

# ANÁLISE DE EMISSÕES DE GASES E MATERIAL PARTICULADO EM CALDEIRAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

## *ANALYSIS OF GAS EMISSION AND PARTICULATE MATERIALS IN BOILERS OF THE SUGAR AND ETHANOL INDUSTRY*

**Erley Maik Gonçalves<sup>(1)</sup>**  
**Evaldo Ferezin<sup>(2,3)</sup>**  
**Tadeu Tomio Sudo<sup>(2)</sup>**  
**Celso Luiz Franzotti<sup>(3)</sup>**  
**Claudenir Facincani Franco<sup>(2)</sup>**

### **Resumo**

O Bagaço de cana-de-açúcar é um dos subprodutos dos processos industriais sucroalcooleiros, aproveitado como combustível em sistemas de cogeração por parte das indústrias do ramo. Este conceito passou a ser adotado pelas indústrias sucroalcooleiras principalmente pelo poder calorífico apresentado pelo Bagaço de cana-de-açúcar. No entanto o uso deste combustível traz como conseqüências emissões de impurezas ao meio ambiente, acarretando altos índices de poluição no ar atmosférico. Foram criadas Leis Federais e medidas socioambientais na intenção de conter essas emissões de poluentes e minimizar os impactos gerados pelas indústrias do setor sucroalcooleiro, obrigando as empresas a desenvolver e instalar novos equipamentos para controle de poluentes. O estudo de caso proposto contemplou um sistema de cogeração baseado no ciclo a vapor, cujos equipamentos avaliados foram Caldeiras Aquatubulares, Lavadores de gases e uma estação de tratamento de águas de lavagem de gases (ETALG). Os resultados obtidos pelos experimentos realizados no presente trabalho mostraram a sensibilidade dos equipamentos Caldeiras e Lavadores de Gases de uma indústria do setor sucroalcooleiro localizada nas proximidades da cidade de Pradópolis no estado de São Paulo e sua central de cogeração. Os parâmetros analisados foram o teor de umidade presente no combustível, a quantidade devida de oxigênio (O<sub>2</sub>) necessária, a temperatura dos gases na saída da câmara de combustão das caldeiras, os níveis de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), e as quantidades de particulados emitidos para a atmosfera após as reações de combustão e o tratamento de águas usado pela estação ETALG.

**Palavras-chave:** Caldeiras. Lavadores de gases. Controle de emissão de gases.

---

<sup>1</sup> Graduado em Tecnologia em Biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia Nilo de Stefani - Jaboticabal.

<sup>2</sup> Docente da Faculdade de Teconologia Nilo de Stefani - Jaboticabal.

<sup>3</sup> Docente da Faculdade de Teconologia de Sertãozinho.

## **Abstract**

*The sugarcane bagasse is one of the byproducts from sugar and ethanol industrial processes, harnessed as fuel in cogeneration systems by industries of this business. This concept came to be adopted by sugarcane industries mainly by calorific value presented by sugarcane bagasse. However, the use of this fuel brings consequences as the emission of impurities in the environment, thus causing high levels of pollution in the air. Federal Laws and environmental measures in an attempt to curb these emissions and minimize the impacts of the sugarcane were created, forcing companies to develop and install new equipment to control pollutants. The proposed case study contemplated a cogeneration system based on steam cycle, whose equipment reviews were Watertube Boilers, gas washers and a water treatment scrubber (ETALG). The results obtained by the experiments in this study showed the sensitivity of Boilers and Gas Washers equipments in the sugar and ethanol industry located near the city of Pradópolis, in the state of São Paulo and its cogeneration plant. The parameters analyzed were humidity content present in the fuel, the due amount of oxygen (O<sub>2</sub>) required, the gas temperature at the outlet of the combustion chamber of the boiler, the levels of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), and the amount of particulates emitted into the atmosphere after combustion reactions and water treatment used by ETALG station.*

**Keywords:** Boilers. Scrubbers. Gas Emissions.

## **1 Introdução**

O termo cogeração possui diferentes definições. Porém, a que melhor identifica este processo em uma usina sucroalcooleira é a produção combinada de potência elétrica e/ou mecânica e térmica a partir de um mesmo combustível. Nas usinas de açúcar e álcool, a cogeração sempre esteve presente, pela queima de bagaço da cana-de-açúcar em caldeiras, para produção das energias mecânica, térmica e elétrica sem venda de excedente. Porém, sem nenhuma preocupação em fazê-lo de forma eficiente. Entretanto, a partir da crise que levou ao racionamento de energia em 2001, o governo brasileiro introduziu novas regras no mercado de energia elétrica.

Este fato foi muito importante para impulsionar o setor sucroalcooleiro a investir na modernização de seus parques industriais, com o objetivo de torná-los mais eficientes e, assim, comercializar a energia elétrica excedente nos leilões de energia, em programas de incentivos como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia) ou até mesmo no mercado livre, assumindo todas as responsabilidades sociais e ambientais.

Em acordo com a Resolução CONAMA 01/86, impacto ambiental é definido como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que,

direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais”.

Diante do exposto, o presente artigo analisou a emissão de gases e de material particulado de um sistema de cogeração baseado no ciclo a vapor, cujos equipamentos avaliados foram Caldeiras Aquatubulares, Lavadores de gases e uma estação de tratamento de águas de lavagem de gases (ETALG). Com os resultados obtidos pode-se avaliar a sensibilidade dos equipamentos Caldeiras e Lavadores de Gases de uma indústria do setor sucroalcooleiro

## 2 Material e Métodos

Após um período de estudos de duas semanas que se estendeu de 14/07/2013 à 29/07/2013 os experimentos e análises laboratoriais. Os Equipamentos individuais das caldeiras e dos lavadores de gases estudadas no presente trabalho são: fornalhas, ventiladores, exaustores e chaminé referente às caldeiras. Separador de arraste e bicos de aspersão referentes aos lavadores de gases.

Em modo geral os componentes citados apresentam as mesmas funções em todas as caldeiras apresentadas pelo presente trabalho, variando apenas na funcionalidade e eficiência dos equipamentos. Vale ressaltar que todas as caldeiras possuem um limite de trabalho de dez por cento (10%) acima de suas capacidades nominais durante um intervalo de tempo de duas horas (2h) nas vinte e quatro horas (24h) de um dia.

Utilizou-se um analisador de gases, portátil do modelo “*Telegon Tempest 50*”, do tipo invasivo para captação das amostras dos gases de combustão.

Foram analisadas nove caldeiras com as características mostradas na tabela 1:

TABELA 1: Dados das caldeiras utilizadas na avaliação

Caldeira	Tipo	Ano	Pressão de trabalho (kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura do vapor (°C)	Capacidade (Tv/h)	Superfície de aquecimento (m <sup>2</sup> )	Categoria
01	VU-40	1978	22	280	150	3140	A
02	VU-40	1978	22	280	150	3140	A
03	VU-40	1978	22	280	150	3140	A

<b>04</b>	VU-40	1978	22	280	150	3140	A
<b>05</b>	Tv2pe	1975	22	280	60	2000	A
<b>06</b>	Tv2pe	1975	22	280	60	2000	A
<b>07</b>	Tv2pe	1975	22	280	60	2000	A
<b>08</b>	Tv2pe	1975	22	280	60	2000	A
<b>09</b>	Spb	2011	67	525	300	4741	A

O Lavador de Gás Tipo Venturi apresenta emissão abaixo de 50 mg/Nm<sup>3</sup> e eficiência de 99% para partículas de 1 micron.

O equipamento denominado ETALG, estação de tratamento de águas de lavadores de gases, é do tipo circuito fechado e associa-se diretamente aos lavadores de gases captando as águas utilizadas no processo de lavagem dos gases provenientes da combustão das caldeiras. É constituída por um Tanque de recepção, denominado Tanque de Particulado, com capacidade de trabalho total de 1200m<sup>3</sup>/h, porém sua atuação diária é de 3/4 da capacidade, entorno de 830m<sup>3</sup>/h.

### 3 Resultados e Discussão

De acordo com os resultados obtidos das análises laboratoriais referentes às emissões de gases e aos níveis de Material Particulado e NOX liberados pelo setor industrial, utilidades, composto por caldeiras e lavadores de gases da Usina São Martinho e São Martinho Energia, os mesmos se enquadram nas respectivas resoluções CONAMA conforme demonstrado nas tabelas 8, 9,10 e 11.

Em geral são válidos os limites de NOX e Material Particulado de acordo com a potência nominal de cada equipamento.

TABELA 2 - Análises dos gases de combustão provenientes das Caldeiras 01, 02, 03 e 04 Caldeiras.

Caldeira	O <sub>2</sub> (%)	Material Particulado (mg/Nm <sup>3</sup> )		NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	
		Limite	Medido	Limite	Medido
<b>01</b>	8	390	80,55	350	325,68
<b>02</b>	8	390	190,97	350	294,34
<b>03</b>	8	390	149,64	350	238,60
<b>04</b>	8	390	173,99	350	266,92

<b>05</b>	8	450	329,04	350	302,07
<b>06</b>	8	450	342,46	350	<b>372,13</b>
<b>07</b>	8	450	135,43	350	<b>409,69</b>
<b>08</b>	8	520	224,54	NA	384,06
<b>09</b>	8	200	61,81	350	279,32

A Caldeira 9 se encaixa na resolução CONAMA nº 382 de 28/12/2006 com licença de operação após 02 de janeiro de 2007. Os baixos índices de emissão de NOX mostram uma relação percentual de 30,90% de emissão do total admitido enquanto que o Material Particulado apresentado pela mesma tabela demonstra um percentual de 79,80% quando comparado aos limites da CONAMA

As demais caldeiras se encaixam na resolução CONAMA nº 436 de 22 de dezembro de 2011, com licença de operação anterior à 02 de janeiro de 2007.

As Caldeiras 06 e 07 são as únicas que não atenderam a resolução CONAMA quanto ao quesito NOX, apresentando uma pequena variação superior aos Limites desejados. Os percentuais das análises indicam 6,32% para caldeira 06 e 17,05% para caldeira 07 acima dos limites exigidos pela CONAMA

Não existem fatores que evidenciem a disfunção apresentada pelos equipamentos Caldeiras 06 e 07, pode-se deduzir a respeito deste comportamento atípico dos mesmos, quando comparados às outras caldeiras, a necessidade de manutenção nos lavadores de gases.

Assim como também a possibilidade de trocar o sistema de queima de combustível de grelhas basculantes para Leito Fluidizado, se conveniente financeiramente, devido às defasagens de projetos quanto aos dias atuais.

#### **4 Considerações Finais**

O setor sucroalcooleiro exerce um papel fundamental para a economia nacional, devido ao beneficiamento da cana de açúcar é possível produzir vários produtos utilizados pela população, além dos tradicionais Álcool e Açúcar, e atualmente com a venda de excedente de Energia Elétrica.

Com desenvolvimento do setor sucroalcooleiro as usinas de cana de açúcar foram obrigadas a adequar-se aos novos parâmetros de Sustentabilidade Empresarial e por

consequência diminuir os níveis de emissões de gases nocivos e Material particulado ao meio ambiente.

Como referência para a sua adequação quanto aos limites impostos pela Resolução CONAMA e suas diretrizes, usinas de todo o país buscam tecnologias de menor custo benefício para assim manter seus empreendimentos. E assim empresas relacionadas ao setor sucroalcooleiro desenvolveram variados equipamentos buscando diminuir os níveis de poluentes emitidos para o meio ambiente.

Os Lavadores de gases estudados demonstram eficiência satisfatória quando comparadas às resoluções ambientais vigentes.

Os processos industriais interligados diretamente às Caldeiras e Lavadores de Gases demonstram uma interface de Empresa que atende aos quesitos legais do setor sucroenergético. Por consequência adquire melhor imagem em ambiente nacional.

## 5 Referências

ANDRADE & CANELLAS Consultoria e Engenharia. **Geração de Eletricidade a Partir de Biomassa e Biogás**. Comissão Especial de Bioenergia do Governo do Estado de São Paulo, São Paulo – SP, p. 26 – 52, 2007. (Relatório Técnico A&C – R – n. 0030/07).

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p.131-137, 02 jan. 2007.

FIOMARI, M. C. **Análise energética e exérgica de uma Usina Sucroalcooleira do Oeste Paulista com sistema de cogeração de energia em expansão**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, Ilha Solteira, 2004.

LEITE, N. R.; MILITÃO, R. A. **Tipos e aplicações de caldeiras**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2008. (Disciplina de fabricação e montagem de caldeiras e trocadores de calor).

LEMONS, A. A. S. **Energia elétrica no Brasil e a cogeração como fonte energética alternativa**. 1996. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Econômicas, Instituição Moura Lacerda, 1996.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 53 p.

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA. Itajubá-MG: SBPE, 2007.

SILVESTRIM, C. R. **Bioeletricidade**: desafios e oportunidades. In: ENCONTRO DE NEGÓCIOS DE ENERGIA, 8., São Paulo, 2007.

SOSA ARNAO, J. H. **Caldeiras Aquatubulares de bagaço**: estudo do sistema de recuperação e energia. 2007. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas, 2007.

TEIXEIRA, F. N.; LORA, E. S. Metodologia e ferramenta para seleção de equipamentos para controle da emissão de particulados em caldeiras a bagaço. In: ENCIT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS, 9., Caxambu-MG, 2002. **Anais...** Caxambu-MG, 2002.

UNICA – União da Agroindústria Canavieira. **Geração Térmica**: Bioeletricidade. Brasília: Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados, 2007.