólicos que utilizam energia. O elemento também é constituinte de fosfolipídeos e moléculas de DNA e RNA, participando dos processos de divisão celular e transmissão dos caracteres genéticos. Embora o elemento seja um dos macronutrientes menos exigidos pela cana-de-açúcar, as dosagens utilizadas estão entre 100 e 150 quilos de P_2O_5 por hectare, sendo que, geralmente, o fósforo é aplicado uma única vez, no sulco de plantio. Essa dose de fósforo satisfaz, portanto, a necessidade da cultura por cinco anos.

O potássio estimula a vegetação e o perfilhamento; aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda na fixação do nitrogênio; regula a utilização da água e aumenta a resistência à seca, geada e moléstias.

Por apresentar alta resposta na produtividade, o potássio é aplicado em doses altas tanto na cana como nas soqueiras. Doses entre 80 e 150 quilos de K_2O por hectare são utilizadas tanto para a cana-planta como para as soqueiras.

2.8. Cimento Portland

Os principais componentes do cimento Portland são: silicato tricálcico ($3CaO.SiO_2$) também denominado como alita (C_3S), silicato dicálcico ($2CaO.SiO_2$) também denominado belita (C_2S), aluminato tricálcico ($3CaO.Al_2O_3$) conhecido por aluminato (C_3A) e ferroaluminato tetracálcico ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) chamado ferrita (C_4AF). (TAYLOR, 1997).

A alita representa 50 a 70 % no cimento, e em contato com água reage relativamente rápido, sendo responsável pelo aumento da resistência em idade até 28 dias. A belita representa 15 a 30 % no cimento, e apresenta uma reação mais lenta que a alita, contribuindo pouco na resistência nos primeiros 28 dias. Sua contribuição maior é em idades mais avançadas. E o aluminato e a ferrita representam 5 a 10 % no cimento.

O silicato de cálcio hidratado (CSH) é um dos principais produtos formado da hidratação dos silicatos (C_3S e C_2S). Outros produtos formados são os cristais de hidróxido de cálcio ou portlandita (CH), etringita (AFt), aluminatos de cálcio hidratados (CAH) e monossulfoaluminato de cálcio hidratado (AFm).

2.9. Gerenciamento de resíduos industriais

O tema 'Resíduos industriais' é muito discutido nas indústrias de transformação e na academia de forma geral, principalmente em relação aos projetos de inventários de ciclo de vida relacionados ao consumo e, principalmente, a ocupação de terra que se intensificou ao longo do século passado. De toda sorte, a grande preocupação com resíduos industriais não pode ser restrita à esfera ambiental, contribuindo, e muito, em estabelecer interfaces com saúde pública, saneamento básico, economia e questões sociais.

A princípio, os resíduos devem ser reaproveitados, tomando por base que aqueles que não puderem ser reaproveitados devem ter sua correta destinação e, em último caso, devem ser dispostos em aterros sanitários (ROLIM, 2000).

No presente estudo, a iniciativa ocorreu com a demanda crescente de resíduos utilizados na cogeração de energia em caldeiras auxiliares, tanto em indústrias de uma forma geral quanto em usinas sucroalcooleiras o que, por sua vez, gera outros resíduos conhecidos por cinzas residuais.

Parte dos custos associados à prática atual de gestão de resíduos está relacionada à avaliação de viabilidade econômica da reciclagem e, conseqüentemente, do interesse do gerador dos resíduos no desenvolvimento de alternativas de reaproveitamento (JOHN & ÂNGULO, 2003).

Em princípio, não se dava tanta importância aos resíduos gerados pela produção de bens de consumo. Certamente, havia uma grande disponibilidade de insumos inversamente proporcional, por sua vez, à sua demanda e, por conseguinte, a uma menor população.

Todavia, com o passar dos anos, a produção industrial aumentou e, em proporções semelhantes, elevou-se o volume de resíduos gerados.

Os trabalhos e estudos realizados mostram que havia um comprometimento local com o meio ambiente, comprometimento esse muito restrito a pequenas comunidades, sem o devido conhecimento da capacidade de absorção de resíduos pela Terra como um todo. Com esse raciocínio, acreditava-se que o aumento de resíduos oriundos da indústria de transformação poderia ser facilmente dissipado por meio de uma distribuição de águas e gases poluídos por uma área tão grande quanto possível, p.e., um copo de esgoto lançado em um grande rio não traria dano algum àquela macroregião.

Na mesma trajetória, o grande volume de resíduos gerados nas indústrias chamou a atenção de pesquisadores para o reaproveitamento destes resíduos na fabricação de novos produtos ou até mesmo na cogeração de energia.

A norma brasileira NBR 10004 – Classificação de resíduos (ABNT, 1987) classifica os resíduos, basicamente, em Classe I - Perigosos; Classe II – Não perigosos; Classe II A – Não inertes e Classe II B – Inertes. Tal classificação tome por base a presença de algumas substâncias perigosas relacionadas na referida norma e em testes laboratoriais complementares, nos quais vários parâmetros químicos são analisados nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos estudados.

2.9.1. Classificação de Resíduos Sólidos.

1. Resíduos Classe I – Perigosos: Aqueles que apresentam as seguintes características:

Inflamabilidade,

Corrosividade,

Reatividade,

Toxicidade,

Patogenicidade.

2. Resíduos Classe II – Não Perigosos: Que se dividem em duas subclasses.

- 2.1. Resíduos Classe II A – Não inertes. Aqueles que apresentam propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- 2.2. Resíduos Classe II B – Inertes. Quaisquer resíduos que, submetidos a um contato com água não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. São resíduos inertes as rochas tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas.

Para a classificação de resíduos sólidos devem ser utilizadas as seguintes Normas Técnicas da ABNT:

NBR 10004/2004 - Resíduos sólidos – Classificação;

NBR 10005/2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos;

NBR 10006/2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos;

NBR 10007/2004 - Amostragem de resíduos sólidos.

Mesmo tendo a NBR 10.004 base específica em procedimentos americanos, relacionados no *Code of Federal Registry – Title 40 (CFR 40) – Protection of Environment* (USA, 1994), esta classificação dos resíduos sólidos em três classes é peculiar à norma brasileira, onde o CFR 40 orienta para a classificação dos resíduos em duas classes, perigosos e não-perigosos, o que não leva em consideração o teste de solubilização dos resíduos, principal responsável pela classificação dos resíduos não inertes e inertes segundo a norma brasileira.

O processo produtivo, em boa parte dos casos, tem como consequência a geração de resíduos que precisam de tratamento e destino adequados, haja vista que diversas substâncias muito comuns nos resíduos industriais são tóxicas.

A falta de informações e de alternativas desencadeiam em uma necessidade de se apurar os fatos em busca de características para uma correta destinação de resíduos. Essa falta de informação, muitas vezes, é retrato do incorreto entendimento de que o tratamento ou destinação adequada dos resíduos poderá resultar em altos custos para as empresas.

As indústrias localizadas no Estado de São Paulo produzem toneladas de resíduos que, na grande maioria das vezes, têm destino desconhecido ou são direcionados a usinas de compostagem, sem prévia caracterização e conhecimento de seus compostos físicos e químicos.

2.10. Caracterização físico-química das cinzas residuais de Bagaço de cana de açúcar.

Lima et al, (2009), analisaram quatro amostras de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar quanto à composição química (Óxidos), granulometria (ABNT NBR NM 248:2003 / Agregados - Determinação da composição granulométrica), massa unitária (ABNT NBR NM 45:2006 / Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios), massa específica (NM 23:2001 / Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica) e difratometria de raios X. Além disso, segundo Lima et al, foram analisados os contaminantes por meio do ensaio de lixiviação e solubilização (NBR 10004, 10005 e 10006) e análise da morfologia das partículas pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Todas as amostras utilizadas na fase de caracterização passaram por secagem em estufa a 100 °C, por 12h, e por

moagem durante 3 minutos, na rotação 65 RPM, em moinho tipo almofariz-pistilo (Fabricante: Marconi), apenas para homogeneização.

Ainda segundo os autores, o método utilizado para análise química foi o semiquantitativo por espectrometria de fluorescência de raios-X com o equipamento Espectrômetro Philips PW 2400.

Para esse ensaio, além da secagem e moagem, as amostras de cinza foram peneiradas por 10 minutos no peneirador automático de agregados miúdos com a seguinte série de peneiras de malha quadrada: 6,3 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm e 0,15 mm. As porções retidas nas peneiras foram pesadas e, a seguir, calculadas as porcentagens retidas, acumuladas, o módulo de finura e a dimensão máxima característica de cada amostra.

Nas análises de lixiviação e solubilização das amostras de Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, foram determinados possíveis contaminantes e/ou metais pesados contidos no material. Tais dados apresentam-se de grande relevância na avaliação da necessidade de encapsulamento do material pela técnica de estabilização/solidificação, bem como em relação aos cuidados específicos no pós-tratamento desse resíduo, uma vez que o mesmo é utilizado misturado no adubo nas plantações de cana-de-açúcar.

O ensaio foi executado seguindo as especificações das normas ABNT NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006 (ABNT, 2004).

Nos resultados da análise química das Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (Tabela 2.5), nota-se um alto teor de Sílica (SiO_2) em todas as amostras, com valores acima de 60 %.

O silício é absorvido do solo pelas raízes na forma de ácido monossílico (H_4SiO_4) e, após a saída da água das plantas por evapotranspiração, deposita-se na parede externa das células da epiderme como sílica gel. O acúmulo de silício entre a cutícula e a parede das células da epiderme funciona como uma barreira física à penetração de fungos patogênicos e reduz as perdas de água por transpiração.

Notou-se que a amostra de cinza de bagaço de cana-de-açúcar se diferencia das demais, principalmente em relação ao teor de sílica e de perda ao fogo. Essa característica pode ser devido ao sistema de coleta que mistura a cinza pesada das caldeiras com a cinza leve das chaminés, bastante escura. De acordo com Cordeiro, (2006), a coloração escura das cinzas indica um alto teor de carbono, característica de combustão incompleta do bagaço.

Lima et al (2009) avaliou a composição química de 4 amostras de bagaço de cana-de-açúcar, base seca, conforme Tabela 2.5.

TABELA 2.5: Resultado da análise química das amostras de Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC).

	CBC-A (%)	CBC-B (%)	CBC-C (%)	CBC-D (%)
SiO ₂	88,2	96,2	62,7	93,5
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	7,4	1,9	13,3	3,8
K ₂ O + Na ₂ O	1,4	0,3	1,9	0,8
TiO ₂	1,0	0,2	3,1	0,5
CaO	0,6	0,1	0,9	0,4
P ₂ O ₅	0,4	0,1	0,7	0,2
MgO	0,4	<0,1	0,6	0,3
SO ₃	<0,1	0,1	0,2	<0,1
Perda do fogo	0,35	1,04	16,28	0,34

Fonte: LIMA et al (2009)

Os testes de solubilização e lixiviação, segundo as normas brasileiras ABNT NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006, realizados em amostras de Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) coletadas em usinas do Estado de São Paulo, Brasil, apontam para a presença de metais pesados acima do limite máximo permitido. Os resultados encontram-se na Tabela 2.6.

TABELA 2.6: Elementos encontrados no extrato solubilizado das amostras de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) e os limites permitidos pela NBR10004.

Elemento	Unidade	CBC-A	CBC-B	CBC-C	CBC-D	Limites (mg/L)	LD*
Alumínio	mg Al/L	<DL	0,56	0,25	0,12	0,200	0,010
Cádmio	mg Cd/L	0,032	<DL	0,028	0,008	0,005	0,0006
Chumbo	mg Pb/L	0,22	0,02	0,26	0,05	0,010	0,010
Fenóis totais	MgC ₆ H ₅ OH	0,02	<DL	<DL	<DL	0,010	0,001

Fonte: (LIMA, ET AL, 2009)

Apesar dos valores, no ensaio de solubilização, encontrarem-se acima do permitido pela NBR 10006, os resultados do extrato lixiviado se mantiveram dentro do limite para o grupo dos componentes inorgânicos, segundo o Anexo F da NBR 10004. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004, todas as amostras de CBC analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. A Figura 2.5 mostra os resíduos de eucalipto preparados para a queima e geração de energia.



Figura 2.5: Cavaco de Eucalipto preparado para a produção de energia.

3. METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS

3.1. Metodologia.

A metodologia desse trabalho caracteriza-se em uma pesquisa exploratória e descritiva, através da realização de análises químicas das cinzas das biomassas bagaço de cana-de-açúcar, capim elefante e eucalipto, em conjunto a pesquisas bibliográficas, publicações em trabalhos científicos, órgãos governamentais (ministérios, secretarias estaduais e municipais) e institutos de pesquisa.

Adotar-se-á, nesta orientação, a análise de espectrometria de fluorescência de raios X, que é uma análise quantitativa, não destrutiva, que identifica a proporção de elementos químicos presentes nas amostras, complementando-se os resultados com as análises das amostras de capim elefante, realizadas a partir de Determinação de Cátions e Ânions por Cromatografia de Íons (Procedimento CMQ-LAQ-PE-QI-91) e Análise quantitativa em carvão, coque e biomassa por espectrometria de plasma e espectrofotometria de absorção atômica.

Assim sendo, este capítulo tem por objetivo interpretar as análises realizadas em busca de caracterização das cinzas das biomassas que serão estudadas neste trabalho, que, devido à imensa variedade de produção agroindustrial brasileira, foram selecionadas apenas as culturas de cana de açúcar, capim elefante, eucalipto e peroba garapeira.

Os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- ✓ Espectrômetro de Fluorescência de raios X, marca Shimadzu XRF 1800;
- ✓ Cromatógrafo de íons (CI 01) marca Dionex, modelo ICS3000;
- ✓ Espectrômetro de emissão atômica de plasma-ICP (ICP 03), marca Varian, modelo Vista MPX;

- ✓ Espectrofotômetro de absorção atômica (AA 01), marca Varian, modelo AA 240FS;
- ✓ Balança analítica (AB 204-S) marca Mettler, modelo AB204-S. Validade da Calibração: Janeiro/2013;
- ✓ Balança analítica (BL 03) marca Mettler Toledo, modelo AT 201. Validade da Calibração: Julho/2014;
- ✓ Estufa (ESQU-4) marca Quimis, modelo 314 M 242. Validade da Medição: Janeiro/2013.

E a escolha destas culturas se deve a alguns fatores específicos, a saber:

Cana de açúcar:

- ✓ Maior cultura da agricultura brasileira e a maior em produção física;
- ✓ Potencial produção de resíduos sólidos;
- ✓ Alta organização industrial resultando em redução de custos de manejo de resíduos;
- ✓ Largamente utilizada para a produção e cogeração de energia;

Capim elefante:

- ✓ Altamente eficiente na fixação de CO₂ atmosférico durante o processo de fotossíntese;
- ✓ Potencial para uso como fonte alternativa de energia;
- ✓ Utilizada como alimento para o gado e animais selvagens;
- ✓ Apresenta grande variabilidade genética com características diversas de rendimento;
- ✓ Planta de alta produtividade e ciclo curto;
- ✓ Requer áreas menores para plantio e baixo investimento em terras;
- ✓ Assimila com maior eficiência o carbono;
- ✓ Baixo impacto ambiental;

- ✓ Pode contribuir de forma eficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica e de Nitrogênio do solo, e assim recuperar áreas degradadas.
- ✓ Espécie de rápido crescimento e de alta produção de biomassa vegetal;
- ✓ Possibilita até quatro colheitas anuais;
- ✓ Pode-se queimar enfardado diretamente em caldeiras ou reduzido em *pellets*;
- ✓ Menor percentual de umidade se comparado com o bagaço de cana-de-açúcar;
- ✓ Poder calorífico maior que a cana-de-açúcar.

Eucalipto:

- ✓ Uma das principais fontes de matéria-prima para produção de papel;
- ✓ Reúne mais de 600 diferentes espécies;
- ✓ Excelente desenvolvimento em território brasileiro;
- ✓ Crescimento mais rápido que em outros países;
- ✓ Alto índice de produtividade.
- ✓ Importante atividade produtiva no Brasil;
- ✓ Fonte de riqueza e desenvolvimento social, bem como de conservação ambiental, por conta da cobertura natural do solo e captação de CO₂.
- ✓ Tem uso múltiplo: produção de celulose, fonte de carvão vegetal, de madeira sólida usada em móveis, pisos, revestimentos e outras aplicações na construção civil.
- ✓ Rápido crescimento e taxas expressivas de absorção de CO₂ da atmosfera;
- ✓ Pode ser cultivado em terrenos de baixa fertilidade natural;
- ✓ Não exige muitos nutrientes e defensivos agrícolas em comparação com outras culturas.
- ✓ Investimentos em pesquisa e melhoramento genético levaram ao aumento da produtividade das florestas plantadas, que produzem cada vez mais madeira na mesma área cultivada.

Peroba Garapeira ou Grápia:

- ✓ Produz polpa para papel de embalagem de características plenamente satisfatórias e até mesmo superiores às de Eucalipto;
- ✓ A casca do caule é usada como depurativo do sangue, apresentando propriedades antissifilíticas;
- ✓ Espécie recomendada para restauração de mata ciliar;
- ✓ A vida média da madeira da grápia, em contato com o solo, é inferior a 9 anos em locais sem inundação;
- ✓ Apresenta boa durabilidade em aplicações às intempéries, sempre que não seja em condições de alta umidade;
- ✓ Estacas de cerne dessa espécie mostraram ser resistentes a fungos e a cupins;
- ✓ A madeira da peroba garapeira é densa (0,75 a 1,00 g/cm³), a 15% de umidade;
- ✓ Essa espécie é medianamente tolerante a baixas temperaturas.

3.2. Coleta das amostras das cinzas residuais das biomassas estudadas.

- i. As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, tipo A, foram coletadas em dispositivo de coleta na tubulação que conduz as cinzas leves aos silos de armazenamento, logo após a etapa de resfriamento. O local de obtenção e coleta foi a Usina Agro industrial Vista Alegre Ltda., que fica localizada na Fazenda Vista Alegre na cidade de Itapetininga no Estado do São Paulo. Esta Usina utiliza de cogeração de energia através da queima do bagaço da cana-de-açúcar. Devido ao elevado teor de umidade, de aproximadamente 70 %, o processo de secagem se fez necessário. A secagem do material foi feita em estufa de 60 °C durante 72 horas e, em seguida, esse material foi peletizado e enviado para análise de Espectrometria de Fluorescência por Raios X.
- ii. As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, tipo B, e de peroba garapeira, foram produzidas por oxidação em mufla a 750 °C durante 4 horas nos laboratórios da

FEM e, em seguida, esse material foi peletizado e enviado para análise de Espectrometria de Fluorescência por Raios X.

- iii. As cinzas de capim elefante foram produzidas no laboratório da empresa Navitas. A produção de cinza de capim elefante (CCE) foi obtida em forno mufla, com taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ para atingir dois patamares ($400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $700\text{ }^{\circ}\text{C}$). A primeira etapa de aquecimento atingiu a temperatura de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 min (com o objetivo de homogeneizar a queima) e a segunda etapa atingiu a temperatura de $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, permanecendo por 60 minutos.
- iv. As cinzas de eucalipto são conduzidas através de esteiras até o local de armazenamento e posterior descarte, sendo colhidas logo após a etapa de resfriamento das cinzas. As análises de cinzas residuais de eucalipto foram oferecidas pela Empresa ERB - Energias Renováveis do Brasil Ltda., que atua no segmento de fornecimento de energia alternativa para empresas do grupo Dow Química no Estado da Bahia.

Essas indústrias tinham em comum o interesse no aproveitamento das biomassas para a cogeração de energia renovável, bem como a implantação das normas do sistema de gestão ambiental (série ISO 14.000) e estavam preocupadas em classificar seus resíduos para destiná-los de forma adequada, já que esta é uma das exigências para a obtenção desse tipo de certificação ambiental.

3.3. Ensaio de caracterização química das cinzas residuais do Bagaço da Cana-de-açúcar, tipos A e B e Peroba Garapeira.

Seguindo o que se encontra na literatura disponível descrita no item 2 deste trabalho, e as pesquisas e buscas de informações realizadas junto a outros pesquisadores da área, as amostras de cinzas de biomassas coletadas foram analisadas quanto à qualidade e presença de Cloro (Cl),

Alumínio (em Al_2O_3), Cálcio (em CaO), Ferro (em Fe_2O_3), Fósforo (em P_2O_5), Magnésio (em MgO), Manganês (em MnO), Potássio (em K_2O), Sódio (em Na_2O) e Silício (em SiO_2), e foram caracterizadas conforme a composição dos elementos encontrados.

Para este ensaio, o método utilizado foi a determinação semiquantitativa por Espectrometria de Fluorescência por Raios X, e os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições. As coletas de amostras e as respectivas análises foram realizadas no período de 15/07/2014 a 28/07/2014 e 05/11/2014 a 21/11/2014.

3.4. Ensaio de caracterização química das cinzas residuais de Eucalipto.

Na cinza proveniente da combustão de eucalipto os resultados apresentam como aglomerados de partículas, sendo constituída principalmente por Ca, Si, Mg, K e S (cálcio, silício, magnésio, potássio e enxofre). As cinzas constituem um tipo de resíduo, contendo inclusive metais, que pode causar poluição do ar. A composição química é caracterizada basicamente por alta quantidade de CaO e SiO_2 e com quantidades significativas de K_2O e MgO .

Seguindo o que se encontra na literatura disponível descrita no item 2 deste trabalho, e as pesquisas e buscas de informações realizadas, as amostras de cinzas de biomassas coletadas foram analisadas quanto à qualidade e presença de Cloro (Cl^-), Alumínio (em Al_2O_3), Cálcio (em CaO), Ferro (em Fe_2O_3), Fósforo (em P_2O_5), Magnésio (em MgO), Manganês (em MnO), Potássio (em K_2O), Sódio (em Na_2O) e Silício (em SiO_2), e foram caracterizadas conforme a composição dos elementos encontrados.

Para este ensaio, o método utilizado foi a determinação semiquantitativa por Espectrometria de Fluorescência por Raios X, e os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições. As coletas de amostras e as respectivas análises foram realizadas no período de 27/06/2014 a 14/07/2014.

3.5. Ensaio de caracterização química das cinzas residuais de Capim elefante.

As amostras de cinzas foram acondicionadas em saco plástico, contendo aproximadamente 300g de material com a indicação: “Capim Elefante”. Este material foi identificado no Laboratório de Análises Químicas/ CMQ como LAQ 5188-12. As amostras de cinzas coletadas foram analisadas quanto à qualidade e presença de Cloro (Cl^-), Alumínio (em Al_2O_3), Cálcio (em CaO), Ferro (em Fe_2O_3), Fósforo (em P_2O_5), Magnésio (em MgO), Manganês (em MnO), Potássio (em K_2O), Sódio (em Na_2O) e Silício (em SiO_2), e foram caracterizadas conforme a composição dos elementos encontrados.

Para este ensaio, os métodos utilizados foram a determinação de Cátions e Ânions por Cromatografia de Íons (Procedimento CMQ-LAQ-PE-QI-91) e Análise quantitativa em carvão, coque e biomassa por espectrometria de plasma e espectrofotometria de absorção atômica (método 3) (Procedimento CMQ-LAQ-PE-QI-018). Os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições. As coletas de amostras e as respectivas análises foram realizadas no período de 13/08/2012 a 17/08/2012.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O trabalho investiga a possibilidade de reutilização das cinzas residuais provenientes da queima de biomassas utilizadas em geração de energia. Os primeiros resultados tratam do estudo da caracterização química das cinzas analisadas e estabelecidas de modo a auxiliar na definição de parâmetros a serem utilizados no processo de adequação às propriedades de solo e na utilização na construção civil.

Os valores apresentados na literatura demonstram a validade dos resultados obtidos nos ensaios de laboratório realizados e consignados neste trabalho.

Na análise comparativa entre as três biomassas estudadas, observa-se um maior teor de Silício (em SiO_2) nas cinzas de bagaço de cana-de-açúcar do que nas biomassas de capim elefante e eucalipto e, em função desta ocorrência, tem-se a redução do teor de Cálcio (em CaO).

Essa ocorrência se deve, principalmente, ao fato do silício ser absorvido do solo pelas raízes da cana-de-açúcar na forma de ácido monossílico (H_4SiO_4) e também ao processo de extração, pois no momento em que as raízes são retiradas, há a incidência da retenção de partículas de solo junto com a planta.

Em comparação ao observado nas cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, pode-se notar uma maior predominância de Cálcio (em CaO) nas cinzas de eucalipto.

4.1. Bagaço de cana-de-açúcar

- Na Tabela 4.1, são apresentados os resultados analíticos obtidos para a determinação de percentuais em massa das amostras de cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar coletadas na Usina Vista Alegre, amostra (A). A composição química dessa amostra aponta para a predominância do silício (em SiO_2), com 67,02 % da massa de amostra.

Tabela 4.1. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar coletadas na Usina Vista Alegre², aqui denominada amostra (A).

Elementos	Teor em % de massa
Cloro (Cl)	0,30
Alumínio (em Al ₂ O ₃)	8,82
Cálcio (em CaO)	5,06
Ferro (em Fe ₂ O ₃)	4,52
Fósforo (em P ₂ O ₅)	2,97
Magnésio (em MgO)	2,53
Manganês (em MnO)	0,21
Potássio (em K ₂ O)	5,57
Sódio (em Na ₂ O)	0,14
Silício (em SiO₂)	67,02
Titânio (em TiO ₂)	0,84
Total	97,98

Os óxidos K₂O, MgO, P₂O₅, Al₂O₃, Fe₂O₃ e CaO representam cerca de 30 % do teor de elementos encontrados nas amostras destas cinzas. Cabe ressaltar que a composição química da cinza do bagaço de cana-de-açúcar pode variar em função do tipo de cana-de-açúcar cultivada, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, solo e água.

Notas:

- i. Os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições.
- ii. As análises foram realizadas no período de 15/07/2014 a 28/07/2014;
- iii. Método: Espectrometria de Fluorescência por Raios X.

- Na Tabela 4.2, são apresentados os resultados analíticos obtidos para a determinação de percentuais em massa das amostras de cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar produzidas no laboratório da FEM, amostra (B). A composição química dessa amostra aponta para a

² Análises realizadas no Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas.

predominância do silício (em SiO_2), com 32,65 % da massa de amostra, seguido por Ferro (em Fe_2O_3), 30,23 %.

Tabela 4.2. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar produzidas no laboratório da FEM³, aqui denominada amostra (B).

Elementos	Teor em % de massa
Cloro (Cl^-)	traços
Alumínio (em Al_2O_3)	10,52
Cálcio (em CaO)	4,87
Ferro (em Fe_2O_3)	30,23
Fósforo (em P_2O_5)	0,84
Magnésio (em MgO)	traços
Manganês (em MnO)	0,67
Potássio (em K_2O)	10,63
Sódio (em Na_2O)	traços
Silício (em SiO_2)	32,65
Titânio (em TiO_2)	8,42
Total	98,83

Os óxidos K_2O , MgO , P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO representam cerca de 60 % do teor de elementos encontrados nas amostras destas cinzas. Cabe ressaltar que a composição química da cinza do bagaço de cana-de-açúcar pode variar em função do tipo de cana-de-açúcar cultivada, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, solo e água.

Notas:

- iv. Os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições.
- v. As análises foram realizadas no período de 05/11/2014 a 21/11/2014;
- vi. Método: Espectrometria de Fluorescência por Raios X.

³ Análises realizadas no Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas.

4.2. Capim elefante

- Na Tabela 4.3, mostram-se os resultados analíticos obtidos para a determinação de percentuais em massa das amostras de cinzas de Capim elefante, onde também pode ser observado um maior volume em massa de Silício (em SiO_2), de 54,60 %, seguido por Potássio (em K_2O), 12,80 %.

Tabela 4.3. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Capim-elefante⁴

Elementos	Métodos	Teor em % de massa
Cloro (Cl^-)	1	0,28
Alumínio (em Al_2O_3)	2	4,30
Cálcio (em CaO)	2	9,70
Ferro (em Fe_2O_3)	2	2,10
Fósforo (em P_2O_5)	2	5,20
Magnésio (em MgO)	2	5,90
Manganês (em MnO)	2	0,28
Potássio (em K_2O)	3	12,80
Sódio (em Na_2O)	3	0,04
Silício (em SiO_2)	1	54,60
Titânio (em TiO_2)	2	0,19
Total		95,39

Os óxidos K_2O , MgO , P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO representam cerca de 35 % do teor de elementos encontrados nas amostras destas cinzas. Cabe ressaltar que a composição química da cinza do capim elefante, no mesmo raciocínio apresentado para os valores das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, pode variar em função do tipo de capim cultivado, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, época de plantio, solo e água.

Notas:

⁴ Análises realizadas no Laboratório de Análises Químicas do CMQ.

- i. Os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo com média de três repetições.
- ii. As análises foram realizadas no período de 13/08/2012 a 17/08/2012;
- iii. Método 1: Determinação de Cátions e Ânions por Cromatografia de Íons (Procedimento CMQ-LAQ-PE-QI-91); Método 2: Análise quantitativa em carvão, coque e biomassa por espectrometria de plasma e espectrofotometria de absorção atômica; Método 3: Procedimento CMQ-LAQ-PE-QI-018.

4.3. Eucalipto

- Na Tabela 4.4, mostram-se os resultados analíticos obtidos para a determinação de percentuais em massa das amostras de cinzas de Eucalipto, onde pode ser observado também maior volume em massa, na média das 4 análises, do valor obtido de Silício (em SiO₂), de 38,00 % seguido por Cálcio (em CaO), 34,00 %.

Tabela 4.4. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Eucalipto⁵

Elementos	Teor em % de massa
Cloro (Cl ⁻)	5,90
Alumínio (em Al ₂ O ₃)	3,50
Cálcio (em CaO)	34,00
Ferro (em Fe ₂ O ₃)	1,90
Fósforo (em P ₂ O ₅)	1,80
Magnésio (em MgO)	6,00
Manganês (em MnO)	Traços
Potássio (em K ₂ O)	2,70
Sódio (em Na ₂ O)	2,70
Silício (em SiO₂)	38,00
Titânio (em TiO ₂)	0,25
Total	96,75

⁵ Análises realizadas no Laboratório de Química e Mineralogia da ABCP-Associação Brasileira de Cimento Portland - <http://www.abcp.org.br/>.

Os óxidos K_2O , MgO , P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO representam cerca de 50 % do teor de elementos encontrados nas amostras destas cinzas. Cabe ressaltar que a composição química das cinzas do eucalipto, no mesmo raciocínio apresentado para os valores das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e capim elefante, pode variar em função do tipo de eucalipto cultivado, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, solo e água.

O teor elevado de Cloro para a amostra deve-se, principalmente, à água utilizada na lavagem e resfriamento das cinzas após a saída do forno e, então, a coleta da amostra.

Notas:

- i. Os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições.
- ii. As análises foram realizadas no período de 12/07/2014 a 14/07/2014;
- iii. Método: Espectrometria de Fluorescência por Raios X.

4.4. Peroba Garapeira

- Na Tabela 4.5 mostram-se os resultados analíticos obtidos para a determinação de percentuais em massa de amostras de cinzas de Peroba Garapeira produzida no Laboratório da FEM, onde pode ser observado também maior volume em massa do valor obtido de Cálcio (em CaO), 42,77 %, seguido por Alumínio (em Al_2O_3), 12,24 % e Silício (em SiO_2), de 11,08 %.

Tabela 4.5. – Resultados analíticos obtidos nas cinzas de Peroba Garapeira produzida no Laboratório da FEM⁶

Elementos	Teor em % de massa
Cloro (Cl ⁻)	Traços
Alumínio (em Al ₂ O ₃)	12,24
Cálcio (em CaO)	42,77
Ferro (em Fe ₂ O ₃)	2,05
Fósforo (em P ₂ O ₅)	0,04
Magnésio (em MgO)	4,58
Manganês (em MnO)	2,84
Potássio (em K ₂ O)	22,51
Sódio (em Na ₂ O)	Traços
Silício (em SiO₂)	11,08
Titânio (em TiO ₂)	0,43
Total	98,54

Os óxidos K₂O, MgO, P₂O₅, Al₂O₃, Fe₂O₃ e CaO representam cerca de 84 % do teor de elementos encontrados nas amostras destas cinzas. Cabe ressaltar que a composição química da cinza da peroba garapeira, no mesmo raciocínio apresentado para os valores das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, eucalipto e capim elefante, pode variar em função do tipo de peroba cultivada, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, solo e água.

Notas:

- iv. Os resultados referem-se ao material seco e indicam intervalo para média de três repetições.
- v. As análises foram realizadas no período de 05/11/2014 a 21/11/2014;
- vi. Método: Espectrometria de Fluorescência por Raios X.

⁶ Análises realizadas no Laboratório de Química e Mineralogia da ABCP-Associação Brasileira de Cimento Portland - <http://www.abcp.org.br/>.

4.5. Resultados dos estudos

- Portanto, com base nos resultados obtidos por espectrometria de fluorescência por Raios-X (cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, eucalipto e peroba garapeira) e Cromatografia de Íons (capim elefante) é possível concluir que as cinzas das quatro biomassas estudadas possuem, basicamente, os mesmos grupos químicos, diferindo em quantidades relativas, indicando, todavia, a possibilidade de diferentes aplicações tecnológicas.

Os resultados apresentados na Tab. 4.6 mostram que todas as biomassas possuem semelhanças para os parâmetros analisados, com teores maiores para Potássio (em K_2O) nas cinzas de capim elefante, Cálcio (em CaO) nas cinzas de eucalipto e Silício (em Si_2O) e Alumínio (em Al_2O_3) para as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 4.6 Resultados analíticos, em %, obtidos nas cinzas das amostras analisadas.

Elementos	Cana (A)	Cana (B)	Capim Elefante	Eucalipto	Peroba
Cloro (Cl-)	0,30	traços	0,28	5,90	Traços
Alumínio (em Al_2O_3)	8,82	10,52	4,30	3,50	12,24
Cálcio (em CaO)	5,06	4,87	9,70	34,00	42,77
Ferro (em Fe_2O_3)	4,52	30,23	2,10	1,90	2,05
Fósforo (em P_2O_5)	2,97	0,84	5,20	1,80	0,04
Magnésio (em MgO)	2,53	traços	5,90	6,00	4,58
Manganês (em MnO)	0,21	0,67	0,28	Traços	2,84
Potássio (em K_2O)	5,57	10,63	12,80	2,70	22,51
Sódio (em Na_2O)	0,14	traços	0,04	2,70	Traços
Silício (em SiO_2)	67,02	32,65	54,60	38,00	11,08
Titânio (em TiO_2)	0,84	8,42	0,19	0,25	0,43
Totais	97,98	98,83	95,39	96,75	98,54

O maior percentual em massa de Silício (em SiO_2), observado na amostra (A) de bagaço de cana-de-açúcar e demonstrado na Tabela 4.6, pode indicar que essa fonte de cinza possui maior rendimento, após a queima para geração de calor, como normalmente ocorre nas usinas sucroalcooleiras, em que o bagaço de cana-de-açúcar é queimado no próprio maquinário de processamento de cana-de-açúcar.

Deve-se ressaltar que há cerca de 2 % de minerais provenientes da contaminação da cana-de-açúcar com terra, o que poderia elevar o teor de minerais nas cinzas e alterar a composição das mesmas.

No mesmo sentido, a ocorrência do elemento cloro observado nas análises das cinzas de eucalipto, deve-se à presença deste elemento na água utilizada para a lavagem e resfriamento das cinzas, etapa esta, realizada antes da coleta de amostras.

As amostras de eucalipto e capim elefante apresentam uma tendência de maiores quantidades de minerais, em especial, o eucalipto, que possui maiores teores de Ca, Na e Mg, enquanto as amostras de bagaço de cana-de-açúcar (A) apresentam concentrações mais elevadas de Si que as demais. Já as amostras de bagaço de cana-de-açúcar (B) apresentaram teores significativos de Al, K e Fe.

As amostras de peroba garapeira, utilizadas como comparativos, apresentaram teores mais elevados para os elementos Ca, K e Al.

O alto teor médio de Óxido de Silício, também conhecido por Sílica, evidencia suas propriedades como constituinte de materiais de construção civil, principalmente, por sua resistência, que pode apresentar potencial de utilização como carga em materiais de revestimento e compósitos de cimento, como cerâmicas, como elemento de liga em fundições, ou ainda na substituição parcial e consciente da areia normalmente extraída do fundo dos rios com a utilização de dragas.

Os resultados obtidos evidenciam uma relação "Ca/Mg" superior a "3" nas amostras de cinza analisadas, bastante satisfatório para maior disponibilidade de nutrientes e melhor nutrição de plantas, o que dificilmente pode ser encontrado no calcário.

O alto teor de Cálcio (em CaO) encontrado, principalmente, nas amostras de cinzas de eucalipto e peroba, pode ser um grande aliado no equilíbrio do pH ácido do solo se adicionadas ao calcário normalmente utilizado para esta finalidade, dadas as suas características alcalinas.

A necessidade de calcário para que se atinja um pH entre 6,0 e 6,5 pode variar de 2,5 t/ha a 4 t/ha, dependendo da acidez total e da dinâmica do solo.

Os resíduos da agroindústria possuem uma riqueza considerável em minerais que são requeridos pelos animais, mostrando um grande potencial de utilização como fonte de minerais alternativa aos produtos comercializados, podendo resultar em menor custo para o produtor.

Os possíveis contaminantes e metais pesados contidos no material devem ser encapsulados utilizando-se da técnica de estabilização/solidificação, além de cuidados específicos no pós-tratamento desse resíduo, uma vez que o mesmo é utilizado misturado no adubo nas plantações de cana-de-açúcar.

O efeito benéfico das cinzas como fertilização de base (pobre em nitrogênio e rica em fósforo) e de cobertura (rica em nitrogênio e pobre em fósforo) é o resultado de sua composição química e pode ser comparado a uma fórmula NPK de relação (1:3:7).

Neste caso, para adubação do solo, espera-se obter os seguintes resultados: Cada 100 kg de cinza de capim elefante, contêm, aproximadamente, 5 % de Fósforo em P_2O_5 . Considerando 10 % desejado no formulado NPK (10-10-10) serão necessários 200 kg de cinzas. Cada 100 kg de cinza de capim elefante, contêm, aproximadamente, 10 % de Potássio (em K₂O). Considerando 10 % desejado no formulado NPK (10-10-10) serão necessários 100 kg de cinzas, em média. A complementação com Nitrogênio poderá ser realizada a partir da adição de ureia;

A extração do cálcio pode ser feita através da reação com HNO_3 (CATANI, GALLO & GARGANTINI, 1955);

O cimento Portland é basicamente o produto da calcinação de uma mistura de calcário, composto predominantemente por $CaCO_3$, e materiais argilosos à base de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , onde também estão presentes outros constituintes secundários, como: óxido de magnésio, fosfatos e álcalis (Na_2O e K_2O). O Silicato Tricálcico $(CaO)_3SiO_2$ corresponde a cerca de 60 % da composição do cimento Portland, onde o sistema $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ é o principal na composição química do cimento (ALVES, 1993)

Estudantes da Universidade de Michigan estão desenvolvendo uma metodologia contendo tetracloreto de silício e eletrodos de gálio líquido para a obtenção de silício bruto a uma temperatura em torno de 80 °C.

As biomassas estudadas podem ser classificadas, segundo as Normas Técnicas da ABNT, como Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte.

5. CONCLUSÕES

Portanto, os estudos realizados até aqui revelaram que:

- i. As cinzas estudadas das biomassas bagaço de cana-de-açúcar, eucalipto, capim elefante e peroba garapeira, apresentaram, em média, composição de alto teor de sílica (SiO_2), cálcio (CaO) e potássio (K_2O), variando com a biomassa estudada;
- ii. Nos resultados das análises químicas das biomassas, apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, notou-se um alto teor de sílica (SiO_2) em todas as amostras, exceto para as amostras de peroba garapeira, com valores médios entre 40 e 60 %. Os valores composicionais apresentados estão em conformidade aos trabalhos citados pela literatura, apresentando baixo percentual de variação. Tais resultados revelam que o teor significativo de Sílica encontrado nas cinzas dessas biomassas, cuja composição é de dióxido de silício (SiO_2), é um importante material que pode ser utilizado na construção civil incorporado ao cimento Portland, na substituição parcial da areia, na construção de tijolos ou, até mesmo, como insumo altamente refratário na produção de revestimento de fornalha, como alternativa sustentável de descarte destas cinzas;
- iii. As amostras de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (A), coletadas na Usina Vista Alegre, apresentaram maior teor de sílica que as cinzas de eucalipto, peroba e de capim elefante. Em contrapartida, os teores de potássio e cálcio foram maiores na composição das cinzas de capim elefante;
- iv. O cálcio presente nas cinzas das biomassas estudadas, em especial, nas cinzas de eucalipto e peroba garapeira, por conta de seus efeitos indiretos no solo, como redução da acidez e, por conseguinte, a diminuição da toxidez do alumínio (Al),

cobre (Cu) e manganês (Mn), apresenta-se como potencial ingrediente na composição de adubos, quando, também, incorporadas ao calcário, possibilitando a redução de custos com este insumo;

- v. Os resultados das análises químicas indicam que a composição das cinzas de eucalipto pode ser a melhor fonte de minerais, entre as amostras pesquisadas;

Portanto, conclui-se, com base nos estudos realizados e nos parâmetros adotados, que existem grandes possibilidades de descarte adequado e funcional das cinzas estudadas, para os parâmetros experimentais adotados, em especial, para incorporação em adubos e no cimento Portland.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, como forma de continuidade do presente estudo, o que segue:

- Realização de estudos experimentais para a determinação de percentuais adequados na composição de adubos e melhoradores de solo;
- Realização de estudos para a determinação de percentuais adequados na composição de cimento Portland;
- Realização de estudos experimentais para a viabilidade como constituinte na produção de vidros e de placas de captação de energia solar.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. *Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 14, p. 919-937, 2010.
- ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Disponível em http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf. Acesso em 01 de outubro de 2013.
- ALI, M. B.; SAIDUR, R.; HOSSAIN, M. S. *A review on emission analysis in cement industries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 15, p. 2252-2261, 2011.
- ALVES, J. D. Manual de tecnologia do concreto. Editora da UFG. GOIÂNIA, 1993.
- ANDRAE, F.H., KRAPFENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo. Rio Grande do Sul. Parte II: Inventário de nutrientes in: Pesquisas Áustro-brasileiras 1973-1982 sobre araucária angustifolia, Podocarpos lambertii e Eucalyptus saligna. Santa Maria. Ed UFSM. 1982.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf). Acesso em 29 de julho de 2014.

- BARBIERI, L.; ANDREOLA, F.; LANCELLOTTI, I.; TAURINO, R. *Management of agricultural biomass wastes: Preliminary study on characterization and valorization in clay matrix bricks*. Waste Management, v.33, p. 2307–2315, 2013.
- BARICHELLO, L. R. Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. Na região sul do Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.
- BOUJAOUDE, S.B. *A study of the nature of students' understandings about the concept of burning*. Journal of Research in Science Teaching, v. 28, p. 689- 704, 1991.
- BRASIL. Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2ªed. – Brasília : ANEEL, 243p. 2005.
- BRASIL. Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ªed. – Brasília : ANEEL, 236p. 2008.
- BRAUNBECK, O.A. Proposta brasileira de colheita mecanizada. In: Seminário soluções e novidades na mecanização da cana-de-açúcar, 1, 1999, Ribeirão Preto. Anais... 1999 Ribeirão Preto: IDEA, 1999.
- BRAUNBECK, O.A.; BAUEN, A.; ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L.A. *Prospects for green cane harvesting and cane residue use in Brazil*. Biomass and Bioenergy. England, v.17, n.1, 1999.
- CAMPBELL, A.G. *Recycling and disposing of wood ash*. Tappi J. 73 (9), 141–146, 1990.

CARVALHO, P. E. R. Louro-pardo. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 17, p. 63-66, 1988.

CASTADELLI, V.N.; AKASAKI, J.L.; MELGES, J.L.P.; TASHIMA, M.M.; SORIANO,L.; BORRACHERO,M.V.; MONZÓ,J.; PAYÁ, J. *Use of Slag/Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) Blends in the Production of Alkali-Activated Materials*. Materials, v.6, 3108-3127, 2013.

CBE - Centro da Biomassa para a Energia. Disponível em <http://www.centrodabiomassa.pt/>. Acesso em 8 de agosto de 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, Quarto levantamento, janeiro 2011. Brasília : Conab, 2011.

CORDEIRO, G. C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. R. M. *Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars*. Cem & Conc Comp, 2008.

CORDEIRO, C.C.; FAIRBAIRN, M.E.R.; FILHO, R.T. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. Química Nova, Vol. 32, No. 1, 2009.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E; AYARZA, J. A. C. in CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. Biomassa para energia – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008. p.15-29.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M.. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. Rev. Árvore [online]. 2005, vol.29, n.4 [cited 2009-11-28], pp. 563-570. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000400008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 de nov. 2014.

DALLAGO, J. S. Utilização da Cinza de Biomassa de Caldeira como Fonte de Nutrientes no crescimento de plantas de Acácia – negra. (*Acacia mearnsii* De Wild.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

DALLAGO, J. S.; SCHUMACHER, M.V.; VOGEL, H. L. M. Efeito da Cinza sobre os Teores de Nutrientes no Solo e nas Plantas de *Acacia mearnsii* De Wild. 1º Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

DALL'AGNOL, M.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; NASCIMENTO, J. A. L.; SILVEIRA, C. A. M.; FICHER, R. G. Produção de forrageira de capim-elefante sob clima frio. Curva de crescimento e valor nutritivo. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 33, n.5, p. 1110-1117, 2004.

DEDINI - Produção de bioeletricidade excedente - Tecnologia no estado da arte. Apresentação no SIMTEC – Piracicaba, 2008.

DESCHAMPS, F. C. Implicações do período de crescimento na composição química e digestão dos tecidos cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpurem* Schumach.), Rev. Bras. Zootec., v.28, n.6, p.1358-1369, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/gergelim/arvore/CONT000gnkn0fvr02wx5ok0cdjvscx0ayle5.html>. Acesso em 05 ago. 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf> Acesso em 01 out. 2013.

ETIÉGNI, L., CAMPBELL, A., MAHLER R. *Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. Potential as a soil additive and liming agent.* Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22, 243–256, 1991.

FAO *Statistics*. Disponível em: <<http://www.fao.org/statistics/en/>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P. de; WANDERLEY, M. G. L.; BERG, CASSIO, V. D. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. *Megadiversidade*, v.1, n.1, p.52–61, 2005.

GONÇALVES, J.L. M. & MORO, L. Uso da cinza de Biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. IPEF, 48/49: 28-37, 1995.

GUERRINI, I. A. & MORO, L. Influência da aplicação de resíduos de fábrica de celulose e papel em plantio de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. Anais, Botucatu: 1994. p.190-205.

HAAG, H.P. Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

HAHN-HÄGERDAL, B.; GALBE, M. GORWA-GRAUSLUND, M. F.; LIDÉN, G.; ZACCHI, G. *Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today*. Trends in Biotechnology. v.24, n.12, p.549–556, 2006.

HERNÁNDEZ-SALAS, J. M.; VILLA-RAMÍREZ, M. S.; VELOZ-RENDÓ, J. S.; RIVERA-HERNÁNDEZ, K. N.; GONZÁLEZ-CÉSAR, R. A.; PLASCENCIA-ESPINOSA, M. A.; TREJO-ESTRADA, S. R. *Comparative hydrolysis and fermentation of sugarcane and agave bagasse*. Bioresource Technology, v.100, p.1238–1245, 2009.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Brasil – banco de dados de países. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 18/11/2014.

JOHN, V.M.; ÂNGULO, S.C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: _____. Utilização de resíduos na construção habitacional. Porto Alegre : ANTAC, 2003. Cap. 2, p. 9-71.

KLEIN, R. M. Contribuição à identificação de árvores nativas nas florestas do sul do Brasil. Silvicultura em São Paulo, São Paulo, v. 16A, pt. 1, 1982. p. 421-440. Edição dos Anais

do Congresso Nacional sobre Essências Nativas, Campos do Jordão, 1982.

KRAMER, R. J.; KOSLOWSKI, T. T. Fisiologia das árvores. Lisboa: Fundação Kalouste Gouldbenkian, 1972.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Paulo: EPU, 1986. 319p.

LIMA, S.A.; SALES, A.; MORETTI, J.P.; SANTOS, T.J. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana de açúcar em substituição ao agregado miúdo. Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 87-97, 2009.

LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação (Volume 2). Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2 vol., 1296 p., 2004.

MACEDO, P. C. Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar. 2009. 116 F. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009.

MADLOOL, N. A.; SAIDUR R.; HOSSAIN, M. S.; RAHIM, N. A. *A critical review on energy use and savings in the cement industries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, n.15, p. 2042-2060.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. Second Edition. San Diego, Academic Press Inc.. 1997. 889p.

MATTOS, N. F.; GUARANHA, J. Contribuição ao estudo da grápia. Porto Alegre: Instituto de Pesquisa de Recursos Naturais Renováveis, 1983. 27 p. (Publicação IPRNR, 12).

- MAULE, R. F; MAZZA, J. A.; MARTHA JR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. *Scientia Agrícola*, v.58, n.2, p.295–301, abr–jun, 2001.
- MAZZARELLA, V. Capim elefante como energia: problemas, soluções, custos comparados com outras fontes, aplicações. I Encontro Internacional de Energias Inteligentes. Londrina, PR, ADETEC, 2010.
- MELO, C. F. M. de; ALVES, S. de M.; WISNIEWSKI, A. O muiratauí (*Apuleia molaris*) como fonte de celulose para papel. In: SIMPÓSIO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Manaus. Anais. Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 465-471.
- MILES, T.R., MILES JR., T.R., BAXTER, L.L., BRYERS, R.W., JENKINS, B.M., ODEN, L.L. *Alkali Deposits Found in Biomass Power Plants*. NREL, 1995.
- MIRANDA, T. H. Relações entre Atributos Físicos e Biológicos do Solo após Operações de Colheita e Aplicação de Vinhaça em Cana-De-Açúcar. 2009. 81p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). UFRPE, Recife, 2009.
- MORO, L. Utilização de resíduos industriais como fonte de nutrientes em povoamentos Florestais. Brasília: Fundação Roberto Marinho, 1990.
- NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos em plantios florestais. In: SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, 1999, Piracicaba.

Resumos expandidos... Piracicaba: IPEF – ESALQ/USP, 1999. Publicação apresentada em CD Rom.

OLIVEIRA, A.D.; SCOLFORO, J.R.S.; SILVEIRA, V.P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. Ciência Florestal, Santa Maria, 2000.

PAULA, J. E. de. Estudo das estruturas internas das madeiras de dezesseis espécies da flora brasileira, visando seu aproveitamento para produção de álcool, carvão, coque e papel. Brasil Florestal, Brasília, v. 11, n. 47, p. 23-50, 1981.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. de H. Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília: Fundação Mokiti Okada - MOA, 1997. 543 p.

PITMAN, R., M. *Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts.* Environmental and Human Sciences Division, Forest Research, Alice Holt Lodge, Surrey GU10 4LH, England, 2006.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; PEREIRA, L.; CINTRA, A.C.O.; NATALE, W. Cinza da indústria de cerâmica na produção de goiabeira: Efeito no crescimento e na produção de matéria seca. Revista de Agricultura, Piracicaba, V.78, fasc.1, 2003.

RIBAS, C. Aproveitamento de Biomassa Pós-Colheita Florestal de *Pinus elliottii* var *elliottii*. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v16n1/v16n1a07.pdf>> Acesso em 01 out. 2013.

- ROLIM, A.M. A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul. 2000.131f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- SALES, A.; LIMA, S.A. *Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement*. Waste Management (2010), doi:10.1016/j.wasman.2010.01.026.
- SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S; REIS, V.; HO LEM, C. *The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry*. Critical Reviews in Plant Sciences, v.24, p.461-495, 2005.
- SÁNCHEZ. C.G. Estudo da volatilização e da gaseificação de biomassa em leito fluidizado. 1994. 175p. Tese (Doutorado) – Campinas, Brasil. 1994.
- SÁNCHEZ. C.G (org.). Tecnologia da gaseificação de biomassa. Ed. Átomo, Campinas, Brasil, 2010.
- SANTOS, J. A. G. Avaliação do potencial corretivo da cinza, oriunda de biomassa vegetal, comparada ao calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1995, Viçosa. Resumos Expandidos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 1995.
- SCHMIDHUBER, J. *Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective*. “International symposium of Notre Europe”, Paris, 27-29 November, 2006.

SILVA, C. A. Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: 2007.

SILVEIRA, H. L. Utilização do princípio de torção por atrito para adensamento da palha de cana-de-açúcar em cordas. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: 2010.

SOUZA, G. N. et al. Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-Açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. São Paulo: IBRACON, 2007.

SOUZA, J. I.; PEIXOTO, A. M.; TOLEDO, F. F. Enciclopédia Agrícola Brasileira: C-D Vol. 2. 2 v. São Paulo: Edusp, 1995. 608 p.

TANNOUS, K., LAM, P. S.; SOKHANSANJ, S.; GRACE, J. R. *Physical Properties for Flow Characterization of Ground Biomass from Douglas Fir Wood*. Particulate Science and Technology, 31, 3, p. 291-300, 2013.

TAYLOR, H. F. W. *Cement chemistry*. London: Thomas Telford, 1997.

UNICA, União da Agropecuária Canavieira do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/portalunica>. Acesso em 05 nov. 2014.

WORRELL, E.; PRICE, L.; MARTIN, N.; HENDRIKS, C.; MEIDA, L. O. *Carbon dioxide emissions from the global cement industry*. Annual Review Energy and the Environment, v. 26, p. 303–29, 2001.

XIE, X. M.; ZHANG, X. Q.; DONG, Z. X.; GUO, H. R. *Dynamic changes of lignin contents of MT-1 elephant grass and its closely related cultivars*. Biomass & Bioenergy, v.35, p. 1732-1738, 2011.

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