



---

# CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS DE DIFERENTES TECNOLOGIA DE QUEIMA DO BAGAÇO DE CANA-DE-CANA E SIMULAÇÃO DO EFEITO DA LIXIVIAÇÃO EM ÁGUA

M. A. GONÇALVES<sup>1</sup>, E. C. ASSIS<sup>2</sup>, E. A. P. LIMA<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

**RESUMO** – *Com o crescimento do mercado sucroalcooleiro surgiu a necessidade de estudos que envolvam a utilização dos subprodutos da cana-de-açúcar. O bagaço da cana-de-açúcar possui como uma das suas principais destinações a queima em caldeiras. O presente trabalho descreve a caracterização física e química das cinzas de queima do bagaço de cana-de-açúcar de três diferentes tecnologias. A simulação do efeito de lixiviação das cinzas apresentou lixiviações importantes de Cl, S, K, Mg, Ca, Fe e P, sendo potencializados com o aumento da temperatura de lixiviação.*

## 1. INTRODUÇÃO

A produção da cana-de-açúcar no Brasil passou por um importante ciclo e nos dias atuais o Brasil é considerado o maior produtor de açúcar de cana do mundo, com os menores custos de produção e também o maior exportador mundial do produto.

De acordo com Burgi (1995), de cada tonelada de cana-de-açúcar moída se extrai 700 litros de caldo de cana e 300 kg de bagaço. Na safra de 2008/2009 as usinas e destilarias beneficiaram cerca de 569 milhões de toneladas de cana. (UNICA, 2011).

O bagaço de cana possui como sua destinação final, infinitas formas de aproveitamento, como por exemplo a produção de energia limpa, a adubação orgânica com a incorporação junto ao solo.

Neste trabalho vamos dar ênfase na caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar de três diferentes tecnologias de queima de uma unidade industrial da região noroeste paulista. Além do entendimento das diferenças das cinzas geradas, este trabalho objetiva a análise do efeito de lixiviação por água dos elementos contidos nas cinzas.

## 2. DESCRIÇÃO TÉCNICA DE PROCESSO

No processo de geração de energia através da queima do bagaço apresenta algumas características peculiares, as diferenças entre as caldeiras (processo), dizem respeito ao sistema de queima e a remoção da fuligem (cinzas) produzidas. Os processos da unidade industrial da região noroeste paulista são detalhados a seguir e as principais diferenças são mostradas na tabela 1.

A caldeira 6, apresenta sistema de grelha metálica, cuja biomassa inicia a queima em suspensão e completa a queima sobre o grelhado, onde o acúmulo das cinzas é removida mecanicamente, através



de água (meio aquoso).

A caldeira 7 não apresenta o grelhado convencional pois é dotada de um leito de areia, que se fluidifica em operação a 850°C. Já as cinzas geradas, são removidas por exaustão para lavadores com água, onde são as cinzas são retidas.

A caldeira 8, apresenta sistema de queima similar ao da caldeira 6, porém sua peculiaridade está na forma de remoção das cinzas, a qual é dotada de um precipitador eletrostático, onde as cinzas são retiradas a seco. A seguir, na tabela 1, encontramos alguns dados técnicos das caldeiras em estudo.

Tabela 1: Principais diferenças entre processos de queima do bagaço.

Caldeira (Nº)	Q (t/h)	Temperatura de Vapor (°C)	Consumo de Biomassa (t/tv)	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Grelhado	Processo de remoção de cinzas
6	120	320	1,8	21,0	Pin Hole	Aquoso
7	150	525	2,0	67,0	Leito fluidizado	Aquoso
8	270	525	2,2	67,0	Rotativo	Via seca

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os modelos empíricos mais utilizados na indústria química para ajustes de funções matemáticas aos dados experimentais de análises granulométricas são (Massarani, 2002):

##### 3.1.1 Modelo de Rosin-Rammler-Bennet (RRB)

O modelo RRB é caracterizado por possuir dois parâmetros,  $n$  e  $D'$ . Os referidos parâmetros são relativos à dispersão dos ajustes do modelo ( $n$ ) e diâmetro cuja fração de partículas são menores que 63,2% ( $D'$ ).

Este modelo é uma função que relaciona diretamente os diâmetros das partículas com a fração em massa de partículas ( $X$ ), menores que um diâmetro ( $D$ ), conforme apresenta a Equação 2.2.1.

##### Equação 2.2.1

$$X = 1 - e^{-\left(\frac{D}{D'}\right)^n}$$

##### 3.1.2 Modelo de Gates-Gaudin-Shumann (GGS)

De forma análoga ao RRB, o modelo GGS caracteriza-se por ser biparamétrico, conforme pode ser visto na Equação 2.2.2



### Equação 2.2

$$X = \left(\frac{D}{k}\right)^m$$

Onde k e m, são os parâmetros do modelo GGS.

### 3.2 AMOSTRAGEM

Foram realizadas a amostragem das cinzas dos diferentes processos existente na unidade industrial.

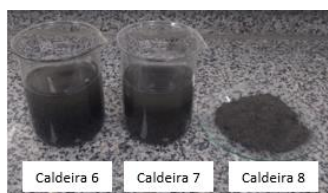


Figura 1: Amostras das cinzas das caldeiras 6,7 e 8.

### 3.3 TIPOS DE ANALISES

As amostras coletadas em meio aquoso (caldeiras 6 e 7), foram previamente filtradas. Nos filtrados o pH foi medido (figura 2). As cinzas úmidas foram secas em estufa a 110°C por 12 horas para posterior caracterização granulométrica a laser (tabela 3). Já as análises químicas foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e são mostradas na tabela 4.

A amostra de cinzas da tecnologia a seco (caldeira 8), não precisou de preparação previa para as caracterizações.

Para avaliar o efeito de lixiviação em água, a cinza do sistema a seco (caldeira 8), foi submetida a lixiviação em água sob agitação constante, com a razão liquido-sólido de 10, (10 ml H<sub>2</sub>O/g cinzas) a 60, 180 e 360 minutos, em temperaturas de 25 e 50°C, seguidas por filtração e secagem para análises.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DAS AMOSTRAS DOS SISTEMAS A ÚMIDO.

A tabela 2, nos mostra os resultados das caracterizações primarias das amostras de cinzas úmidas. Já a figura 2 nos mostra a alcalinidade das fases aquosas das caldeiras 6 e 7.

Tabela 2: Concentração de sólidos nas amostras das caldeiras 6 e 7.

SISTEMA	Volume (ml)	Cinzas secas (g)	Filtrado (ml)	Concentração de sólido (g/L)
Caldeira 6	200	52,42	144	262
Caldeira 7	200	154,98	88	775

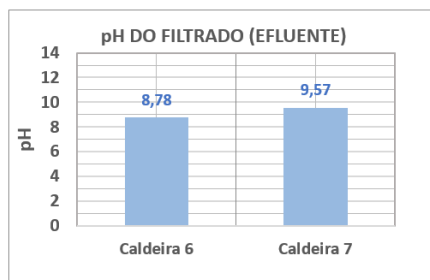


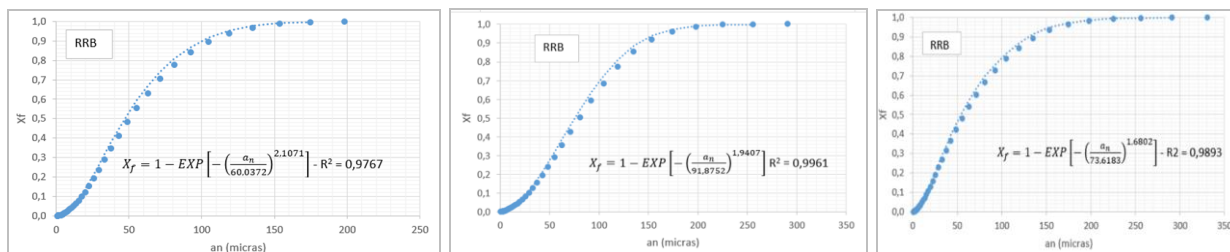
Figura 2: Alcalinidade do filtrado (efluente) das caldeiras 6 e 7.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA.

Os resultados da caracterização granulométrica das cinzas podem ser encontrados na tabela 3, o que nos mostram as cinzas da caldeira 6, com menores tamanho das partículas (D90: 99,29  $\mu\text{m}$ ), quando comparados com as demais. Já o modelo RRB, foi o que mais representou a distribuição e pode ser visto nas figuras 3.

Tabela 3: Resumo comparativo da distribuição granulométrica das cinzas dos diferentes processos de queima do bagaço de cana-de-açúcar.

SISTEMA	D10 $\mu\text{m}$	D50 $\mu\text{m}$	D90 $\mu\text{m}$
Caldeira 6	16,64	47,09	99,29
Caldeira 7	27,41	75,56	139,00
Caldeira 8	15,77	54,06	129,20



Figuras 3: Distribuição granulométrica compatível com linearização pelo modelo de RRB das cinzas da caldeira 6,7 e 8.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO MICROGRÁFICAS DAS PARTÍCULAS.

As micrografias realizadas nas amostras de cinzas coletas dos 3 diferentes tipos de processos, nos mostram que as cinzas são diferentes entre si, quanto sua uniformidade no tamanho e formato, sendo a do processo a seco (caldeira 8) mais uniforme, quanto ao tamanho e formato das partículas e podem ser observadas nas figuras 4.



Figuras 4: micrografias das cinzas em detector BSE (400 X)

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS.

Os resultados das análises química das cinzas analisadas, mostraram ligeiras diferenças, principalmente quanto a Mg, S e K. Já o Cl, foi encontrado apenas nas cinzas do processo a seco.

Tabela 4: Resultados de análise química das cinzas.

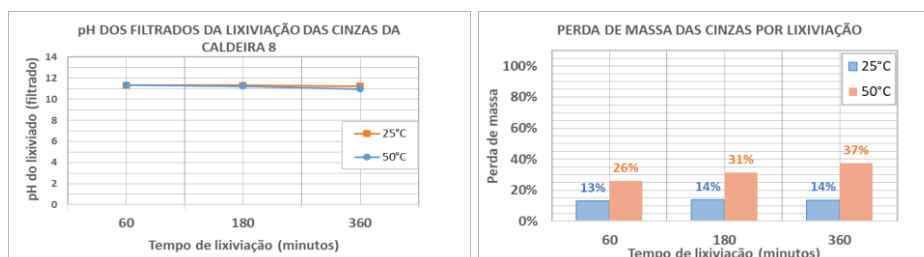
SISTEMA	Na%	Mg%	Al%	Si%	P%	S%	Cl%	K%	Ca%	Ti%	Mn%	Fe%
Caldeira 6	0,3	3,4	14,6	45,6	2,8	0,5	-	12,2	6,2	3,2	0,6	10,6
Caldeira 7	0,2	3,4	10,6	51,7	2,0	-	-	11,5	5,9	3,2	0,6	10,9
Caldeira 8	0,2	4,2	10,3	36,6	2,7	2,2	2,0	20,8	8,2	2,7	0,5	9,6



Figuras 5: Resultados dos elementos encontrados nas cinzas da caldeira 6.

#### 4.5. LIXIVIAÇÃO DAS CINZAS DA CALDEIRA 8.

Os resultados do efeito de lixiviação das cinzas do processo a seco mostram pH da fase aquosa na ordem de 11, e a perda de massa próximos a 15%, sendo potencializadas com a lixiviação a 50°C.

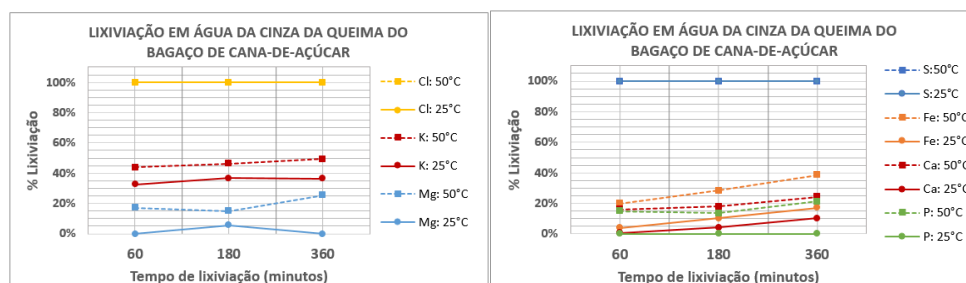


Figuras 6: pH dos filtrados e perda de massa das cinzas após a lixiviação com água.



Tabela 5: Resultados de análise química das cinzas após lixiviação.

Temperatura	Tempo (minutos)	Elementos											Perda de massa de cinza	
		Na(%)	Mg(%)	Al(%)	Si(%)	P(%)	S(%)	Cl(%)	K(%)	Ca(%)	Ti(%)	Mn(%)		Fe(%)
25°C	60	0,2	5,0	10,8	41,0	3,2	-	-	16,1	9,4	2,8	0,8	10,6	13,0%
	180	0,3	4,6	9,9	44,3	3,2	-	-	15,3	9,1	2,6	0,8	10,0	13,8%
	360	0,2	4,9	11,2	43,9	3,7	-	-	15,3	8,5	2,5	0,5	9,2	13,6%
50°C	60	0,2	4,7	10,3	42,6	3,1	-	-	15,8	9,3	2,8	0,9	10,4	26,0%
	180	0,4	5,2	10,7	40,7	3,4	-	-	16,3	9,8	2,8	0,9	10,0	31,4%
	360	0,2	5,0	10,3	41,6	3,4	-	-	16,8	9,9	2,4	0,7	9,4	37,4%



Figuras 7: Lixiviação em água dos principais elementos contidos nas cinzas da caldeira 8.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que os processos a úmido da unidade industrial, produzem cinzas com formas e tamanhos de partículas não uniformes. Já o processo a seco (caldeira 8), produz cinzas mais uniforme quanto ao formato e tamanho de partículas.

O meio aquoso, combinado com a temperatura de 50°C, das caldeiras 6 e 7, promovem o efeito de lixiviação principalmente do Mg, S, Cl e K. O pH entre 8,5 e 9,5, promovem desgastes nos equipamentos, causando intervenções de manutenção, o que de modo geral aumentam os custos, com manutenção e paradas dos processos produtivos, o que não ocorre no processo a seco.

O processo a seco, conserva nas cinzas, elementos importantes (Cl, S, K, Mg, Ca, Fe e P), que são facilmente lixiviados com água de chuva, quando depositados no solo como destino final.

## 6. REFERENCIAS.

Nutri Time Vol. 12, N° 05, set/out de 2015 ISSN: 1983-9006 [www.nutritime.com.br](http://www.nutritime.com.br)

Acil Weber – treinamento e comissionamento Bettersize – [www.acilwebwe.com.br](http://www.acilwebwe.com.br);

[www.better.size.com.hk](http://www.better.size.com.hk)

Massarani, G. Fluidodinâmica em Sistemas Particulados. 2ª edição. Editora UFRJ, Rio de Janeiro

ÚNICA – [www.unica.com.br/publicação](http://www.unica.com.br/publicação) - <http://unicadata.com.br/>

BÜRGI, R. Cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 6, 1995, Piracicaba.