

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE**

**UMA AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
E DE RUÍDOS NA PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE
A PARTIR DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

HAMILTON RONDON FLANDOLI

Campo Grande – MS

2014

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE**

**UMA AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
E DE RUÍDOS NA PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE
A PARTIR DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

HAMILTON RONDON FLANDOLI

Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior

Campo Grande – MS

2014

ii

FICHA CATALOGRÁFICA

Flandoli, Hamilton Rondon

Uma avaliação das emissões de gases do efeito estufa e de ruídos na produção e geração de bioeletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar. Campo Grande, 2014.

98p. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia. Área de concentração: Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Orientador: Silva Júnior, Amâncio Rodrigues da

1. Biomassa; 2. Emissões; 3. Efeito estufa; 4. Bioenergia.

FOLHA DE APROVAÇÃO

HAMILTON RONDON FLANDOLI

UMA AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA E DE RUÍDOS NA PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE A PARTIR DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada ao **Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade – FAENG - UFMS**, Área de concentração: Eficiência Energética, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Campo Grande, 31/ 03/2014

BANCA EXAMINADORA

PROF. Dr. AMÂNCIO RODRIGUES DA SILVA JÚNIOR
FAENG / UFMS/ Orientador

PROF. Dr. Peter Batista Cheung
FAENG/UFMS

PROF. Dr. Jair de Jesus Fiorentino
FAENG/UFMS

Dedico este trabalho à minha esposa, Beatriz, pelo enorme apoio e carinho, e aos meus filhos e netos, que souberam compreender as minhas ausências durante o mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos inúmeros amigos e companheiros, que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho e aos quais presto a minha homenagem.

Ao professor Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior, que me acolheu na UFMS, por ter acreditado em mim e também pelos bons momentos de orientação e ensinamento.

Ao professor MSc Sérgio Massafumi Okano, cuja dissertação foi importante referência para o presente trabalho, pela disponibilidade de contribuir sempre para a realização desta pesquisa.

Ao professor Dr. Flávio Aristone, pelo aprendizado em energias renováveis que norteou este trabalho e pela grande ajuda na gestão do Mestrado.

À professora Dra. Adriane Queiroz, pelo grande ensinamento em Gestão Estratégica de Sustentabilidade, fundamental para este e futuros trabalhos.

Aos colegas engenheiros Luiz Antonio Cardoso e Diego Azambuja, pela ajuda na pesquisa de campo.

Ao professor e amigo MSc Ganem Jean Tebcharani, pela preciosa colaboração com as estatísticas.

Aos colegas do inpEV Paulo Ely do Nascimento, Maria Helena Zucchi Calado e Renata Nishio, pela compreensão e apoio.

Aos professores do PPGES, pelos conhecimentos ofertados.

Aos colegas do PPGES, pelo espírito de equipe e companheirismo.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xiii
ABSTRACT	xviii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 A CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E NO MATO GROSSO DO SUL E A COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR: CONTEXTUALIZAÇÃO DO PANORAMA PRODUTIVO	6
2.1 A cana-de-açúcar no Brasil	6
2.2 A cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso do Sul.....	8
2.3 A produção de energia autossustentável no Brasil e no estado de Mato Grosso do Sul	16
3 A COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA DE CANA-DE- AÇÚCAR	25
3.1 O processo de cogeração de energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar	26
3.2 Os sistemas de cogeração com utilização da biomassa da cana-de-açúcar.....	27
3.3 Caldeiras aquatubulares	28
3.4 Aspectos ambientais da cultura da cana-de-açúcar	29
3.5 Classificação dos poluentes atmosféricos das fontes poluidoras do ar	34
* O nível de atenção é declarado pela Cetesb com base na legislação estadual, que é mais restritiva (200 µg/m ³).....	37
3.6 Efeitos da poluição atmosférica	39
3.7 Impactos de caráter regional	39
3.8 Impactos de caráter global	41
3.9 Poluição sonora	46

4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
4.1 Materiais.....	55
4.2 Métodos.....	60
5 RESULTADOS	63
5.1 Resultados das medições dos gases do efeito estufa.....	63
CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS	82

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1 – Localização da cana-de-açúcar (IBGE)</u>	11
<u>Figura 2 – Localização das usinas de cana em MS</u>	12
<u>Figura 3 – Esquema de uma caldeira aquatubular</u>	28
<u>Figura 4 – Temperatura</u>	40
<u>Figura 5 – Efeito estufa</u>	42
<u>Figura 6 – Analisador de poluentes atmosféricos da Testo – 350 XL</u>	57
<u>Figura 8 – Local da inserção da sonda</u>	61
<u>Figura 9 – Emissão de fumaça pela chaminé</u>	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de permanência e concentrações de poluentes	34
Tabela 2 – Padrões nacionais de qualidade do ar	36
Tabela 3 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar.....	37
Tabela 4 – Qualificação de poluente	38
Tabela 5 – Qualificação do ar	38
Tabela 6 – Tipos e níveis de escala de som	48
Tabela 7 – Interferências causadas ao homem de acordo com a exposição a ruídos contínuos.....	48
Tabela 8 – Relação dos limites de tolerância a ruídos sem que resultem danos ao ouvido humano em ambiente de trabalho	48
Tabela 9 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) ..	50
Tabela 10 – Níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico	51
Tabela 11 – Tempos de exposição a ruídos	52
Tabela 12 – Dados técnicos na medição de O ₂ e CO do analisador de poluentes atmosféricos Testo – 350 XL.....	58
Tabela 13 – Concentrações de gases de efeito estufa lançados pela caldeira e emitidos pela chaminé	65
Tabela 14 – Concentrações de gases de efeito estufa lançados pela caldeira e emitidos pela chaminé	65
Tabela 15 – Resultado da média das medições de NO _x ..	67
Tabela 16 – Resultado da média das medições de CO	67
Tabela 17 – Concentrações de gases do efeito estufa e condições atmosféricas na base da chaminé	71
Tabela 18 – Resultado das medições de NO _x	73
Tabela 19 – Resultado das medições de CO.....	73
Tabela 20 – Níveis de ruído emitidos pela caldeira.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados da Caldeira utilizada	54
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção da cana-de-açúcar	Erro! Indicador não definido.	10
Gráfico 2 – Evolução da cana no Mato Grosso Sul em ha		11
Gráfico 3 – Previsão de bioeletricidade		13
Gráfico 4 – Mercado da bioeletricidade		14
Gráfico 5 – Mecanização da colheita.....		15
Gráfico 6 – Concentração (ppm)		66
Gráfico 7 – Concentração de CO ₂ (%)		66
Gráfico 8 – Concentração de NO (ppm).....		69
Gráfico 9 – Concentração de NO ₂ (ppm).....		69
Gráfico 10 – Concentração de NO _x (ppm).....		70
Gráfico 11 – Concentração de CO (ppm)		72
Gráfico 12 – Concentração de CO ₂ (%)		72
Gráfico 13 – Concentração de NO (ppm).....		74
Gráfico 14 – Concentração NO ₂ (ppm)		74
Gráfico 15 – Concentração NO _x (ppm).....		75
Gráfico 16 – Emissões de ruído a 1m de distância da caldeira		77
Gráfico 17 – Emissões de ruído a 2m de distância da caldeira		78
Gráfico 18 – Emissões de ruído a 4 m de distância da caldeira.....		78
Gráfico 19 – Emissões de ruído a 8m de distância da caldeira		79

LISTA DE ANEXOS

Anexo I.1 - Concentração de poluentes – Tabela geral de medições mês nov/2013	85
Anexo I.2 - Concentração de poluentes – Gráficos medição mês nov/2013 (1).....	86
Anexo I.3 - Concentração de poluentes – Gráficos medição mês nov/2013 (2)	87
Anexo I.4 - Concentração de poluentes – Gráficos medição mês nov/2013 (3)	88
Anexo I.5 - Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês nov/2013 (1)	89
Anexo I.6 - Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês nov/2013 (2)	90
Anexo I.7 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 - Concentração de Poluente O ₂ (%)	91
Anexo I.8 - de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 - Concentração de Poluente H ₂ (ppm).....	92
Anexo I.9 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 - Concentração de Poluente CO (ppm)	93
Anexo I.10 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente CO ₂ (%).....	94
Anexo I.11 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente NO (ppm).....	95
Anexo I.12 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente NO ₂ (ppm).....	96
Anexo I.13 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente NOX (ppm)	97
Anexo I.14 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013– Concentração de Poluente TF (° C)	98
Anexo I.15 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013– Concentração de Poluente TA (° C)	99
Anexo I.16 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente PO (° C).....	100

Anexo I.17 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente PA(mm Hg).....	101
Anexo I.18 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente UR (%).....	102
Anexo II.19 - Tabela geral de emissão de ruídos sonoros.....	103
Anexo II.20 – Emissão de ruídos sonoros – Gráficos	104
Anexo II.21– Emissão de ruídos sonoros – Histograma de frequência e Regressão Linear ..	105
Anexo II.22 - Emissão de ruídos sonoros - Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 1m de distância da caldeira.....	106
Anexo II.23 – Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 2 m de distância da caldeira	107
Anexo II.24 – Emissão de ruídos sonoros – Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 4 m de distância da caldeira.....	108
Anexo II.25– Emissão de ruídos sonoros – Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 8m de distância da caldeira.....	109
Anexo III.26- Concentração de poluentes – Gráficos medição mês jul/2013 (1)	110
Anexo III.27- Concentração de poluentes – Gráficos medição mês jul/2013 (2)	111
Anexo III.28- Concentração de poluentes – Gráficos medição mês jul/2013 (3)	112
Anexo III.29- Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês jul/2013 (1)	113
Anexo III.30 - Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês jul/2013 (2)	114
Anexo III.31- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente O2(%).....	115
Anexo III.32- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente CO (ppm)	116
Anexo III.33- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente CO2 (%).....	117
Anexo III.34 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente NO (ppm).....	118
Anexo III.35 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente NO2 (ppm).....	119

Anexo III.36 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013	
– Concentração de Poluente NOX (ppm)	120
Anexo III.37- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013	
– Concentração de Poluente TF (° C)	121
Anexo III.38 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013	
– Concentração de Poluente TA (° C)	122
Anexo III.39 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013	
– Concentração de Poluente PO (° C).....	123
Anexo III.40- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013	
– Concentração de Poluente PA(mm Hg).....	124
Anexo III.41 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013	
– Concentração de Poluente UR (%).....	125

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT–NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira
ABNT–NR	Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Regulamentadora
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BioSul	Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul
Cetesb	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFCs	Clorofluorcarbonos
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSPE	Comissão de Serviços Públicos de Energia
EPA	<i>Environment Protection Agency</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>International Panel of Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MTPS	Ministério de Trabalho e Previdência Social
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
Opep	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
Proálcool	Programa Nacional do Alcool
Pronar	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
RCE	Redução Certificada de Emissão

RESUMO

FLANDOLI, Hamilton Rondon. (2014). **Uma avaliação das emissões de gases do efeito estufa e de ruídos na produção e geração de bioeletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar**. Campo Grande, 2014. 102f. Mestrado Profissional – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A presente dissertação resulta da pesquisa de Mestrado que teve por objetivo avaliar a emissão de gases de efeito estufa e de ruídos emitidos na produção de bioeletricidade a partir da biomassa de cana-de-açúcar e foi realizada na Usina Sonora S.A., produtora de açúcar, álcool e bioenergia, cujo excedente de energia é disponibilizado em rede para outros aproveitamentos na região em que está localizada, no município de Sonora, ao norte de Mato Grosso do Sul. Ela utiliza o vapor de uma caldeira aquatubular, gerada a partir do bagaço de cana-de-açúcar do seu próprio processo industrial. O presente trabalho foi norteador por 02 (dois) outros trabalhos anteriores realizados na caldeira da UFMS em Campo Grande, inicialmente por uma caldeira Flamotubular Horizontal com retorno de chama à óleo combustível BPF 2A, e que depois operada com gás natural. Sendo o bagaço da cultura de cana-de-açúcar, uma biomassa e logo uma nova fonte de energia, a preocupação é como será a emissões dos gases do efeito estufa gerada por esta biomassa. No presente trabalho, foram avaliados os seguintes gases de efeito estufa e suas respectivas concentrações: o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), óxido de nitrogênio (NO_x) e também o nível de ruído produzido pela caldeira. Os dados dos gases do efeito estufa, foram obtidos no entorno da caldeira (base da chaminé) em duas épocas distintas de funcionamento do processo industrial da Usina considerando a legislação atual de avaliar a qualidade do ar. A conclusão da verificação é que todas concentrações de CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x e o nível de ruído foram menores, quando comparados com a legislação Conama (1990 e 2006) e seus limites máximos permitidos.

Palavras-chave: biomassa, emissões, efeito estufa e bioenergia.

ABSTRACT

The present dissertation come as a result of a master's research which had by objective to measure the emission of greenhouse effect gases and noises that are issued in the bioelectricity production by the sugar cane biomass and it was held in the Usina Sonora S.A. that produces sugar, alcohol and bioenergy and whose excedent of energy is made available in network to other uses in the region that it is placed and where is has iniciated their production, in the county of Sonora, at north of the Mato Grosso do Sul State. It uses the steam of a water-tube boiler, generated by the marc of sugar cane and its own industrial proccess. This research was guided by 02 (two) other earlier studies realized in the boiler of the UFMS University in Campo Grande, iniciaaly by an horizontal flame tube boiler with return of the flame to combustibile oil BPF2A, and later operated with natural gas. Being the marc of the sugar cane growth an biomass and soon a new source of energy, the concern is how it is going to be de emission os greenhouse effects and its respective concentrations: the carbon monoxide (CO), carbon dioxed (CO₂), nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂), nitrogen oxide (NO_x), and also the level of noise produced by the boiler. The data of the greenhouse gases were obtained around the boiler (in the base of the chimney) in two distinct operating timesof the industrial process in the plant considering the current legislation of measuring air quality. The conclusion of the verification is that all concentrations of CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x and the leve of noise were smaller if compared to the Conama legislation (1990 e 2006) and its maximum limits allowed.

Keywords: biomass, emissions, greenhouse, bioenergy.

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra, na segunda metade do século XVIII, possibilitou a libertação dos grilhões da força humana do trabalho, tornando as sociedades humanas capazes da multiplicação rápida, constante e ilimitada de produtos e serviços.

Sob qualquer aspecto, este foi, segundo Hobsbawm (2010), o mais importante acontecimento na história do mundo, desde a invenção da agricultura e da metalurgia, da escrita, das cidades e do Estado. Tal revolução significou um conjunto de transformações em diferentes aspectos da atividade econômica – indústria, agricultura, transportes.

Essa revolução – que transformou e continua a transformar o mundo – significou, sobretudo, uma revolução no processo de trabalho por meio da “criação de um ‘sistema fabril’ mecanizado que por sua vez produz em quantidades tão grandes e a um custo tão rapidamente decrescente a ponto de não mais depender da demanda existente, mas de criar o seu próprio mercado” (HOBSBAWM, 2010, p. 64). O autor exemplifica que não foi a demanda de carros existente na década de 1890 que criou a indústria de porte atual, mas a capacidade de produzir carros baratos é que fomentou a demanda em massa.

Assim, conforme Pereira e Gioia (2007), os séculos XVIII e XIX formam um período em que as grandes transformações pelas quais a humanidade passou marcam não só a configuração de nossa vida atual, mas também uma mudança no papel que a ciência desempenha no desenvolvimento de um modo de produção, em que grande parte do mundo transformou-se a partir de uma base europeia.

A Revolução Industrial também levou a um grandioso aumento da atividade científica, porque, a partir dela, não só os conhecimentos técnicos são dependentes do desenvolvimento científico, como este também passou a relacionar-se com a produção e, a partir do século XVII, a ciência começou a ser colocada a serviço da modificação da natureza, dedicando-se à solução dos problemas produtivos.

Hobsbawm (2010, p. 47) afirma:

[...] A grande enciclopédia de Diderot e D’Alembert não era simplesmente um compêndio do pensamento político e social progressista, mas do progresso científico e tecnológico. Pois, de fato, o ‘Iluminismo’, a convicção no progresso do conhecimento humano, na racionalidade, na riqueza e no controle sobre a natureza – de que estava profundamente imbuído o século

XVIII – derivou sua força do evidente progresso da produção, do comércio e da racionalidade econômica e científica que se acreditava estar associada a ambos.

Assim, os mais surpreendentes avanços na década de 1780 foram na química, muito ligada à prática de laboratório e às necessidades da indústria.

As necessidades produtivas que levaram a um crescente interesse pela química, também foram desenvolvendo outras áreas, como a geologia, a partir das necessidades de construção de canais e estradas de ferro. Segundo Pereira e Gioia (2007, p. 292),

[...] no final do século XIX, conhecimentos científicos eram desenvolvidos para criar novas indústrias, e, finalmente, no século XX, encontra-se o pleno desenvolvimento da indústria científica. Ciência e produção expressam cada vez mais claramente a inter-relação, a influência mútua que as une.

Assim sendo, à medida que se desenvolve, cada vez mais relacionada à produção, a ciência foi mudando suas características. A atividade científica foi se organizando formalmente, tornando-se uma profissão reconhecida, ao passo que a ciência foi perdendo sua relativa independência, passando a atender aos interesses produtivos.

Ao avaliar os efeitos da ciência sobre a vida e sobre o pensamento durante os séculos XVIII e XIX, é por conseguinte necessário seguir essa transição desde seus efeitos libertadores, no fim do período, quando estava aliada a todas as forças do progresso, até o seu estado ambíguo e incerto no fim do período, quando já não era possível aceitar como certo o progresso, e a guerra e a revolução social já se entreviam no horizonte mental (BERNAL, 1976, p. 677).

Dessa forma, a expansão e o progresso, associados à ciência, a partir do século XVIII, trouxeram como consequências de sua aplicação, já no século XIX, o problema da população das áreas industriais, o inchamento das cidades e o nível de vida desumano que surgiu com o desenvolvimento industrial.

No século XX, esses efeitos começaram a tornar-se visíveis, o que acenderia o sinal de alerta mundial representado pelos inéditos e perigosos índices de poluição e degradação da natureza, posto que a indústria desenvolveu-se baseada em fontes energéticas extraídas da natureza e não renováveis: carvão e petróleo movimentam usinas, indústrias e as grandes economias mundiais, num volume produtivo sem precedentes.

A preocupação ambiental começa a ser discutida e amplamente difundida somente a partir das últimas décadas do século XX. Esse movimento ganha impulso com a Conferência Rio 92, que surge como resultado de uma crise de civilização, questionando a racionalidade e as tecnologias dominantes na época e propondo a diversidade e a igualdade nas relações sociais, o combate à poluição e o apoio a iniciativas e ações de preservação de recursos naturais.

A Conferência mobilizou a sociedade e contribuiu para o aumento da conscientização dos cidadãos, que começaram a tornar-se consumidores mais exigentes, o que obrigou empresas e produtores a modificar a forma de atuar e a buscar formas de desenvolvimento sustentável, que visa suprir as necessidades da geração atual sem comprometer as gerações futuras. Uma das estratégias possíveis para atender a essa nova tendência mundial é a diminuição da utilização dos recursos naturais como matriz energética, que devem ser substituídos por fontes renováveis.

Entretanto, apesar da crescente conscientização mundial sobre os problemas ambientais, os grandes produtores não se mobilizam tanto quanto necessário para renovação de suas fontes energéticas. Segundo Berman (2008), as perspectivas não são animadoras no panorama mundial e as previsões para 2030 apontam para um cenário em que o petróleo manterá uma participação de 30% da oferta energética, o carvão mineral responderá por 22%, o gás natural por 25% e as fontes renováveis – hidráulica, biomassa, solar, eólica e geotérmica – contribuirão com apenas 14% da oferta.

O autor faz uma análise das políticas de inserção das fontes renováveis de energia no Brasil e, baseando-se em dados preliminares do Balanço Energético Nacional (EPE 2007), demonstra que o nosso país apresenta diferença em relação ao panorama mundial “45,8% da matriz energética do Brasil é renovável, frente aos 12,7% correspondentes à oferta energética mundial” (BERMAN, 2008, p. 2).

Desse percentual de 45%, destaca que 15,7% correspondem aos derivados da cana-de-açúcar, etanol e bagaço, obtidos a partir da atividade sucroalcooleira. O autor explica que o volume de biomassa existente no planeta é estimado em dois trilhões de toneladas, equivalentes a 400 toneladas *per capita* e correspondentes a oito vezes o consumo mundial de energia primária, e que “projeções da Agência Internacional de Energia (IEA) indicam que o peso relativo da biomassa na geração mundial de eletricidade, deverá passar de 10 TWh em 1995 para 27 TWh em 2020” (BERMAN, 2008, p. 2).

Lembra o autor que, no que se refere à geração de eletricidade, a principal questão reside nos altos custos das fontes alternativas em relação às fontes tradicionais, “o que impõe a necessidade de implementação de diversas estratégias de apoio a estas fontes, via de regra baseada na adoção de subsídios” (BERMAN, 2008, p. 2).

A viabilidade econômica da produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar é analisada por Dantas Filho (2009), que destaca que o Brasil possui, em relação a outros países, a vantagem de poder planejar sua matriz energética, utilizando grandes quantidades de fontes primárias renováveis, entre elas, a biomassa gerada pelo setor sucroalcooleiro, que, segundo o autor, é viável do ponto de vista econômico e atrativa para as usinas. O autor argumenta que, além das vantagens ambientais, essa produção de energia pode criar uma terceira fonte de renda bastante significativa para os produtores de açúcar e álcool.

O pesquisador considerou que a reformulação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), instituído pelo Governo Federal em 2002, e o surgimento do mercado de créditos de carbono, impulsionado pelo protocolo de Kyoto, reverteram o quadro de subutilização da geração comercial de energia elétrica. Dessa maneira, a biomassa da cana-de-açúcar passou a ser utilizada de forma mais intensa, tornando-se um importante componente na matriz energética brasileira.

A utilização de combustíveis não renováveis tem sido apontada pelo *Internacional Panel of Climate Change* (IPCC) como grande responsável pelo aumento da concentração de gases poluentes na atmosfera, que tem gerado como consequência a elevação do clima global nas últimas décadas (IPCC, 2001).

Nesse contexto, as fontes de energia renováveis aparecem como alternativa para reduzir os efeitos da crise energética mundial, posto que 81% da atual oferta de energia do planeta é baseada nos combustíveis fósseis, que contribuem para a emissão dos gases do efeito estufa (GEE) e para uma crise ambiental sem precedentes.

Em Mato Grosso do Sul, a ampliação da atividade industrial levou ao aumento de impactos ambientais causados pelo crescimento da população e pela urbanização desordenada, além do consumo e do desperdício de energia e de processos industriais mal planejados.

Esses fatores geraram a demanda de pesquisas sobre o monitoramento da atmosfera e da qualidade do ar nas últimas décadas, que se tornou fator relevante na busca da preservação do meio ambiente e na implantação de modelos de desenvolvimento sustentável.

A pesquisa de Mestrado de que trata o presente trabalho teve como objetivo identificar, medir e avaliar as concentrações das emissões dos gases do efeito estufa e de ruídos sonoros gerados por uma caldeira aquatubular movida a bagaço de cana-de-açúcar, identificando os gases do efeito estufa no entorno da chaminé, bem como os ruídos de energia nesse mesmo campo e comparando os resultados obtidos dos gases com os padrões exigidos pela atual legislação brasileira.

Pretende-se que os produtos resultantes deste trabalho, tanto na forma de dissertação quanto na produção de artigos publicados, possam contribuir para a criação de estratégias de apoio à produção de fontes renováveis de energia; colaborar para a redução dos impactos ambientais e cooperar com fundamentos para a criação de uma base legal em que sejam estabelecidos normas e procedimentos de cogeração de energia sustentável em Mato Grosso do Sul.

2 A CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E NO MATO GROSSO DO SUL E A COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR: CONTEXTUALIZAÇÃO DO PANORAMA PRODUTIVO

Este capítulo, escrito a partir da revisão de literatura, tem por objetivo contextualizar o panorama da produção cana-de-açúcar no Brasil e no Estado de Mato Grosso do Sul e o consequente aproveitamento de seu bagaço na produção do tipo de energia adequada ao conceito de sustentabilidade. Entende-se que a contextualização compreende também o delineamento da história do objeto pesquisado, para melhor compreensão de seu desenvolvimento histórico, cujo movimento dialético resultou na necessidade do desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento de seus resíduos, que, por sua vez, responde a demandas da crise energética e ambiental mundial.

Por essa razão, o capítulo inicia-se com a inserção da cana-de-açúcar no Brasil colonial, para então se tecerem observações sobre sua *démarche* em nosso estado. Esses passos se fizeram necessários para a historicização do desenvolvimento das tecnologias de produção de energia sustentável a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, como consequência de um movimento dialético que surgiu para atender a demandas tanto da crise energética e ambiental mundial quanto da emergente consciência ambiental.

2.1 A cana-de-açúcar no Brasil

O ciclo da cana-de-açúcar, considerado a primeira atividade economicamente organizada no país, surgiu no Brasil colonial em meados do século XVI, pela necessidade de colonizar, defender e explorar as riquezas deste território, que até então não tinha importância econômica para Portugal. Vários foram os motivos para a escolha da cana pela Coroa Portuguesa. Entre eles, a existência do solo de massapé, abundante em terras brasileiras e propício para esse cultivo, além de ser planta de cultura rápida, chegando ao ponto de corte a partir do segundo ano.

Nessa época, o açúcar principiava a substituir o mel e a subir na cotação do mercado europeu. Desse modo, além de garantir vantagem econômica para Portugal, a atividade colaborava com a colonização. Assim, com o intuito de colonizar e ter retorno financeiro, os

portugueses instalaram engenhos em todas as capitanias hereditárias para implantar o cultivo da cana.

As primeiras mudas foram trazidas da Ilha da Madeira por Martim Afonso de Souza, responsável pela instalação do primeiro engenho brasileiro, em 1533, na Capitania de São Vicente. O cultivo espalhou-se por todo o litoral, tendo um melhor desenvolvimento no Nordeste, nos locais onde atualmente se encontram os estados de Pernambuco e da Bahia, de onde o produto era facilmente exportado em navios para a Europa. Alguns desses engenhos evoluíram e transformaram-se em usinas de cana.

A mão de obra utilizada nos engenhos era composta por escravos e o açúcar permaneceu como o principal produto de exportação do Brasil por mais de 200 anos, tendo convivido, contribuído e muitas vezes resistido a muitas mudanças sociais, políticas e culturais durante todos esses anos.

Portugal não assegurou ao Brasil colonial as condições necessárias para manutenção do monopólio da cana sob seu domínio e com o declínio do consumo da cana-de-açúcar no mercado europeu, em meados do século XIX, ela perde espaço e deixa de ser o principal produto nacional. Por ocasião da Proclamação da República, no ano de 1889, o açúcar ocupava o terceiro lugar nas exportações brasileiras, atrás do café e da borracha e, no ano de 1910, cairia para o sexto lugar.

No século XX, diante da forte dependência da importação de petróleo e da crise do produto ocorrida em 1973 – quando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) reduziu intencionalmente a produção, elevando o preço –, cresceu não só no Brasil, como no mundo inteiro, a busca por fontes alternativas de energia, para substituição desse combustível fóssil.

Nesse cenário, no governo Geisel foi lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que se baseou na produção de álcool anidro para mistura à gasolina para redução de consumo desta (estratégia que já tinha sido adotada anteriormente pelo governo Vargas). Por meio de decreto, tornou-se obrigatória a mistura de 5% de álcool à gasolina, iniciando-se a intervenção estatal no mercado de açúcar e de álcool, que se encerraria com a extinção do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) na década de 1990.

O Proálcool, criado pelo decreto no. 76.593/75, tinha o objetivo de viabilizar o etanol como combustível carburante e estimular a produção para atender às necessidades do mercado interno e externo. O programa fomentou a fabricação de veículos movidos exclusivamente a álcool extraído da cana-de-açúcar. Conforme dados encontrados em Brasil (2007, p. 13) “[...]”

em 1979, o Brasil lançava o primeiro veículo comercial movido exclusivamente a álcool e em meados da década de 1980, quase 100% dos veículos novos comercializados no país eram movidos a álcool”.

O vertiginoso aumento do plantio da cana-de-açúcar, no início da década de 1970, tinha como característica ser uma atividade poluidora, por gerar inúmeros resíduos, como a vinhaça, as cinzas das queimadas, o bagaço e a palha. Em poucas décadas, esse cenário da cana-de-açúcar como atividade poluidora começaria a ser revertido.

Em 1985, o preço do petróleo no mercado internacional e a falta de subsídios do governo brasileiro resultaram em uma crise de desabastecimento que teria seu pico em 1989. Esse ponto marca o início da mudança do panorama anterior e, das medidas que compunham o programa original, restou apenas a obrigatoriedade da mistura de 25% de álcool à gasolina.

No ano de 2006, o Brasil atingiu a marca de 16,9 bilhões de litros de álcool sendo o único país do mundo a substituir, em larga escala, o consumo de gasolina por uma fonte renovável. Da produção mundial de álcool, que em 2010 era de aproximadamente 40 bilhões de litros, dos quais 25% eram utilizados para fins energéticos, o país contribuía com 15 bilhões de litros, o que equivalia a quase 40% da produção mundial.

Atualmente, mais de 80% do etanol nacional é consumido pelo mercado interno e, segundo a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA, 2010), o Brasil é o maior exportador de etanol do mundo, sobretudo para os Estados Unidos e países membros da União Europeia.

O potencial de produção e o aumento da demanda por etanol fizeram com que a cana-de-açúcar voltasse a ser uma das mais importantes culturas no cenário da agroindústria nacional. Em razão do potencial sucroalcooleiro do país, a cana tornou-se também a mais importante fonte de biomassa energética no Brasil e no mundo, e, no caso brasileiro; sem reduzir a produção de alimentos.

2.2 A cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso do Sul

O estado de Mato Grosso do Sul tem, historicamente, sua economia vinculada à pecuária de corte e à extração de produtos primários e de recursos naturais. No século XIX, foram explorados os chamados ervais nativos na região fronteira com o Paraguai e na

fronteira com a Bolívia; em Corumbá, predominou no século XX a extração dos minérios de ferro e manganês do complexo Urucum. O estado tem uma área de 358.158 km² e abrange o Pantanal com 140.000 km², cuja principal atividade é a pecuária e, em razão disso, tem como principal cultivo a pastagem.

Deve-se lembrar aqui que a produção em larga escala de culturas como soja, milho, algodão, florestas e cana-de-açúcar é relativamente recente no estado. Entretanto, apesar de recentes, esses produtos vêm batendo recordes de produtividade, principalmente em anos em que o clima é favorável.

Assim, do ponto de vista do agronegócio, pode-se sintetizar que o estado de Mato Grosso do Sul ampara-se atualmente na produção de carne, de soja e, mais recentemente, de cana-de-açúcar. A agricultura predominante é a de grande escala, embora o número de pequenos agricultores ou agricultores familiares tenha passado de 38.000 para 80.000 famílias, entre os anos de 1986 e 2006, segundo o Censo Agropecuário 2006 divulgado em 30 de setembro de 2009 (IBGE, 2009).

Dessa forma, o estado tem procurado pautar-se por quebrar barreiras e paradigmas, modificando e atualizando sua matriz produtiva, para adequar-se às novas necessidades impostas pela modernidade, especialmente as que dizem respeito aos cuidados ambientais e sociais.

Segundo a BioSul¹ (2013),

do ponto de vista do agronegócio, Mato Grosso do Sul aparece no cenário midiático como um dos mais dinâmicos, na medida em que representa uma fronteira agrícola-econômica para a expansão de capitais, seja na agricultura ou na própria indústria. Contudo, no que tange propriamente ao campo, ampara-se largamente no discurso da produção da soja, da carne e, mais recentemente, da cana-de-açúcar, os quais sustentam a sua economia e expressam sua situação frente aos demais estados da federação.

A extensão rural e a pesquisa agropecuária, que desde a divisão do estado em 1977 tem demonstrado as potencialidades do agronegócio, devem chegar em 2014 a perto de 700.000 ha. O que significa que a expansão da cultura da cana-de-açúcar contribuiu para alavancar e diversificar a balança comercial do estado.

¹ BioSul – Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul – foi criada em 2008 para consolidar a ação institucional dos produtores de etanol, açúcar e bioeletricidade do estado de Mato Grosso do Sul.

Em Mato Grosso do Sul, a cana-de-açúcar passou a fazer parte do cenário produtivo do álcool a partir das décadas de 1970 e 1980, quando foram implantadas várias unidades produtivas financiadas pelo Proálcool. A primeira destilaria foi em 1978, no então município de Pedro Gomes, hoje Sonora.

De acordo com a Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul (Biosul, 2013), e como mostrado no gráfico 1, o estado ficou com a quinta posição no ranking nacional na produção canavieira, com uma safra, abaixo do esperado, de 35 milhões de toneladas, precedido por São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Paraná.

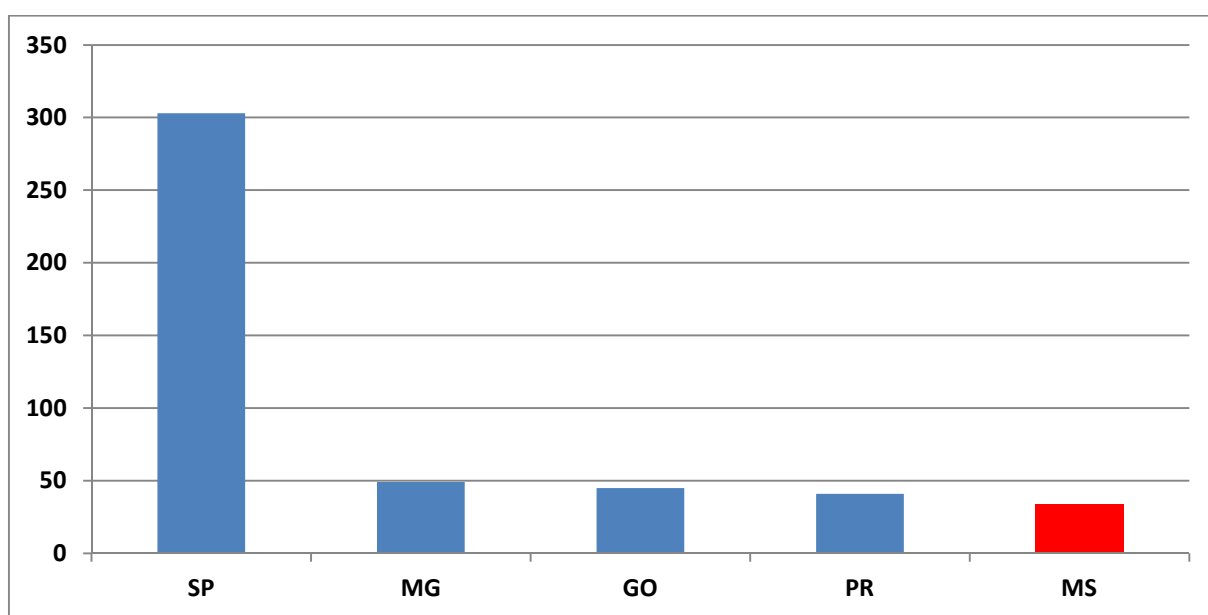


Gráfico 1 – Produção da cana-de-açúcar
Fonte: Biosul (2013).

Na Figura 1, demonstram-se a territorialização e a distribuição da cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso do Sul, em porcentagem, relativamente à safra 2012/2013.

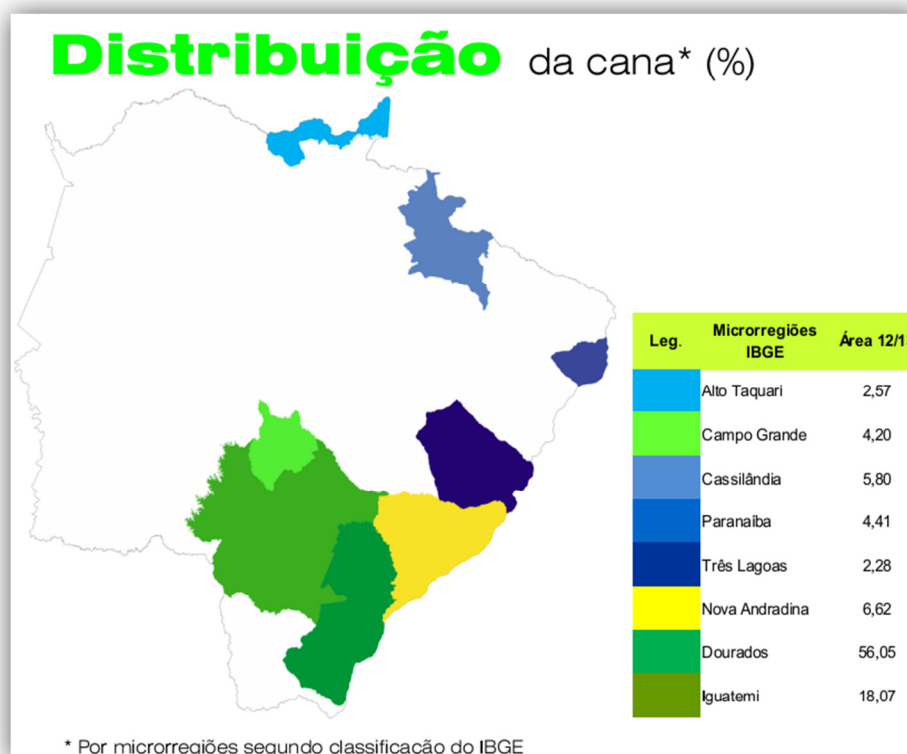


Figura 1 – Localização da cana-de-açúcar
 Fonte: IBGE (2009).

No estado de Mato Grosso do Sul, a evolução da área plantada de cana-de-açúcar, a partir do ano 2009, duplicou em relação a 2013 e continuo movimento de ascedencia da área plantada como se observa no gráfico 2.

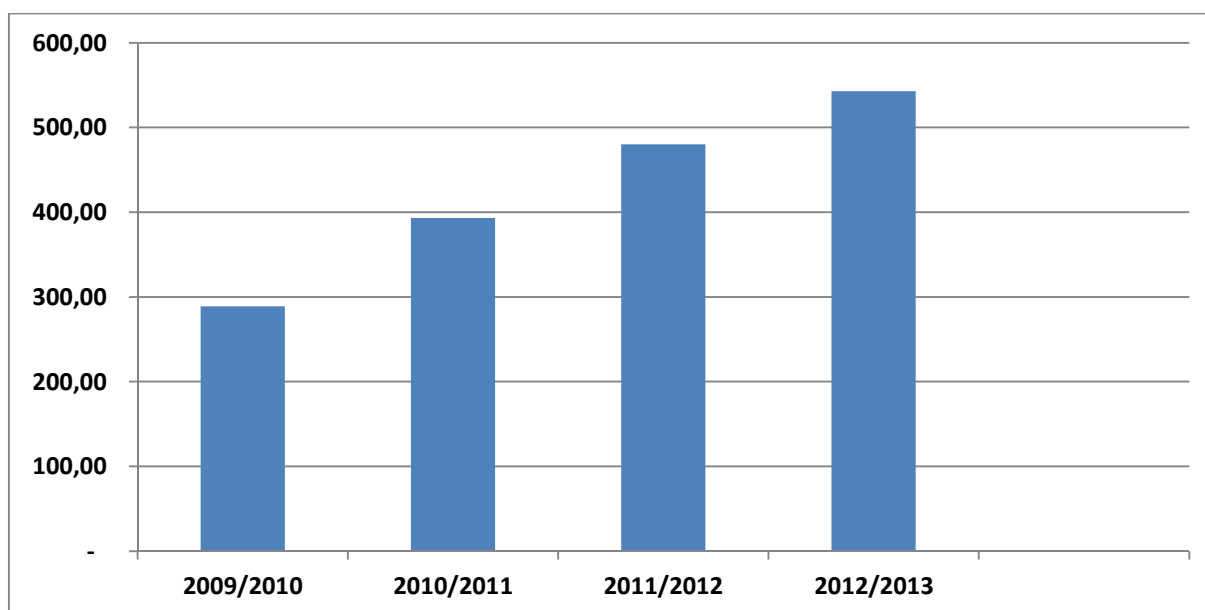


Gráfico 2 – Evolução da cana no Mato Grosso do Sul em ha
 Fonte: Biosul (2013)

Esse gráfico demonstra a expansão da cana-de-açúcar entre as safras de 2009/2010 a 2012/2013, com a implantação de novas unidades de agroindústrias canavieiras no estado de Mato Grosso do Sul.

A Figura 2 demonstra a expansão da atividade canavieira em Mato Grosso do Sul até o ano de 2012 e aponta para um reordenamento da produção de bioenergia que é indicativo também da mudança do perfil da produção agropecuária do estado.

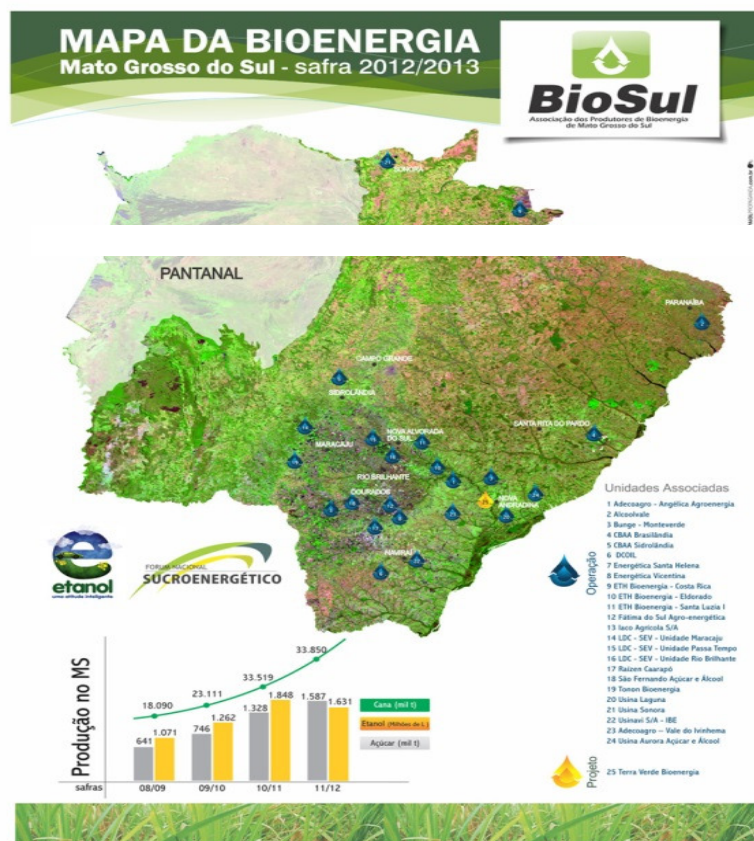


Figura 2 – Localização das usinas de cana em MS

Fonte: Biosul (2013)

Essa reordenação da produtividade agroindustrial decorre das políticas de incentivo à industrialização, posto que, nas duas últimas gestões do governo estadual, houve claro interesse em garantir a expansão da cana-de-açúcar, como uma das formas de modernizar a produção estadual, diversificando a base produtiva de modo a possibilitar a superação do tradicional binômio boi-soja. O estado tem localização estratégica frente aos mercados consumidores, especialmente o Mercosul, que se configura como importante comprador das mercadorias produzidas na área a jusante.

Com relação ao uso de biomassa da cana-de-açúcar como combustível para produção de energia nas usinas de Mato Grosso do Sul, de acordo com a Biosul (2013) a expansão no ano de 2012 foi de 18%, conforme o Gráfico 3, a seguir.

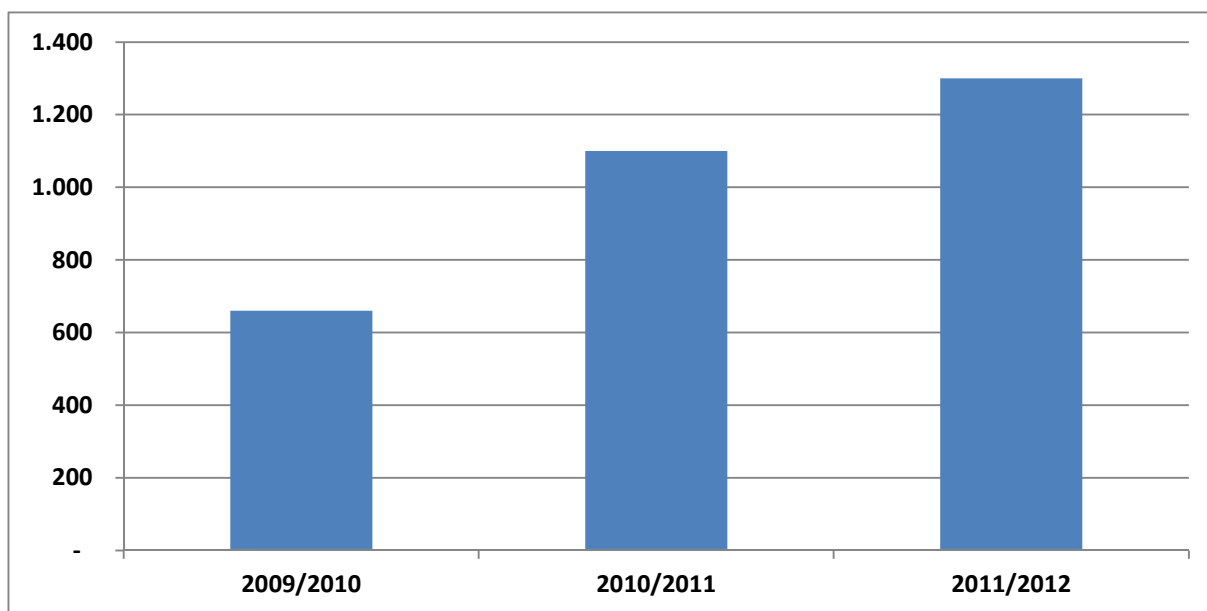


Gráfico 3 – Previsão de bioeletricidade (GWh)

Fonte: Biosul,(2013).

De acordo com dados fornecidos pela Empresa Energética de Mato Grosso do Sul (Enersul), o sistema nas usinas é de cogeração, visando a princípio suprir a própria demanda e exportar o excedente, que, segundo dados fornecidos pela empresa, já representa 25% do consumo do estado.

No Gráfico 4, pode-se verificar o crescente mercado da bioeletricidade.

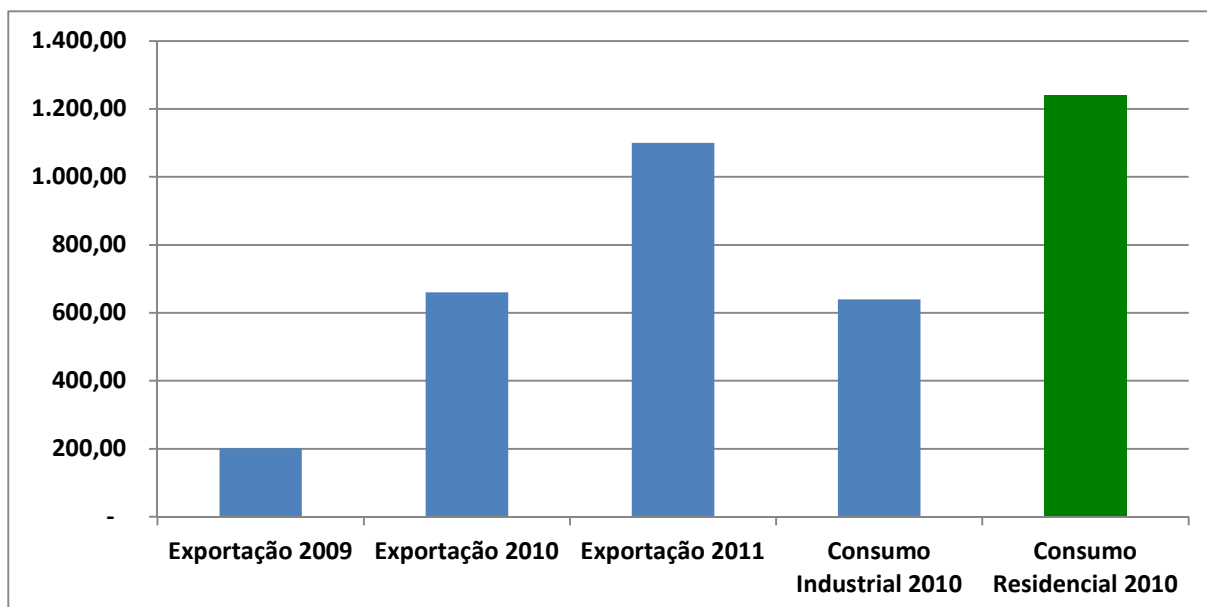


Gráfico 4 – Mercado da bioeletricidade
Fonte: Biosul, (2013)

Para a Biosul (2013), a geração de energia a partir do reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, que era comum somente nas unidades de produção de etanol, atualmente é uma opção econômica para o País. Devido à melhora da tecnologia, o sistema de distribuição de energia é uma realidade para uso doméstico e industrial. Em 2010, o Mato Grosso do Sul exportou 700 GWe/H, que correspondem a 20% do consumo do estado.

Ainda segundo a Biosul (2013), as modernas instalações das usinas implantadas no Mato Grosso do Sul podem operar com alta eficiência e baixos custos operacionais na geração de energia. Desse modo, sua produção pode ser escoada para outros estados pelas linhas de transmissão que estão sendo criadas.

Hoje, ao contrário do que ocorreu no final dos anos 1970, *boom* da cana-de-açúcar – que caracterizou essa cultura como uma grande fonte de poluição, por gerar inúmeros resíduos, como a vinhaça, as cinzas das queimadas, o bagaço e a palha, que eram resíduos do processo industrial da produção de açúcar e álcool –, todos esses resíduos têm um destino correto e seguro.

Segundo a Biosul (2013), as queimadas a campo e seu material particulado não merecem estudos, pois 93% da colheita é mecanizada atualmente, já que os produtores não querem perder material que possa gerar recursos financeiros, conforme se pode observar no Gráfico 5, a seguir.

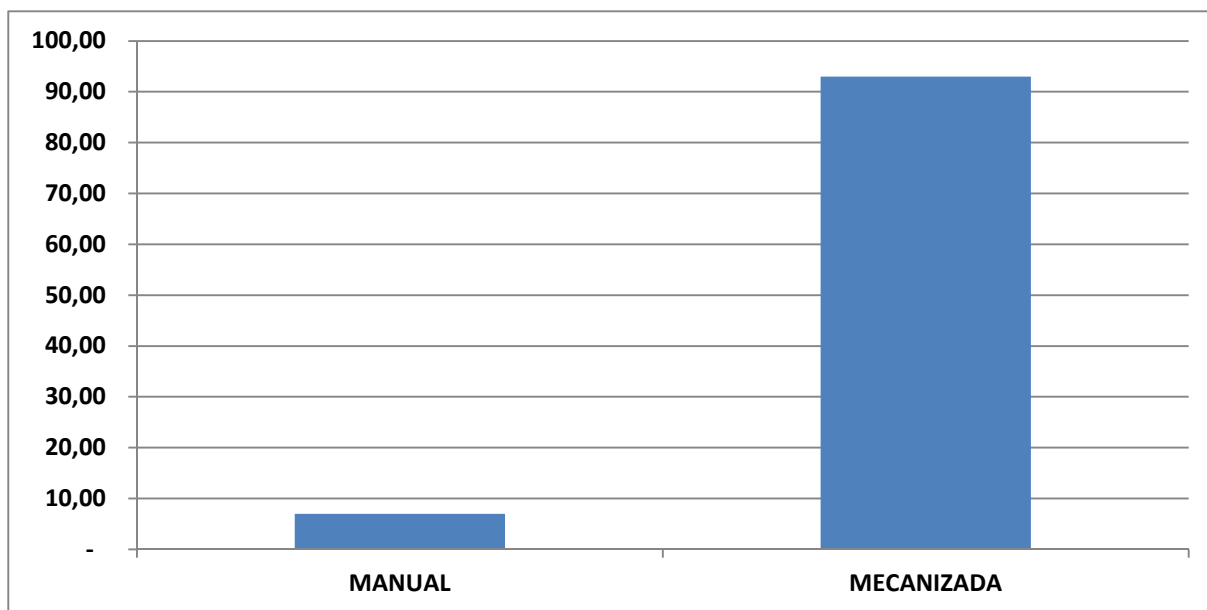


Gráfico 5 – Mecanização da colheita

Fonte: Biosul (2013)

A presente pesquisa vai deter-se no aproveitamento da matéria-prima constituída pelo bagaço da cana-de-açúcar que as usinas produzem e normalmente têm volume excedente e que após uso nas próprias usinas esta energia; também podem ser negociados entre elas.

A Biosul (2013) aponta ainda para a possibilidade de reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar devido ao pico de utilização da bioeletricidade que sempre acontece na seca dos reservatórios das hidrelétricas, demonstrando que os benefícios deste produto têm aplicação estendida.

Dados apresentados no relatório da BioSul (2013) demonstram ainda que o setor sucroenergético de Mato Grosso do Sul fechou o ano de 2011 com o dobro do consumo de todo o setor industrial do estado em 2010, que foi de 638 GWh, e a exportação do excedente de energia de 1.100 Giga Watts hora (GWh). Assim, a eletricidade passa a consolidar-se como o terceiro produto das usinas, ao lado da produção de açúcar e etanol.

Segundo essa associação, nas palavras de Roberto Hollanda Filho, a comercialização do excedente de eletricidade é recente no Estado e

[...] antes da modernização das empresas e da vinda de novas indústrias com equipamentos específicos para reutilização do produto, o volume gerado pela cana era um problema. Mesmo produzindo vapor e eletricidade para a própria usina, as montanhas de bagaço se acumulavam no pátio [...] Geralmente, o total de bagaço produzido é 25% do total de cana moída. Em

Mato Grosso do Sul, na última safra, essa produção chegou a 8,4 milhões de toneladas (Biosul, 2013).

Conforme dados apresentados pela associação, em 2011 oito usinas que utilizam a cana-de-açúcar como matéria-prima, cogeraram energia elétrica suficiente para atender à necessidade de mais da metade das residências instaladas no estado.

Entretanto, a eletricidade produzida a partir da biomassa ainda passa por entraves e adequações, que poderão ser superados com a implementação de políticas para o setor.

2.3 A produção de energia autossustentável no Brasil e no estado de Mato Grosso do Sul

A crise energética e o reconhecimento dos impactos causados ao meio ambiente pelo sistema produtivo provocaram o surgimento e a intensificação de iniciativas de produção de energias renováveis, associando tal produção à temática ambiental.

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU) leva em conta que o aquecimento global aponta para a urgência da substituição dos combustíveis fósseis, altamente poluidores, por fontes mais sustentáveis de fornecimento energético.

A Agenda 21, o Protocolo de Kyoto e as normas e legislações aprovadas para garantir tal produção e combater os danos ambientais gerados pelos sistemas produtivos são alguns exemplos dessa consciência em direção a uma mudança de paradigma mundial no que concerne à sustentabilidade e aos cuidados com o planeta.

Havendo consenso geral quanto ao uso de energia de fontes não renováveis, como carvão e petróleo, principais causadores de danos ambientais, na busca de controle da degradação ambiental e de diminuição da emissão dos gases poluentes liberados por essas fontes, as alternativas viáveis são as fontes de energia limpa entre as quais podem-se citar a energia solar, a energia eólica e a energia extraída da biomassa. Como esta última, a energia extraída da biomassa, é o tema a que se dedica a presente pesquisa, é a ela que se dedicará atenção a partir daqui.

Guardabassi (2006) fornece um panorama da utilização de energia produzida a partir de biomassa nos países em desenvolvimento e postula que os resíduos agrícolas são

importantes fontes de energia, servindo para geração descentralizada de calor e trabalho. Na matriz energética brasileira, o bagaço de cana-de-açúcar constitui a biomassa de maior representatividade.

Guardabassi (2006, p. 65) lembra que, durante muitos anos, “desde o início do Proálcool, o bagaço de cana era tido como um subproduto indesejado. Produzido em grandes quantidades e de difícil armazenagem, a queima do bagaço nas caldeiras foi adotada não apenas como solução energética”.

A autora assinala que, nessa época, a grande abundância de energia hidrelétrica levava a uma legislação que não estimulava e praticamente impedia a venda de excedente de energia para a rede, realidade que começou a mudar no ano de 2001, quando o Brasil sofreu grave crise de abastecimento de energia. Essa crise teve como consequência o aumento nos preços da eletricidade, fator que serviu para alertar alguns produtores do setor sucroalcooleiro que já produziam excedentes de eletricidade, de que ali havia um nicho de mercado.

A partir de então, as usinas começaram a trocar equipamentos obsoletos com a intenção de produzir excedentes de eletricidade a serem comercializados. Conforme dados divulgados pela União da Agroindústria Canavieira (UNICA), a potência instalada a partir do bagaço de cana é de 3.500 MW, dos quais 700 MW estavam sendo vendidos para as concessionárias de energia. O setor previa para a safra 2009/2010 a produção de 560 milhões de toneladas de cana, aumentando a potência em 4.000 MW.

Guardabassi (2006) demonstra em sua pesquisa a significativa evolução da venda de excedente de eletricidade do setor sucroalcooleiro no período de 1987 a 2003, na área de concessão da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), onde estão localizadas cerca de 80% das usinas de álcool do estado de São Paulo e cuja produção corresponde a 60% de cana-de-açúcar do país.

A autora considera que o Proinfa também foi um fator importante para essa produção energética, mas entende que os preços oferecidos à energia de biomassa produzida a partir do bagaço de cana não foram interessantes para grande parte dos empresários, que preferiram procurar o mercado atacadista.

Assim, o setor, que possui um grande potencial de geração de energia, utilizando tecnologia comercialmente disponível e tecnologicamente dominada, foi aquele que apresentou o menor número de projetos. De acordo com informações da Eletrobrás, foram contratados 685 MW em projetos de biomassa (incluindo biogás, casca de arroz, madeira e bagaço de cana) (GUARDABASSI, 2006, p. 68).

Segundo a autora, ainda existe espaço para o aprimoramento tecnológico de muitas usinas. Argumenta ela que um assunto apontado como de grande importância para o setor, especialmente por cientistas e acadêmicos, e que vem ganhando força em razão do interesse das usinas pelo mercado de energia e como resultado da preocupação com as questões ambientais, é o uso da palha da cana, cuja queima é uma técnica utilizada na maioria dos países produtores de cana-de-açúcar, como forma de facilitar a colheita.

Ela esclarece que o Decreto Federal 2.661 de 09 de julho de 1998 prevê a eliminação gradual da queima da palha da cana, em áreas mecanizáveis, até 2018 e que, no estado de São Paulo, foi estabelecida legislação que determina a eliminação gradativa da queima de cana, devendo a eliminação nas áreas mecanizáveis ocorrer até 2021 e em áreas não mecanizáveis até o ano de 2031.

Conforme a autora,

[...] a cana não queimada já atinge 24% da produção em São Paulo (MACEDO, 2005). A palha da cana representa de 25% a 30% da energia total contida na planta, ou o equivalente a cerca de 10t/ha/ano de matéria seca (BRAUNBECK; CORTEZ, 2005). Entretanto a colheita da cana crua causa uma série de implicações, cujos efeitos e possíveis soluções estão sendo estudadas (GUARDABASSI, 2006, p. 67).

A autora relata que um dos primeiros estudos na área foi realizado por iniciativa do projeto denominado

BRA/96/G31 – Geração de Energia a partir de Biomassa – Bagaço e Palha de cana-de-açúcar, desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em parceria com a *Swedish National Energy Administration* e a Comissão Europeia, financiado pelo *Global Environment Facility* (GEF) e implementado pelo PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (GUARDABASSI, 2006, p. 69).

Ela destaca que os resultados dos estudos realizados foram conclusivos e que a retirada da palha de cana do campo tem impactos tanto positivos quanto negativos. Como aspectos positivos, a autora salienta a proteção do solo contra erosão; a redução da amplitude da variação térmica do solo; o incentivo ao aumento da atividade biológica; o aumento das taxas de infiltração de água no solo; a redução da evaporação de água do solo e o controle de ervas daninhas, resultando em menor uso ou na eliminação do uso de herbicidas, reduzindo custos e riscos de contaminação humana e ambiental.

Por outro lado, os impactos negativos relacionados pela autora são: os riscos de incêndio após a colheita; a dificuldade para execução de algumas operações agrícolas como o cultivo mecânico, a fertilização de socas e o controle seletivo de ervas daninhas entre a palha; o retardamento ou a falha na brotação com a consequente redução da produtividade devido à temperatura e à umidade do solo e o aumento das populações de pragas que se abrigam e se reproduzem sob a palha.

A autora apresenta ainda em seu trabalho a discussão de estimativas feitas em relação ao aumento dos excedentes de eletricidade para diversos níveis de tecnologias, convencionais ou em desenvolvimento, cujos resultados mostram que a operação com sistemas convencionais de alta pressão, utilizando 40% da palha recuperada, se implantada em 80% dos sistemas, com a produção atual de cana, poderia gerar cerca de 30 TWh de excedentes. Guardabassi defende a gaseificação da biomassa como a mais promissora tecnologia para o aumento da produção de energia:

A tecnologia mais promissora, que conduziria a um aumento considerável da produção de energia elétrica é a gaseificação de biomassa integrada à turbina a gás (BIG/GT). Ainda não existem processos comerciais. A gaseificação de biomassa no setor sucroalcooleiro tem sido intensivamente estudada. (GUARDABASSI, 2006, pp 67-68).

Entretanto, apesar dos estudos realizados em torno de tecnologias mais promissoras visando ao aumento da produção de energia, segundo Tetti (2002), a energia renovável que poderia estar sendo utilizada até então, ainda não estava sendo aproveitada.

Segundo essa autora, o setor canavieiro é autossuficiente em eletricidade, produzindo os recursos energéticos que consome. Argumenta que, com a otimização dos equipamentos existentes nas usinas, quando havia condições de se produzirem 3 mil megawatts com bagaço, produzia-se cerca de 800 megawatts.

A autora criticava a falta de política de venda dessa energia fora do âmbito local e assegurava que o equipamento era utilizado de modo “propositadamente ineficaz, para usar muito bagaço e produzir pouca energia, porque não há política de venda dessa energia para a rede nacional de distribuição” (TETTI, 2002, p. 169).

Ela questionava que, apesar da crise energética e de alguns episódios de falta de eletricidade, ainda se configurava como “uma luta vender eletricidade de um gerador independente na rede nacional de distribuição” (TETTI, 2002, p. 169) e concluía que sem

política pública e sem legislação não seria possível aumentar o potencial energético da cana-de-açúcar.

Campos e Campos (2004) também discutiram que, no Brasil, pouca atenção tem sido dada às formas com que os fluxos energéticos se distribuem nos sistemas produtivos e que o setor agropecuário tem voltado a atenção para novas fontes de energia visando à racionalização do uso de energia fóssil ou elétrica. Argumentaram, entretanto, que a agricultura tem se desenvolvido baseada na utilização de máquinas agrícolas, com consequente uso de combustíveis fósseis, e emprego de fertilizantes derivados do petróleo.

Os autores realizaram um balanço com o objetivo de determinar pontos de estrangulamento energético presentes nas tecnologias poupadoras de energia, especialmente aquelas de origem fóssil como combustíveis, fertilizantes, agrotóxicos e energia despendida na fabricação das máquinas e implementos. Eles concluíram que, no Brasil, a região Sul destaca-se pelo volume de trabalhos que buscam uma agricultura mais autossustentável do ponto de vista da utilização da energia. Os autores defendem a necessidade de análises de estudos em balanço energético no Brasil e no mundo como uma ferramenta de indicação de sustentabilidade dos sistemas agropecuários, em vista da possibilidade de futuras crises energéticas.

Dantas Filho (2009) elegeu como critério selecionar usinas que fossem autossustentáveis, ou seja, aquelas em que toda energia consumida deveria ser produzida a partir do bagaço de cana. Além disso, o excedente energético produzido deveria estar sendo vendido para a concessionária responsável pela distribuição de energia na região.

Para o autor, a produção de energia a partir do bagaço de cana possui vantagens econômicas, e a principal delas é que esse processo pode tornar-se uma terceira fonte de receita das usinas que a utilizam, podendo gerar ainda a possibilidade de uma quarta fonte de renda, qual seja, a da emissão de créditos de carbono sob as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), uma vez que esses créditos são comercializáveis em bolsas de valores.

Dantas Filho (2009) considerou que o custo da amostra das empresas analisadas indica que a geração de energia elétrica por meio do bagaço de cana tornou-se um produto técnica e economicamente viável e atrativo para elas e concluiu que os custos da energia assim produzida tendem a cair com o aprendizado e o aumento da escala de produção.

Em Mato Grosso do Sul, o crescimento da atividade industrial levou ao consequente crescimento de impactos ambientais causados pelo crescimento da população e pela urbanização desordenada, além do consumo e desperdício de energia e processos industriais mal planejados.

Esses fatores geraram a demanda de pesquisas sobre o monitoramento da atmosfera e da qualidade do ar nas últimas décadas, que se tornou fator relevante na busca da preservação do meio ambiente e na implantação de modelos de desenvolvimento sustentável.

Okano (2004) postula que a crescente necessidade de produção leva o homem ao aprimoramento e à racionalização da transformação dos materiais. Sua pesquisa de mestrado teve por objetivo avaliar as concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrogênio (NO), óxidos de nitrogênio (NO₂ e NO_x) e o nível de ruído produzido em uma caldeira flamotubular horizontal com retorno de chama a óleo combustível BPF 2A, que atende à lavanderia, à cozinha e à esterilização de equipamentos cirúrgicos do Hospital Universitário da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande.

Entre as recomendações de seu trabalho a fim de melhorar a eficiência da caldeira e minimizar o impacto ambiental, pela redução de poluentes atmosféricos, constava a substituição do óleo combustível por gás natural.

A substituição do óleo combustível também foi objeto da pesquisa de mestrado de Moreira (2005), que teve o propósito de avaliar a emissão de equipamento que então já operava movido a gás natural. Moreira argumenta que a crise energética transformou o Brasil em um grande mercado para uso de fontes de energias alternativas e, à época da realização de sua pesquisa, a que mais vinha recebendo investimentos era o uso do gás natural, importado da Bolívia, via gasoduto Brasil-Bolívia. Postulava, então, que a utilização do gás natural se tornara realidade, passando a ser uma nova opção para os processos de geração de vapor.

Assim, considerando que a adoção de medidas mais limpas começou a viabilizar-se no estado de Mato Grosso do Sul a partir da passagem do gasoduto Brasil-Bolívia e que a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) optou pela troca do combustível que movia a caldeira do Núcleo Hospital Universitário (NHU/UFMS), a pesquisa da autora teve como objetivo identificar a emissão de gases e concentrações de poluentes bem como avaliar os níveis gerados pela caldeira.

A autora utilizou os indicadores selecionados por Okano (2004) e na análise comparativa dos resultados concluiu que a troca de combustível garantiu vantagens como

diminuição do número de manutenções, aumento da vida útil do equipamento, dispensa de estoque, entre outros.

Por meio da revisão bibliográfica aqui apresentada, pode-se considerar que o uso de fontes de energia alternativa vem se consolidando no planeta e não é diferente no Brasil, país que conta com grande quantidade de fontes primárias renováveis. Viu-se também que o custo da geração de energia por meio do bagaço de cana tornou-se economicamente viável e atrativo e, conforme aponta Dantas Filho (2009), tende a cair com o aprendizado e o aumento da escala de produção.

Silva (2011) discute que, apesar das vantagens acima elencadas, os projetos de cogeração no Estado de Mato Grosso do Sul ainda encontram significativas dificuldades. O autor esclarece que, no Estado, o processo de cogeração pode ser observado em dois períodos: até 2004, quando o modelo do setor elétrico brasileiro inviabilizava a venda de excedentes de energia elétrica por unidades cogeradoras, e após 2004 quando se adotou o novo modelo e a energia elétrica passou a ser comercializada em leilões:

No primeiro período, existia em Mato Grosso do Sul nove usinas de açúcar/álcool com unidades de cogeração de energia elétrica. A cogeração nessas unidades se limitava a produzir energia elétrica apenas para ser consumida na própria usina, com centrais geradoras projetadas para gerar energia elétrica através de caldeiras de baixa pressão, fornecendo vapor para turbinas de baixo rendimento. A primeira tentativa de alterar essa condição surgiu em 2002, quando o governo federal instituiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa. Era uma oportunidade de se realizar *retrofit* das caldeiras, que passariam a fornecer vapor a alta pressão para turbinas de alto rendimento. Essa condição possibilitaria a produção de energia para exportação à rede elétrica (SILVA, 2011, p. 8).

O autor explica que no cálculo do custo de energia para a biomassa, nesse programa, não foi incluído o custo de conexão ao Sistema Interligado Nacional, isto é, das linhas de transmissão e possíveis ampliações nas subestações de conexão e, dessa maneira, o preço contratado pela energia inviabilizou a produção dos agentes. Além disso, esclarece que

também nos três primeiros anos de vigência do novo modelo de comercialização brasileiro, os empreendedores que estavam construindo usinas de açúcar e álcool em Mato Grosso do Sul não conseguiram viabilizar projetos de cogeração para exportação de energia elétrica para a rede. Apenas a partir dos leilões específicos para Fontes Alternativas e para Energia de Reserva, é que as novas usinas conseguiram vencer os leilões no mercado regulado. A Tabela 4 ilustra a participação dos empreendimentos de

Mato Grosso do Sul nos leilões da Aneel. Apesar de nenhuma das usinas cadastradas no oitavo leilão de energia nova e no segundo leilão de fontes alternativas conseguir espaço no mercado regulado, a participação de Mato Grosso do Sul pode ser considerada positiva. As nove usinas de fonte de biomassa do estado que venceram os leilões entre 2007 e 2010 acrescentarão 720 MW de potência ao sistema interligado. Mas há uma dificuldade maior para a inserção da energia elétrica oriunda de projetos de cogeração pela biomassa na matriz elétrica do estado de Mato Grosso do Sul, que é o seu próprio sistema elétrico. O sistema elétrico de Mato Grosso do Sul é caracterizado por linhas de distribuição que atravessam uma grande extensão territorial com pontos de cargas esparsos. Operam no estado duas concessionárias de distribuição e duas de transmissão. Na distribuição, a Empresa Energética de Mato Grosso do Sul (Enersul) é responsável por uma área de concessão que corresponde a 92% da área total do estado. A área restante, que corresponde a cinco municípios do estado situados na fronteira com o estado de São Paulo, fazem parte da área de Concessão da Elektro Eletricidade e Serviços S.A. (SILVA, 2011, p. 9).

Como se vê, graças a um conjunto em que se combinaram medidas legais e o acúmulo de conhecimentos que tiveram o aporte de pesquisas científicas realizadas nos últimos anos, houve uma reversão do cenário em que num passado recente a palha oriunda da cultura da cana-de-açúcar era queimada.

Essa reversão de cenário configura-se pelo uso crescente da biomassa, que gera em torno de 95 kWh/t, e da palha, que gera 45kWh/t, totalizando conjuntamente, bagaço e palha da cana, mais de 145 kwh/t.

Outra mudança significativa nesse processo está presente nas caldeiras do passado, que geravam menos energia que as atuais e vêm experimentando novas possibilidades em sua alimentação.

Nesse cenário de mudança, o estado de Mato Grosso do Sul figura entre os maiores produtores de cana-de-açúcar do país e, segundo Roberto Holanda Filho, atual presidente da Associação dos Produtores de Bioenergia de MS (BioSul), cultiva hoje mais 700.000 ha de cana-de-açúcar.

É importante atentar que as previsões para a safra brasileira de 2014 estimam o plantio de 10.000.000 ha, tornando-se fundamental a busca da autossuficiência em energia renovável, principalmente a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

O presente trabalho insere-se nesse contexto em que a busca da sustentabilidade demanda por estudos e pesquisas sobre os níveis e a qualidade do ar dessa importante fonte energética.

Entretanto, mesmo considerando que o uso da biomassa faz parte do conceito de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), há que se reconhecer que é preciso monitorar seus impactos na saúde humana e no meio ambiente.

Como a cultura da cana-de-açúcar cresce de forma vertiginosa em Mato Grosso do Sul, com altas produções de açúcar e álcool e a posterior cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar, estudos e pesquisas sobre essa cultura tornam-se de fundamental importância não só nos aspectos agrônômicos, mas também naqueles industriais, para suprir a atual inexistência de dados e ou estudos, como o pretendido no presente trabalho.

Cabe, portanto, à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), continuar o papel de pautar-se pela vanguarda nas questões técnicas, contribuindo para o estabelecimento de normas e procedimentos nas questões operacionais e regulatórias dessa nova matriz energética que é a cana-de-açúcar em seus vários aspectos.

Os produtos resultantes desse trabalho deverão contribuir no contexto regional para a criação de estratégias de apoio à produção de fontes renováveis de energia; colaborar para a redução dos impactos ambientais e cooperar com fundamentos para a criação de uma base legal em que sejam estabelecidos normas e procedimentos de geração de energia sustentável em Mato Grosso do Sul.

3 A COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Antes de passar ao tema aqui anunciado, qual seja, a cogeração de energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar, é preciso contextualizar o tema da cogeração de eletricidade no Brasil, que iria promover o desenvolvimento de tal tecnologia no setor sucroalcooleiro.

A cogeração de eletricidade pode ser definida como a produção combinada de calor útil e trabalho mecânico, convertido integral ou parcialmente em energia elétrica por meio do aproveitamento total ou parcial de resíduo energético produzido, considerando a demanda de diversos setores da economia tanto de calor como de eletricidade.

Os sistemas de cogeração representam uma alternativa eficiente, frente aos sistemas produtivos tradicionais já citados desde a início deste estudo. A introdução e o desenvolvimento dessa tecnologia no setor industrial devem-se a suas inquestionáveis vantagens, como ser um processo energético baseado em centrais térmicas que produzem vapor e eletricidade, que são depois utilizados para o consumo.

Segundo a Comissão de Serviços Públicos de Energia – CSPE (2004), a atividade de cogeração possibilita a otimização energética na produção concomitante de energia elétrica e calor útil, destinados a processos industriais e outras aplicações, com consequente redução no consumo de combustíveis fósseis.

A cogeração de energia foi regulamentada no Brasil a partir do decreto-lei nº. 1872, de 21 de maio de 1981, que permitia aos concessionários de serviço público de eletricidade adquirir energia elétrica excedente gerada por autoprodutores, por meio da utilização de fontes energéticas que não empregavam combustíveis derivados de petróleo.

A eletricidade excedente prevista no decreto consistia na diferença entre geração de energia elétrica obtida pela plena utilização da capacidade instalada pelo autoprodutor e seu consumo próprio. Em situações de escassez de energia elétrica, excepcionalmente, poderia ser determinado aos autoprodutores o suprimento compulsório dessa energia aos concessionários de serviços públicos de eletricidade.

A partir de 1995, com a nova regulamentação da indústria de eletricidade, surgiram novos agentes no setor, e o decreto nº. 2003, de 10 de setembro de 1996, estabeleceu nova regulamentação da produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor.

A cogeração seria explorada no país, pelo setor industrial, com foco na autossuficiência energética, sobretudo considerando os ganhos econômicos resultantes desse processo. Os segmentos industriais que empregam a tecnologia de cogeração são o sucroalcooleiro, o de celulose e papel, o siderúrgico e o de refino de petróleo, e, de acordo com Oliveira (2007), a energia de cogeração, oriunda de pequenas centrais termelétricas, pode ser vista como complemento de infraestrutura importante nas áreas agrícolas, urbanas e industriais, por expandirem, em prazo relativamente curto, a oferta de eletricidade, especialmente no setor sucroalcooleiro.

3.1 O processo de cogeração de energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar

O processo de cogeração de energia no setor sucroalcooleiro consiste em aproveitar o vapor produzido (energia térmica) pela queima do bagaço em caldeiras, para movimentar conjuntos de geradores de energia elétrica, que Oliveira (2007), assim ilustra, de forma simplificada.

Desde que a agroindústria canavieira foi introduzida no Brasil, como já foi destacado no capítulo 3, quatro séculos transcorreram para que o bagaço de cana moída fosse utilizado nos engenhos como combustível.

O bagaço de cana era tratado como resíduo industrial e incinerado nas próprias unidades sucroalcooleiras para a geração de vapor, sem que se concebesse que o bagaço fosse um combustível com propriedades adequadas para a geração de energia. Ao contrário, as caldeiras utilizadas nas usinas eram desenvolvidas para consumir o máximo possível de bagaço, minimizando o transtorno que esse resíduo então trazia para a unidade fabril.

Atualmente, a geração de energia é praticada por todas as unidades sucroalcooleiras no país, embora os investimentos necessários à implantação de energia de cogeração ainda sejam inferiores aos necessários para a produção de energia hidráulica.

A cogeração de energia a partir do bagaço de cana, a biomassa de cana-de-açúcar, traz diversas vantagens para os distintos atores envolvidos na política energética brasileira. Entre eles, Oliveira (2007) destaca: o setor elétrico, por colaborar na garantia de geração de eletricidade, em particular no período seco; o setor sucroalcooleiro, por permitir a diversidade da produção; e a sociedade, pelas vantagens ambientais e sociais, incluindo geração de

empregos na zona rural, aumento da arrecadação de impostos e dinamização do setor de bens de capital.

Além disso, como já apontado desde a introdução, a cogeração a partir do bagaço de cana traz vantagens ao meio ambiente por substituir o uso de combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, por combustível renovável, como a biomassa, contribuindo para a redução da emissão dos GEE. A característica da renovabilidade da energia cogerada por biomassa tende a facilitar a execução de projetos sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto e a gerar Redução Certificada de Emissão (RCE) para empresas do setor sucroalcooleiro.

3.2 Os sistemas de cogeração com utilização da biomassa da cana-de-açúcar

Nos sistemas de cogeração de energia, o vapor é produzido pelas caldeiras aquatubulares, onde o bagaço da cana-de-açúcar é usado como o combustível principal. O desempenho dessas caldeiras tem crescido desde a década de 1940, mas, se for comparado a outras caldeiras usadas para papel e celulose, seu resultado é tímido. É necessário que o governo brasileiro incentive o uso de energia renovável e a posterior venda dessa energia às redes nacionais. Assim, os grandes fabricantes de caldeiras investirão em desenvolvimento de novas tecnologias, melhorando ainda mais os desempenhos.

Na geração de vapor a partir do bagaço da cana-de-açúcar, que é uma matéria-prima com altos teores de umidade, sua queima sempre é mais difícil, sempre é preciso usar caldeiras de altos níveis de pressão e temperatura que permitam usar toda a eficiência no sistema de cogeração denominadas supercríticas.

Essas caldeiras são projetadas para operar com pressões críticas e evitar o superaquecimento dos tubos e a deposição de sólidos que fazem parte do bagaço de cana-de-açúcar.

As caldeiras flamotubulares ou fogotubulares são aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes) circulam no interior dos tubos, ficando a água por fora.

3.3 Caldeiras aquatubulares

Com base nos princípios da termodinâmica e na experiência com os tipos de caldeiras flamotubulares, em que os gases da combustão (gases quentes) circulam no interior dos tubos, ficando a água por fora, os fabricantes resolveram inverter o processo, ou seja, trocaram os tubos de fogo por tubos de água, aumentando, assim, em muito a superfície de aquecimento, o que fez surgir a caldeira aquatubular (água dentro do tubo).

A obtenção de maiores produções de vapor, a pressões elevadas e altas temperaturas, somente foi possível com o aparecimento das caldeiras aquatubulares (tubos de água). O fato de os tubulões estarem situados fora dos corpos das caldeiras, a eles se unindo para constituírem um feixe tubular de água que compõe a parte principal de absorção de calor, permite a obtenção de grandes superfícies de aquecimento.

Essas caldeiras trabalham com pressões de 8,0 até 120 kg/cm² ou 8 a 120 bar, com taxas de evaporação de 30 a 45 kg/m², dependendo da configuração das caldeiras. No caso das usinas produtoras de álcool, açúcar e bioenergia, as caldeiras são concebidas para trabalhar com pressões entre 48 até 72 bar.

Na Figura 3, visualiza-se uma caldeira aquatubular, onde a água é vaporizada nos tubos que constituem a parede mais interna, subindo ao tambor de vapor e dando lugar a nova quantidade de água fria, que será vaporizada e assim sucessivamente.



Figura 3 – Esquema de uma caldeira aquatubular
Fonte: Centro Federal de Tecnologia de MG (2012).

A flexibilidade permitida pelo arranjo dos tubos que constituem os feixes ou parede d'água possibilita uma vasta variedade de tipos construtivos de caldeiras aquatubulares, de tubos retos, podendo, os tambores estarem colocados no sentido longitudinal ou transversal; de tubos curvos, que podem apresentar de um a mais de quatro tambores, no sentido longitudinal ou transversal; e de caldeiras aquatubulares de circulação positiva.

3.4 Aspectos ambientais da cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar, outrora classificada como exploratória dos recursos naturais e sociais, poluidora ambiental e extremamente predatória, hoje é vista como uma cultura que almeja a sustentabilidade.

Por conta dessa nova premissa de sustentabilidade, discorrer-se-á sobre os aspectos ambientais da cultura da cana-de-açúcar, chegando-se até o objetivo deste trabalho, que é a medição da emissão dos gases do efeito estufa em uma usina de cana-de-açúcar, cuja meta é produzir etanol, açúcar e cogeração de energia elétrica.

Como citado anteriormente, a cultura da cana-de-açúcar ocupa hoje em Mato Grosso do Sul uma área significativa, conseqüentemente, existe a preocupação com seus possíveis e novos impactos ambientais no estado. Conforme relatório da BioSul (2013), como a cana-de-açúcar ocupa hoje algo em torno de 23% de área plantada, esses possíveis novos impactos ambientais precisam ser estudados e analisados. Eles podem ser: o uso da água, o uso dos fertilizantes, o uso dos agrotóxicos e suas embalagens vazias, o destino da vinhaça e as queimadas oriundas da colheita manual, neste caso a Biosul informa que apenas 7,0% da produção estadual ainda não é mecanizada. Também impactam o meio ambiente os resíduos da etapa industrial, como o uso da água em seus vários fluxos; a torta dos filtros das moendas; a queima do bagaço da cana-de-açúcar e os resíduos das peneiras; as cinzas das caldeiras e dos lavadores de gases, além da poluição atmosférica oriunda dos gases do efeito estufa e da poluição sonora no entorno das caldeiras.

Qualquer estudo voltado para os aspectos ambientais da cultura da cana-de-açúcar, deve, prioritariamente, considerar a Resolução Conama nº. 001/86 (BRASIL, 1986), que define que qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio

ambiente é considerado impacto ambiental. Dessa forma, a medição das emissões dos gases do efeito estufa tem por objetivo avaliar os efeitos que tais emissões possam causar ao meio ambiente.

O meio atmosférico é motivo de inúmeras discussões por conta de sua grande influência nas mudanças climáticas e devido às dispersões dos gases do efeito estufa nele efetuadas. O número de variáveis complexas quanto a um possível dano ambiental cresce consideravelmente, tais como o clima, já citado, a biota, a geomorfologia e outros aspectos.

Os principais parâmetros de verificação dos aspectos ambientais do meio atmosférico é a qualidade do ar, seja via análise de seus poluentes, todos previstos em legislação e os gases do efeito estufa (GEE), estes mais relacionados ao fenômeno de aquecimento global, segundo o IPCC.

Expressiva maioria dos poluentes é oriunda da combustão incompleta, na qual não há o devido suprimento de oxigênio, para que ocorra de forma completa. Quando um hidrocarboneto queima em oxigênio, a reação gerará dióxido de carbono, monóxido de carbono, água e vários outros compostos como os óxidos de nitrogênio. A combustão incompleta é muito mais comum que a completa e produz um grande número de subprodutos, estes, sim, muito prejudiciais à saúde do homem, da fauna e da flora e, conseqüentemente, do meio ambiente.

Já quanto aos gases do efeito estufa, faz-se necessário avaliação e quantificação de emissões de origem antrópica, usando metodologias do IPCC, criadas em 1988 e revisadas em 1996, e que abrangem os seguintes gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOCs). As diretrizes do IPCC dividem as metodologias desses gases em seis setores principais da economia – o energético, o industrial, o de solventes, o agropecuário, o de mudanças dos usos da terra e florestas e os de tratamentos de resíduos.

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), o ar atmosférico é constituído por uma mistura de gases, principalmente nitrogênio (78,10%), oxigênio (20,92%), argônio (0,93%) e dióxido de carbono (0,03%). Além desses, encontram-se o hidrogênio, o metano, o óxido nitroso e gases nobres, como o neônio, o hélio e o criptônio. O ar contém ainda vapor d'água, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, amônia, monóxido de carbono, partículas sólidas em suspensão e outros componentes, em concentrações variáveis, em função das atividades desenvolvidas pelo homem.

A própria Cetesb em suas resoluções e também o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) em sua Resolução 003/1990 (BRASIL, 1990) define como poluente atmosférico qualquer substância presente no ar e que, por sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem-estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar, os poluentes são divididos em duas categorias:

- 1) poluentes primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão;
- 2) poluentes secundários: aqueles formados na atmosfera pela reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

O material Particulado (MP), as partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10), partículas inaláveis finas (MP2,5) e fumaça (FMC) são parte dos poluentes secundários.

Sob a denominação geral de material particulado, encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também formar-se na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

O tamanho das partículas está diretamente associado a seu potencial para causar problemas à saúde: quanto menores, maiores os efeitos provocados.

O material particulado, que pode também reduzir a visibilidade na atmosfera, é classificado como:

- 1) Partículas Totais em Suspensão (PTS): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm . Uma parte dessas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde; outra parte pode afetar

desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade;

- 2) Partículas Inaláveis (MP10): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm . Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 μm , podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares;
- 3) Partículas Inaláveis Finas (MP2,5): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 2,5 μm . Devido a seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares;
- 4) Fumaça (FMC): está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a esse parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera;
- 5) Dióxido de Enxofre (SO_2): resulta principalmente da queima de combustíveis que contêm enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. É um dos principais formadores da chuva ácida. O dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes no ar, formando partículas de sulfato responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera.
- 6) Monóxido de Carbono (CO): é um gás incolor e inodoro que resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa, etc.). Em geral é encontrado em maiores concentrações nas cidades, emitido principalmente por veículos automotores. Altas concentrações de CO são encontradas em áreas de intensa circulação de veículos;
- 7) Ozônio (O_3) e Oxidantes Fotoquímicos: “Oxidantes fotoquímicos” é a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e na evaporação de combustíveis e solventes. O principal produto dessa reação é o ozônio, por isso mesmo utilizado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera. Tais poluentes formam a chamada névoa fotoquímica ou “*smog* fotoquímico”, que possui esse nome porque causa na atmosfera diminuição da visibilidade. Além de prejuízos à saúde, o ozônio

pode causar danos à vegetação. É sempre bom ressaltar que o ozônio encontrado na faixa de ar próxima do solo, onde respiramos, chamado de “mau ozônio”, é tóxico. Entretanto, na estratosfera (a cerca de 30 km de altitude), o ozônio tem a importante função de proteger a Terra, como um filtro, dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol;

- 8) Hidrocarbonetos (HC): são gases e vapores resultantes da queima incompleta e da evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Diversos hidrocarbonetos, como o benzeno, são cancerígenos e mutagênicos, não havendo uma concentração ambiente totalmente segura. Participam ativamente das reações de formação da “névoa fotoquímica”;
- 9) Óxido de Nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO₂): são formados durante processos de combustão. Em grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio. O NO, sob a ação de luz solar, transforma-se em NO₂ e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO₂ causa prejuízos à saúde;
- 10) Condições Meteorológicas: a concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas. Alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas a baixa altitude. Esse fenômeno é particularmente comum no inverno paulista, quando as noites são frias e a temperatura tende a elevar-se rapidamente durante o dia, provocando alteração no resfriamento natural do ar. A inversão térmica caracteriza-se por uma camada de ar quente que se forma sobre a cidade, “aprisionando” o ar e impedindo a dispersão dos poluentes. Problemas decorrentes da baixa umidade do ar e da alta concentração de poluentes acontecem frequentemente no inverno, quando em dias com baixa umidade do ar e alta concentração de poluentes, é comum ocorrerem complicações respiratórias devido ao ressecamento das mucosas, provocando sangramento pelo nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos.

Ainda sobre poluentes atmosféricos, e segundo Okano (2004), os principais poluentes atmosféricos e seus tempos de permanência na atmosfera e concentrações típicas de poluentes do ar estão Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de permanência e concentrações de poluentes

Poluente	Tempo de permanência	Concentração típica (ppm)	
		Ar limpo	Ar poluído
SO ₂	4 dias	0,0002	0,2
H ₂ S	< 1 dia	0,0002	-
CO	< 3 anos	0,1	40 - 70
NO/NO ₂	5 dias	<0,002	0,2
Hidrocarbonetos	-	<0,001	-
CO ₂	2 a 4 anos	340	400
O ₃	14 a 21 dias	0,03	0,5

Fonte: Okano (2004)

3.5 Classificação dos poluentes atmosféricos das fontes poluidoras do ar

Os poluentes podem ser divididos em primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles liberados diretamente das fontes de emissão, que são veículos e motores estacionários a gasolina, diesel, oriundos de combustíveis fósseis, dos processos industriais, das queimas de dejetos e resíduos sólidos, decomposição de materiais orgânicos, podem ser como o dióxido de enxofre (SO₂), o sulfeto de hidrogênio (H₂S), óxidos de nitrogênio (NO_x), a amônia (NH₃), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂) e também o metano (CH₄).

Os poluentes secundários são aqueles formados na atmosfera a partir de reações químicas entre os poluentes primários. Destacam-se o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o ácido sulfúrico (H₂SO₄), o ácido nítrico (HNO₃), o trióxido de peroaceticila, sendo os dois últimos os mais prejudiciais à saúde humana e à vegetação, porque formam radicais livres que atacam os seres vivos.

Os poluentes SO₂ e o NO₂, quando se difundem na atmosfera, podem reagir com a água e formar a chuva ácida, que prejudica a vegetação e acarreta outros inúmeros danos, como a corrosão de materiais.

Os nitratos, produtos da dissociação do NO_x pela água, são considerados nutrientes, mas em excesso ocasionam a eutrofização de corpos de água.

Em adição a esses poluentes, há ainda hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis (COVs), mercúrio (Hg), e material particulado (MP), que corresponde às partículas em suspensão com diâmetro menor que 50µm. Essas partículas podem conter elementos tóxicos como o arsênico (As), o chumbo (Pb), o cobre (Cu) e o níquel (Ni) e também aerossóis emitidos pela combustão.

A fisiologia vegetal descreve que, em geral, os poluentes são absorvidos pelas plantas através dos seus poros, denominados estômatos, existentes na superfície das folhas e que permitem as trocas gasosas entre a planta e o meio ambiente. Dentre todos os poluentes gasosos citados, destacam-se alguns que são mais tóxicos às plantas (SO_2 , NO_x e O_3 troposférico). O SO_2 é considerado um dos poluentes mais tóxicos às plantas, podendo ser absorvido tanto pelas raízes quanto pelos estômatos. Quando absorvido pelos estômatos, o gás é dissolvido em água, resultando na formação de dois compostos, o sulfeto de hidrogênio e o sulfito, estes são foto oxidados a sulfato, um composto menos tóxico para a planta. O NO_x é absorvido pelos estômatos e, no interior da folha, pode reagir com a água formando o ácido nítrico ou nitroso, que são dissociados em nitrato e nitrito, acidificando os espaços internos da folha. O nitrato, que está disponível no solo, também pode ser absorvido pelas raízes. O O_3 entra nas folhas pelos estômatos durante as trocas gasosas; sendo um gás altamente reativo, é rapidamente decomposto, formando o oxigênio molecular e os peróxidos, que afetam primeiramente a membrana plasmática e, posteriormente, todas as biomembranas.

Segundo a Cetesb, os padrões e os índices do ar são definidos de forma legal como o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama) e aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), por meio da Resolução Conama 03/90. São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários. Como prevê a própria Resolução Conama nº. 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que, enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários.

Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar são apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Padrões nacionais de qualidade do ar

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Partículas inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	Separação inercial/filtração
Fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150 60	100 40	Refletância
Dióxido de enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	Pararosanilina
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	Quimiluminescência
Monóxido de carbono	1 hora ¹ 8 horas ¹	40.000 35 ppm 10.000 9 ppm	40.000 35 ppm 10.000 9 ppm	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora ¹	160	160	Quimiluminescência

Fonte: Resolução Conama (BRASIL, 1990).

A mesma resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

A legislação estadual de São Paulo (DE 8468 de 08/09/76) também estabelece padrões de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar, mas abrange um número menor de parâmetros. Os parâmetros fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio não têm padrões e critérios estabelecidos na legislação estadual. Os parâmetros comuns às legislações federal e estadual têm os mesmos padrões e critérios, com exceção dos critérios de episódio para ozônio. Nesse caso, a legislação estadual é mais rigorosa para o nível de atenção ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Além dos poluentes para os quais foram estabelecidos padrões de qualidade do ar, a Cetesb monitora outros parâmetros, como os compostos de Enxofre Reduzido Total (ERT).

Tabela 3 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
Monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400*	800	1.000

* O nível de atenção é declarado pela Cetesb com base na legislação estadual, que é mais restritiva (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Fonte: Cetesb (Resolução Conama n°. 03 de 28/06/90).

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Utilizado desde 1981, foi criado tendo como base uma longa experiência desenvolvida no Canadá e nos Estados Unidos.

Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice da Cetesb, são:

- dióxido de enxofre (SO₂);
- partículas totais em suspensão (PTS);
- partículas inaláveis (MP10) – fumaça (FMC);
- monóxido de carbono (CO);
- ozônio (O₃);
- dióxido de nitrogênio (NO₂).

Para cada poluente medido, é calculado um índice. De acordo com o índice, o ar recebe uma qualificação, uma espécie de nota, obtida conforme apresentado na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 – Qualificação de poluente

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Fonte: Cetesb, 2004.

Para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. Essa qualificação do ar está associada a efeitos sobre a saúde, independentemente do poluente em questão, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Qualificação do ar

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Há efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: Cetesb, 2004.

Individualmente, cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde da população para faixas de concentração distintas, identificados por estudos epidemiológicos desenvolvidos dentro e fora do país. Tais efeitos sobre a saúde requerem medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada.

3.6 Efeitos da poluição atmosférica

O problema da poluição do ar é intenso nas grandes cidades, especialmente naquelas localizadas nos países em desenvolvimento. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), dados obtidos no Sistema Global de Monitoramento Ambiental (GEMS), 1,6 bilhão de pessoas corre riscos de saúde em consequência da poluição do ar.

Segundo Lora (2000), a geração de energia e a metalurgia constituem as atividades econômicas que contribuem com maior quantidade de poluentes gasosos à atmosfera. Os principais efeitos da poluição do ar são danos à saúde de seres humanos e animais, à vegetação e aos materiais, alterações do clima, prejuízos à visibilidade e radiação solar.

De maneira geral, pode-se compreender resumidamente os principais efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana, a vegetação e as edificações da seguinte maneira: na saúde humana, os efeitos da poluição apresentam-se na forma de irritantes pulmonares (O_3 , SO_2 , Cl_2 , NO_x), que atacam os pulmões e o trato respiratório, e de asfixiantes (CO , H_2S), que causam asfixia quando em grande quantidade. Na vegetação, os efeitos da poluição (particulados e SO_2) alteram a fotossíntese e destroem as folhas; nas edificações, SO_2 , Cl_2 , NO_x corroem metais e atacam mármore e paredes.

3.7 Impactos de caráter regional

Quando a atmosfera fica extremamente estável, há a ocorrência do principal impacto de caráter regional, que é o fenômeno denominado inversão térmica, muito observado no hemisfério sul, nos meses de maio a setembro.

Trata-se da conjunção de alguns fatores meteorológicos e climáticos que favorecem a estagnação atmosférica, dificultando a diluição dos poluentes. A intensiva redução das correntes convectivas verticais deve-se à ocorrência de determinado perfil vertical de distribuição de temperaturas, que induz à permanência prolongada das camadas mais frias em níveis próximos à superfície da terra, especialmente nas noites e manhãs de dias frios e ensolarados. A ausência de correntes horizontais contribui para o agravamento do problema. O solo resfria-se mais rapidamente que as camadas de ar que estão em contato com ele nas noites frias de inverno, interrompendo a circulação convectiva vertical. A inversão térmica

persiste normalmente até por volta das 10 ou 11 horas da manhã, quando ocorre o aquecimento da superfície e se iniciam as trocas convectivas (movimento vertical).

Na inversão térmica, a camada da atmosfera onde os poluentes ficam restritos é chamada de camada da mistura ou, ainda, de camada de estagnação. A altura dessa camada é determinada pela atitude em que ocorre a inversão do perfil de temperaturas, ou seja, onde a temperatura do ar passa a diminuir com a altitude, tal como nas situações da Figura 4. Normalmente, os valores mínimos, e mais preocupantes, da altura da camada de estagnação ocorrem no Brasil entre os meses de maio a setembro, com médias mensais em torno de 500m. A condição do ar pode mudar em função dessas condições adversas, que diminuem maior ou menor diluição dos poluentes. E é em consequência disso que ela piora durante o inverno, quando as inversões térmicas e a ausência de correntes horizontais são mais frequentes.

Para uma explicação mais didática, o fenômeno é comparável ao de uma panela tampada: os poluentes emitidos durante o período de subsidência permanecem ali, sem diluição, “cozinhando” em reações fotoquímicas. A renovação do ar se dá, por meio de um fenômeno conhecido como convecção. Uma das características meteorológicas mais importantes na dispersão de poluentes do ar é a estabilidade atmosférica, a qual está associada aos movimentos ascendentes e descendentes de volume de ar.

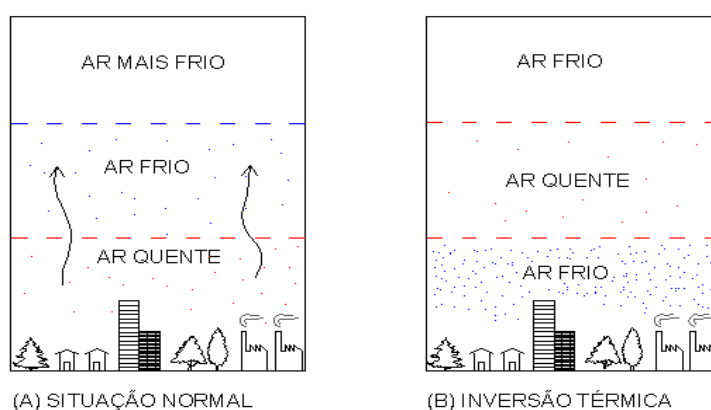


Figura 4 – Temperatura
Fonte: Mota (1997).

3.8 Impactos de caráter global

Segundo Mota (1997), os principais fatores do agravamento da poluição atmosférica em caráter global são: efeito estufa, destruição da camada de ozônio, chuvas ácidas e *smog* fotoquímico.

Segundo Leme (2005), o efeito estufa é a capacidade natural que a atmosfera tem de reter parte da energia irradiada pelo sol, de forma que ela não seja dissipada rapidamente para o espaço. O efeito estufa é um fenômeno natural que depende essencialmente das concentrações de cada um dos gases de efeito estufa na atmosfera. Os gases presentes na atmosfera precisam ser transparentes à radiação eletromagnética na faixa da luz visível, ao mesmo tempo em que refletem a radiação eletromagnética na faixa de frequências do infravermelho, daí serem denominados gases do efeito estufa. Os mais importantes desses gases são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os clorofluorcarbonos (CFCs). Com a atividade humana intensificada, a Revolução Industrial interferiu direta e significativamente, bem como o uso intensivo do solo, o desmatamento, o uso intensivo dos combustíveis fósseis e outros processos industriais. Enfim, os gases acabam alterando o clima em virtude das ações humanas que culminam nas mudanças climáticas que têm impacto global.

Os maiores poluentes responsáveis pelo efeito estufa, que têm influência global, segundo Goldemberg (1989), são:

- dióxido de carbono (CO_2): responsável por 55% do fenômeno;
- metano (CH_4): responsável por 13%;
- clorofluorcarbonos (CFCs): responsável por 20%;
- óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3) e outros: responsáveis por 10% do fenômeno.

Na relação das atividades que mais contribuem para o efeito estufa, destacam-se a queima de combustível fóssil, em que se pode medir e monitorar o CO_2 , e o desflorestamento, a segunda maior fonte de emissões do CO_2 . Já o metano, o segundo gás mais importante, é emitido pelo cultivo de algumas culturas, por animais domesticados, como os bovinos, e pela disposição e tratamento de lixo e resíduos sólidos. As emissões do metano são geralmente estáveis ou decrescentes nos países desenvolvidos e seu controle não parece representar um desafio. O óxido nitroso é emitido principalmente pelo uso dos fertilizantes químicos na

agricultura. Tal como no caso do metano, suas emissões, apesar de caráter global, são estáveis ou decrescentes nos países desenvolvidos e semelhantes na dificuldade de serem medidos.

Faz-se necessário apresentar alguns impactos causados pelo efeito estufa, bem como mostrar o fenômeno de forma simplificada na Figura 5.



Figura 5 – Efeito estufa
Fonte: Público.Pt (2013).

Um dos primeiros e mais importantes efeitos do efeito estufa são as mudanças climáticas e nos regimes de chuva em âmbito mundial. A preocupação é que a evapotranspiração seja acelerada. Isto significa que choveria mais, mas a chuva evaporaria mais rápido, consequentemente deixando os solos mais secos em períodos críticos na época de cultivo. Novos ou mais intensos períodos de seca, principalmente nos países mais pobres, poderiam diminuir o fornecimento de água potável até a situação gerar calamidade pública. Por conta dessas questões, a questão é quais regiões do mundo correm o risco de ficar mais chuvosas e/ou mais secas, principalmente pelo grande crescimento demográfico e pela expansão das atividades agropastoris. Veja-se a atual região no Brasil, denominada Mapitoba – que envolve os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia –, que já cultiva grandes áreas das culturas de verão (soja e milho), mas o período é muito castigado pela falta de água.

Ainda sobre as mudanças climáticas, é preciso ressaltar o deslocamento das zonas climáticas e agrícolas em direção aos polos. As previsões são de que nas regiões de latitude

média, o deslocamento será de 150 a 550 km para um aquecimento de 1° a 3,5°. Verões mais secos podem reduzir o rendimento das safras nas regiões de latitude média e é possível que as principais áreas produtoras de grãos, como as grandes planícies dos Estados Unidos, sofram secas e ondas de calor mais frequentes.

Também não se pode esquecer a elevação dos níveis do mar com derretimento de geleiras e a expansão térmica dos oceanos, que ameaçam zonas costeiras e pequenas ilhas de baixa altitude, onde o nível médio global do mar já subiu cerca de 10 a 15 cm no século passado e prevê-se que, até o ano 2100, o aquecimento global ocasiona um aumento adicional expressivo, algo em torno de 15 a 95 cm. O Protocolo de Kyoto, que é um dos marcos nesse processo de discussão das mudanças climáticas, precisa ser revitalizado em seus vários aspectos.

3.8.1 Proteção da camada de ozônio

O governo brasileiro, que é signatário do Protocolo de Montreal, objetivando a adoção de medidas de proteção à camada de ozônio, cujo impacto é global e muito danoso à estratosfera, estabeleceu, em 1987, a progressiva redução da produção e do consumo, até sua eliminação, das substâncias que destroem a camada de ozônio, filtro natural que protege o planeta de níveis indesejáveis de radiações ultravioleta provenientes do Sol.

Os raios ultravioleta em excesso, principalmente na faixa UV-B (280 a 320 nanômetros de comprimento de onda) que atinjam a superfície terrestre, podem acarretar sérios prejuízos à saúde do homem e do meio ambiente. Os danos à vegetação também são significativos, especialmente à agricultura, com a redução do processo de fotossíntese e consequente comprometimento do crescimento das plantas.

Observações e estudos científicos levados a efeito nas últimas décadas, principalmente pela Nasa (*National Aeronautics and Space Administration*), constataram uma rarefação da camada de ozônio, notadamente sobre a Antártida, durante a primavera austral, o que acabou sendo chamado de “buraco de ozônio”, termo tecnicamente errado, mas que dá uma ideia ao público leigo sobre a gravidade e a dimensão do fenômeno. A teoria aceita é a de que o ozônio da estratosfera estaria sendo eliminado em grande parte pelo cloro presente nas substâncias denominadas clorofluorcarbonos (CFCs), muito estáveis e que permanecem na

atmosfera por dezenas de anos. Estima-se, inclusive, que uma única molécula de CFC teria a capacidade de destruir até 100.000 moléculas de ozônio, razão pela qual uma substância de uso relativamente tão restrito concentra tamanho poder de destruição.

Certas fontes naturais também contribuem para esse fenômeno, como algumas substâncias contidas em erupções vulcânicas, ou mesmo nos mares, muito embora se pondere que elas sempre existiram, enquanto a rarefação da camada consta como fato recente. De qualquer forma, é possível intervir sobre as emissões antrópicas e isto vem sendo feito atualmente pela comunidade internacional e acadêmica.

3.8.2 Chuvas ácidas

Ainda como um impacto ambiental de caráter global causado pelos gases do efeito estufa, encontram-se as chuvas ácidas. Esse fenômeno, ou mais apropriadamente, a deposição ácida, ocorre de variadas formas, por meio da chuva, do granizo, da neblina e de partículas secas. O pH das chuvas em condições normais é levemente ácido, algo em torno de 5 e 6, enquanto em áreas expostas à contaminação industrial e/ou veicular, os valores encontrados estão em torno de 4. Índices extremos de acidez, podem atingir 2, ou até 1, semelhantes a um fluido de bateria veicular, e já foram registrados na Noruega e também no estado da Virginia nos EUA, configurando situações de calamidade ambiental.

A deposição ácida tem origem predominantemente nas emissões de dióxido de enxofre (SO_2), originadas da queima de combustíveis fósseis por veículos e indústrias; os óxidos de nitrogênio NO_x , produzidos principalmente nos diversos processos de combustão, também formam as chuvas ácidas. Essas substâncias combinam-se com a água presente no ar e no solo, formando uma mistura, considerada destruidora, que são compostas pelos ácidos sulfúrico (H_2SO_4) e nítrico (HNO_3).

Além dos efeitos decorrentes da formação ácida, os sulfatos presentes na atmosfera tomam a forma de partículas finas que dispersam os raios luminosos afetando a visibilidade, da mesma forma que a umidade, a fuligem e as partículas em suspensão. Esse é o efeito mais facilmente observado em atmosferas com altos níveis de concentração de SO_2 . Alguns lagos da Noruega, por exemplo, foram declarados mortos por conta das chuvas ácidas e existe também informação que mais de 30 milhões de hectares de florestas foram danificadas em

países industrializados. Os danos não se restringem apenas à fauna e à flora, mas também ao poder corrosivo que esses compostos químicos podem acarretar em estruturas metálicas.

O tempo de residência na atmosfera dessas substâncias, antes da ocorrência da deposição ácida (úmida ou seca), varia de algumas horas até semanas, período em que as correntes atmosféricas podem percorrer distâncias de até centenas de quilômetros.

3.8.3 *Smog* fotoquímico

Tal como citado no início deste trabalho, a Revolução Industrial tem sido o centro da causa do incremento de poluentes na atmosfera. Registros históricos descrevem a preocupação com a poluição do ar e as tentativas da sociedade em mitigá-la. Um dos primeiros esforços conhecidos foi promovido na Inglaterra em 1272 pelo rei Eduardo I, com o banimento do uso de certo tipo de carvão. A preocupação tem crescido, desde então, com a ocorrência do *smog* fotoquímico.

Esse fenômeno foi identificado no início da década de 1940, na bacia aérea de Los Angeles, quando se observou uma névoa escura de coloração marrom-avermelhada. Ela então foi batizada como *smog*, combinação das palavras *smoke* (fumaça) e *fog* (neblina/ nevoeiro), cuja causa principal eram as emissões da frota motorizada.

Ainda sobre os aspectos ambientais da cultura da cana-de-açúcar e suas atividades industriais, a Lei 6.938/81 e a Lei 9.608/98 definiram o meio ambiente como o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.

Faz-se necessário, ainda, lembrar a Constituição Federal do Brasil que, em seu artigo 225, define que todos temos direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A Lei Federal 6.938/81 define como poluidor, no seu artigo. 3º, inciso IV, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

Com o crescente aumento populacional mundial, algo em torno de sete bilhões de pessoas, a demanda por alimentos, produtos industrializados e energia vai crescer e

consequentemente haverá impactos ambientais de grande monta. Não só a legislação acima citada caracteriza os impactos ambientais, mas também as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), como a de número 001, de 23 de janeiro de 1.986, que considerou como impacto ambiental qualquer alteração físico-química e biológica do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades do homem e que, diretamente e ou indiretamente, afetarem a saúde, a segurança e o bem-estar da população brasileira.

Mais especificamente, neste trabalho, ater-se-á às resoluções do Conama, de número 003, de 28 de junho de 1990, que definiu os poluentes atmosféricos como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora e também, prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. Em função da crescente industrialização de várias regiões do país, dos altos níveis de poluição atmosférica já alcançados, principalmente nas regiões metropolitanas, e de seus reflexos negativos sobre a saúde, o meio ambiente e a economia, foi editada a resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006.

Os aspectos ambientais devem ser considerados em culturas sobre as quais se tem pouco conhecimento, no caso da cultura da cana-de-açúcar, há de ser ter programas de controle da poluição atmosférica.

3.9 Poluição sonora

A poluição sonora também é uma das atividades que podem ocorrer no processo industrial da cultura da cana-de-açúcar para a geração de energia a partir do uso de seu bagaço, como os ruídos podem alcançar níveis prejudiciais à saúde do trabalhador da usina, faz-se necessário medi-los.

A poluição sonora acontece quando, em determinado ambiente, o som altera a condição normal de audição. Embora não se acumule no meio ambiente, como outros tipos de poluição, causa vários danos ao corpo e à qualidade de vida das pessoas.

O ruído é o maior responsável pela poluição sonora. O Ministério do Trabalho e Emprego conceitua ruído como o impacto que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo, a intervalos superiores a um segundo e por ruído contínuo e intermitente. Provocados pelo som excessivo dos processos industriais, canteiros de obras, meios de transporte, áreas de recreação e outros fatores, os ruídos geram efeitos negativos para o sistema auditivo, além de provocar alterações comportamentais e orgânicas.

Mas não só nas ruas existe poluição sonora e brigas por causa do barulho. Nas residências, elas também fazem parte do cotidiano, mas os agentes causadores são outros. Eletrodomésticos, instrumentos musicais, televisores e aparelhos de som precisam ser utilizados de forma adequada para não incomodar os vizinhos nem prejudicar a própria saúde.

O barulho de sapatos, reuniões familiares e até conversas em tom elevado entram para o rol das discussões. Para evitar esses problemas, alguns condomínios têm regras específicas. Em muitos prédios, há convenções que estabelecem como os moradores e visitantes devem portar-se quanto a ruídos e outros barulhos.

Em cidades onde a legislação ainda não prevê limites e sanções, a solução para os problemas relacionados aos ruídos ainda depende do registro de boletins de ocorrência ou da intervenção do Ministério Público.

A justiça brasileira já entende que o artigo 3º da Lei 6.938/81, que define o que é poluição e degradação ambiental, caracteriza poluição também como algo que prejudica a saúde, o bem-estar e a segurança da população. Por essa razão, a poluição sonora é um dos maiores problemas dos grandes centros urbanos.

Podem ocorrer perdas auditivas quando os microtraumas provocados por ambiente inadequado de trabalho geram lesão auditiva, acidente pessoal indenizável segundo a Justiça.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) considera que o som deve ficar em até 55 decibéis (dB) para não causar prejuízos ao ser humano. Além dessa medida, os efeitos negativos começam a aparecer. Alguns podem ocorrer em curto prazo, outros podem levar anos.

Anteriormente, o Decreto Federal 2.171, de 05 de março de 1997, considerava como especial a atividade exercida com exposição a ruídos superiores a 80 decibéis e julgava como prejudicial à saúde, até então, o nível de ruído superior a 90 decibéis. Já em 18 de novembro de 2003, quando foi editado o Decreto 4.882, o limite de tolerância de ruído foi reduzido a 85 decibéis.

Mota (1997) estabelece a diferença entre ruído e som. Para o autor, som é o resultado de um movimento vibratório transmitido através de ondas, em um meio elástico, caracterizando-se por uma sensação capaz de impressionar o órgão auditivo dos homens e dos animais, denominada como “sensação sonora”. As ondas sonoras precisam de um meio com massa e elasticidade para se propagarem em meio gasoso, líquido ou sólido. O principal meio de propagação do som é o ar. Já o ruído, conceituado anteriormente, também pode ser caracterizado como um som indesejável, ou seja, desagradável ao homem.

Aqui no Brasil, uma das primeiras legislações foi a Resolução Conama nº 001, de 08 de março de 1990, que relacionou as inúmeras atividades do homem em que há emissão de ruídos: quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Após estas classificações, remetem essas ações às normas regulamentadoras, como as NBR – 10.151 e NBR – 1052.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA-US), apresenta uma escala de som, definida na Tabela 6, que associa a origem do som e seus níveis em decibéis (dB).

Tabela 6 – Tipos e níveis de escala de som

TIPO DE SOM	NÍVEL MÉDIO – dB(A)
Tiro de canhão (1 m)	140
Avião a jato decolando (30m)	130
Sirene de bombeiro (1m)	120
Britadeira/Buzina de carro (1m)/Show de rock	110
Jato decolando (40m) e moto com escape livre (1m)	100
Esquina de rua movimentada	90
Choro de criança (1m) e caminhão descarga de lixo (15 m)	80
Aspirador de pó (1m)/Tráfego intenso de autoestrada	70
Conversa em tom normal/ar-condicionado (6m)	60
Rua sossegada	50
Rasgar um papel (1m)	40
Sussurros normais (1m)	30
Sussurros muito baixos/Brisa nas folhas de uma árvore	10
Nível mínimo de audição	0

Fonte: EPA-US (1976).

A EPA-US (1976) apresenta na Tabela 7 as interferências no homem de acordo com o nível de som em dB(A).

Tabela 7 – Interferências causadas ao homem de acordo com a exposição a ruídos contínuos

INTERFERÊNCIA NO HOMEM	NÍVEL - dB(A)
Limite da audição	0
Levemente audível	10
Muito calmo	30
Provoca interferência na concentração	60
Início dos danos à audição	70
Incômodo	80
Muito incômodo	90
Dolorosamente audível (limiar da dor de ouvido)	140

Fonte: EPA-US (1976).

O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) delimita os limites de tolerância do ser humano a ruídos contínuos (Tabela 8).

Tabela 8 – Relação dos limites de tolerância a ruídos sem que resultem danos ao ouvido humano em ambiente de trabalho

NÍVEL DE RUÍDO – dB(A)	TEMPO MÁXIMO POR DIA
85	8h
86	7h
87	6h
88	5h
89	4h30min
90	4h
91	3h30min
92	3h
93	2h40min
94	2h15min
95	2h
96	1h45min
98	1h15min
100	1h
102	45min
104	35min
105	30min
106	25min
108	20min

Fonte: Ministério do Trabalho e Emprego (2012).

Denomina-se fadiga auditiva a perda gradativa da audição em pessoas que ficam expostas a níveis de ruídos acima de 85 dB (A), por períodos acima dos apresentados na Tabela 8.

O grande problema é que os efeitos não são imediatos, só sendo percebidos no longo prazo. O primeiro sintoma inicia-se com um zumbido nos ouvidos, passando então à

dificuldade de escutar determinadas frequências até a surdez, cujos danos ao ouvido são irreversíveis, isto é, não há cura para pessoas afetadas pela fadiga auditiva.

3.9.1 Padrões de emissão de ruídos

Com o objetivo de garantir o conforto acústico ou evitar danos à saúde das pessoas, têm sido estabelecidos níveis máximos de ruídos para ambientes internos e externos em função de uso do solo e do período de exposição a eles.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) editou as normas técnicas NBR 10.151 e 10.152, que estabeleceram níveis sonoros para alguns tipos de uso, em ambientes externos e internos, a serem observados nos períodos diurno e noturno.

O Conama estabelece, pela Resolução nº 01, de 08 de março de 1990, normas a serem seguidas, no interesse da saúde, no tocante à emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades. De acordo com essa Resolução, são prejudiciais à saúde e ao sossego público os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR – 10.151 da ABNT, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

TIPOS DE ÁREAS	DIURNO dB(A)	NOTURNO dB(A)
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 10 – Níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico

LOCAIS	NÍVEIS – dB(A)
Hospitais, Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos.	35-45
Laboratórios, Áreas de uso público.	40-50
Serviços	45-55
Escolas, Bibliotecas, Salas de Música, Salas de desenho.	35-45
Salas de aula, Laboratórios.	40-50
Circulação	45-55
Hotéis, Apartamentos	35-45
Restaurantes, Salas de estar.	40-50
Portaria, Recepção, Circulação.	45-55
Residências, Dormitórios	35-45
Salas de estar	40-50
Auditórios, Salas de concertos, Teatros.	30-40
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo.	35-45
Restaurantes	40-50
Escritórios, Salas de reunião.	30-40
Salas de gerência, Salas de projeto e de administração.	35-45
Salas de computadores.	45-65
Salas de mecanografia.	50-60
Igrejas e Templos (cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte, Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60

Fonte: ABNT - NBR - 10152/87.

3.9.2 Controle da poluição sonora

O controle da poluição sonora deve ter como objetivo garantir que os níveis de ruído não ultrapassem os limites estabelecidos para os diversos ambientes do homem, sejam externos ou internos. Esse controle é realizado de três maneiras distintas: proteção da emissão de ruídos, proteção dos receptores e disciplinamento do uso e ocupação do solo. No caso de área rural, ele é normatizado pela NR 15.

3.9.3 Controle da emissão de ruídos

Entende-se por ruído contínuo ou intermitente, para fins de aplicação de limites de tolerância, o ruído que não seja de impacto.

Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (*slow*). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância fixados na Tabela 11, a seguir.

Para os valores encontrados de nível de ruído intermediário será considerada a máxima exposição diária permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado.

Tabela 11 – Tempos de exposição a ruídos

NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR 15

Algumas medidas são necessárias para proteger e mitigar uma exposição do ser humano a sons e ruídos em excesso, tais como redução do período de exposição ao ruído, criando horários alternativos e diminuindo a carga horária aos funcionários; fornecimento dos equipamentos de proteção individual (EPIs), devidamente certificados, edificando barreiras à propagação dos sons.

Outra forma de reduzir os danos à saúde humana, minimizando os riscos, é o disciplinamento do uso e da ocupação do solo. Segundo Okano (2004, pg 51),

uma das medidas mais eficazes de atenuação de ruídos é o afastamento da fonte e a área receptora e de acordo com EPA-US (1976), a intensidade do som decresce inversamente com o quadrado da distância da fonte. Em outras palavras, cada vez que a distância da fonte de ruído dobrar, a pressão do som em dina/cm^2 é reduzida à metade. Assim, a distribuição das diversas

atividades, considerando os afastamentos entre as fontes de ruído e os usos sensíveis (residencial, hospitais, escolas, bibliotecas, etc.), é uma medida a ser considerada no disciplinamento do uso do solo de uma cidade com a adoção das seguintes providências: fazer zoneamento da área urbana, de modo que os emissores de som de alta intensidade fiquem adequadamente afastados dos usos sensíveis ao barulho; verificar a direção predominante e a velocidade dos ventos, o tipo de cobertura do solo, o arranjo das edificações e as barreiras naturais e artificiais.

Este trabalho/pesquisa não tem como propósito fazer o contraponto ambiental à expansão da cana-de-açúcar, mas criar um ambiente de círculo virtuoso e de fomento às práticas sustentáveis dessa importante atividade agroindustrial de Mato Grosso do Sul. Outras etapas de gestões estratégicas de sustentabilidade, como a certificação de índices medidos e a auditoria nos balanços socioeconômicos das usinas, das empresas coligadas e dos produtores de cana, serão necessárias à consolidação das boas práticas de sustentabilidade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Usina Sonora, do Grupo Sonora, cuja razão social é Sonora Estância S.A. Criada em 14 de julho de 1976, no município de Sonora (MS), é filiada ao Instituto Ethos como empresa de responsabilidade social desde o ano de 2000. A Usina Sonora utiliza a caldeira geradora de vapor do tipo aquatubular para geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

Com uma área plantada em torno de 30.000 ha das culturas de soja, milho e cana-de-açúcar, a Usina Sonora produz cerca de 1.200.000 toneladas de cana-de-açúcar, das quais 70% destinam-se à produção de etanol e 30%, à produção de açúcar.

Estima-se que esse volume gere algo perto de 30.000 toneladas de bagaço de cana-de-açúcar, que são aproveitadas para a cogeração de energia elétrica, por meio da caldeira aquatubular, fornecendo vapor d'água para produção energia para consumo próprio (75%) e o excedente a ser disponibilizado para a rede elétrica. A extração do caldo da cana é realizada pelo método moenda, mas já existem estudos para o método por difusão. A capacidade instalada da Usina Sonora de potência térmica nominal é de 10 MW.

A cidade de Sonora (MS) está localizada na região norte do estado de Mato Grosso do Sul, mais precisamente na divisa com o estado de Mato Grosso, cuja área de produção concentra-se na cultura de soja e alguns pontos de cultivo de florestas de eucalipto, não se descartando a pecuária de corte com quase 500.000 cabeças de gado. A localização geográfica da Usina onde as caldeiras estão instaladas, fornecidas pelo GPS de fabricação Brunton, modelo *Multi Navegador*, configurado em sistema Datum SAD 69, são: latitude de 17° 35' 50,6" Sul, longitude 54° 45' 15,22" Oeste e altitude 459m.

O clima onde a Usina Sonora está localizada, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), tem a temperatura média anual de 29,88 °C, temperatura mínima média de 21,7 °C, temperatura média de 24,67 °C; umidade relativa média de 66%; velocidade do vento média de 5,5 km/h e índices pluviométricos bem definidos, no período chuvoso (novembro a março), a média é de 32 mm/mês e, nos períodos mais secos (abril a agosto), de 12mm/mês.

Foram realizadas medições dos principais gases do efeito estufa, por meio das concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂), óxido de nitrogênio (NO_x), gerados a partir da combustão pela caldeira, foi por meio do analisador Testo 350 XL que os níveis de ruídos

foram medidos com um decibelímetro Minipa, modelo MSL-1351, ambos devidamente calibrados e de propriedade da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

4.1 Materiais

4.1.1 Características da caldeira

A caldeira aquatubular utilizada neste trabalho, apresenta as seguintes características, apresentadas no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 - Dados da Caldeira utilizada

Sistemas	Características/Medidas
Sistema de Alimentação de Combustível Combustível utilizado na partida Combustível utilizado durante o funcionamento normal Consumo máximo de combustível Tipo de combustor/queimador	Óleo diesel Bagaço 60.000 kg/mês Atomizador
Sistema de Alimentador de Ar e Exaustão de Gases	
Tipo de alimentador de ar Temperatura de ar primário Temperatura na base da chaminé Diâmetro da chaminé Altura da chaminé Possui soprador de fuligem? Possui lavador de gases? Possui equipamento de controle de emissão de gases?	Ventilador Ambiente 250° C 0,90 m 50 m Sim Sim Sim
Classificação da Caldeira	
Quanto à troca térmica Quanto ao tipo de energia Quanto à automatização Quanto à classe de pressão Quanto ao combustível utilizado	Aquatubular Térmica Automática Tipo C biomassa a bagaço de cana-de-açúcar
Características de Construção	
Fabricante	Dedini S.A.
Ano de fabricação	1983 – Modificada 2008
Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA)	10,55 kgf.cm ⁻²
Pressão de trabalho	10,00 kgf.cm ⁻² (classe B)
Pressão de prova	19,73 kgf.cm ⁻²
Capacidade de produção de vapor	2000 kg/h (2 toneladas/h)
Área de troca de calor	62 m ³
Válvulas de segurança	22
Sistema de Alimentação de Água	
Fonte de captação da água de alimentação	poço artesiano
Capacidade de reservatório de água	50.000 l (50 m ³)
Altura do reservatório	15 m
Temperatura de alimentação da água da caldeira	25° C
Temperatura do condensado	80° C
Possui tratamento de água tipo dosador com bomba d'água?	Sim
Possui análise regular da água da caldeira?	Sim
Periodicidade da análise de água da caldeira	Quinzenal

A manutenção e segurança são realizadas preventivamente, o período de limpeza é diário, as inspeções são bimestrais e seguem rigorosamente as NR 13 e NR 12. A Usina Sonora possui equipe de manutenção de 24 colaboradores, cuja escolaridade média é de ensino fundamental, periodicamente treinados e capacitados. Também lhes são fornecidos todos os equipamentos de proteção individuais indicados pela área de Segurança do Trabalho da empresa, existe um plano de emergência para acidentes e também áreas de fugas.

O horário de funcionamento da área industrial da Usina é de 24 horas ininterruptas no período da colheita; fora desse período, é das 6h às 20h.

4.1.2 Analisador de poluentes atmosféricos

As concentrações dos gases emitidos pela chaminé da Usina foram medidas por meio do analisador de poluentes atmosféricos de fabricação alemã Testo, modelo 350XL. Na Figura 6, mostra-se o analisador utilizado neste trabalho. As especificações do equipamento



Figura 6 – Analisador de poluentes atmosféricos da Testo – 350 XL
são fornecidas nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Dados técnicos na medição de O₂ e CO do analisador de poluentes atmosféricos Testo – 350 XL

Tipo de Sonda	Medição de Temperatura	Medição de O ₂	Medição de CO (H ₂ Compensado)	Medição CO (Baixo)
Faixa de medição	-40 a 1200°C	0 a 25 vol. (%)	0 a 10.000 ppm	0 a 500 ppm
Exatidão ±1 dígito	± 0,5% de v.m.* (100 a 1200°C) ± 0,5 °C (-40 a 99,9°C)	± 0,8% de v.f.** (0 a 25%)	± 10% de v.m. (100 a 200 ppm) ± 10% de v.m. (2001 a 10.000 ppm) ±5ppm (0 a 99 ppm)	± 5% de v.m. (40 a 500 ppm) ±2ppm (0 a 39,9 ppm)
Resolução	0,1°C (-40 a 25%)	0,1% volume (0 a 25%)	1 ppm (0 a 10.000 ppm)	0,1 ppm (0 a 500 ppm)
Tempo de resposta	-	20s	40s	40 s

Notas: * v.m. – volume médio;

** v.f. – volume fracionado.

Tabela 13 – Dados técnicos na medição de CO₂, NO e NO₂ do analisador de poluentes atmosféricos Testo – 350 XL

Tipo de Sonda	Medição de CO ₂	Medição de NO	Medição de NO (Baixo)	Medição de NO ₂
Faixa de medição	0 a Volume máximo (%)	0 a 3.000 ppm	0 a 3.000 ppm	0 a 500 ppm
Exatidão ±1 dígito	Calculado a partir de O ₂	± 5% de v.m. (100 a 1.999,9 ppm) ± 10% de v.m. (2.000 a 3.000 ppm) ±5ppm (0 a 99 ppm)	± 5% de v.m. (40 a 300 ppm) ±2ppm (0 a 39,9 ppm)	± 5% de v.m. (100 a 500 ppm) ±5ppm (0 a 99,9 ppm)
Resolução	0,01 vol.(%)	1ppm (0 a 3.000 ppm)	0,1 ppm (0 a 300 ppm)	0,1 ppm (0 a 500 ppm)
Tempo de resposta	20s	30s	30s	40s

4.1.3 Características adicionais do analisador Testo – 350XL

- Memória: 250.000 leituras
- Alimentação: 90 a 260 V (47 a 63 Hz) ou bateria recarregável
- Corrente: 0,5A (110 Vac) e 0,3A (230 Vac)
- Ponto de orvalho 0 a 99°C
- Pressão máxima positiva: 50 hPa (0,5 mca)
- Pressão máxima negativa: 200 hPa (2 mca)

- Fluxo da bomba: 0,8 m/s com fluxo monitorado
- Carga máxima de poeira: 20 g.m⁻³ de poeira no tubo
- Carga máxima de umidade: 70°C (temperatura do ponto de orvalho na entrada)
- Fatores de diluição para CO: 0, 2, 5, 10, 20, 40
- Diluição gasosa: ar limpo ou N₂
- Exatidão: 2% para leituras maiores que as máximas
- Medidas: 305 x 275 x 95 mm
- Peso total: 3.200g

O sistema de medição do equipamento Testo 354/454 é flexível, podendo operar com unidades individuais ou combinadas entre si, é um equipamento portátil. Os parâmetros que podem ser medidos em um processo de combustão (O₂, CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x), estas concentrações dos gases acima citados são medidas por células eletroquímicas.

4.1.4 Decibelímetro

O equipamento para as medições de ruídos sonoros, conforme a metodologia indicada, foi o decibelímetro, conforme a Figura 7 mostra, cujo modelo é da marca Minipa, versão MSL-1351C.



Figura 7 – Decibelímetro Minipa, modelo MSL-1351C

Especificação do decibelímetro:

- conformidade com as normas: IEC-651 tipo 2 e ANSI S1.4 tipo para decibelímetros;
- norma de segurança: de acordo com EMC (CE);
- ambiente de operação: 0° a 40°, RH < 90%, altitude < 2000m;
- ambiente de armazenamento: -10°C a 60°C, RH < 75%;
- alimentação: bateria de 9V;
- atualização do display: 0,5s;
- faixas: 30 – 80dB(Lo), 50 – 100dB (Med) e 80 – 130dB (Hi);
- faixa dinâmica: 50 dB;
- precisão: $\pm 1,5$ dB (94dB/1kHz);
- ponderação em frequência: A e C;
- faixa de frequência: 31,5Hz a 8kHz;
- resposta: lenta (1s) ou rápida (125ms);
- função alarme: mostra quando a intensidade de ruído medida está abaixo ou acima da faixa mensurável;
- função Max./Min.: congela leituras máximas e mínimas;
- saída AC: fundo de escala 1V (RMS) com impedância de saída de 50 Ω ;
- saída DC: 10mV/dB, impedância de saída aproximada 100 Ω ;
- microfone: Eletreto de 1/2”.

4.2 Métodos

Para a medição dos gases do efeito estufa, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x) e os níveis de ruídos gerados pela caldeira, foram realizadas medições em períodos bastante distintos.

A primeira medição ocorreu em novembro de 2012 no final da safra (colheita), quando a qualidade do bagaço já é inferior e a própria caldeira trabalha com menor fluxo. A segunda

medição ocorreu no pico da safra, em julho de 2013 com grande volume de bagaço, mas nesta etapa não foi possível realizar as medições de ruído. A primeira medição ocorreu nos horários matutino e vespertino, sempre às 08h e às 14h, totalizando 20 medições. Na segunda medição, também nos horários matutino e vespertino, mas em número de quatro, sempre às 8h e às 11h e às 14h e 17h, também totalizando 20 medições.

Em ambos os períodos, a medição ocorreu na base da chaminé, dadas as condições de melhor segurança ocupacional e a constância do fluxo dos gases do efeito estufa emitidos.

A Figura 8 mostra o local onde foi inserida a sonda para medir os gases do efeito na base da chaminé nos períodos de novembro de 2012 e julho de 2013.



Figura 8 – Local da inserção da sonda
Fonte: Hamilton Rondon Flandoli.

Os valores obtidos nas duas medições dos poluentes atmosféricos não foram comparados entre si. Foram medidos, separadamente, os níveis de ruídos sonoros apenas no mês de novembro de 2012.

A primeira medição do dia era realizada sempre com um funcionamento adequado da caldeira e um fluxo contínuo na chaminé. Nos períodos posteriores, o fluxo da matéria-prima também já estava estabilizado.

A medição dos ruídos sonoros foi realizada à luz da legislação que trata do assunto, que é a Norma Regulamentadora Nº 15 – NR 15, visto que a Usina Sonora está localizada em zona rural. Segundo a norma regulamentadora, entende-se por ruído contínuo ou intermitente, para os fins de aplicação de limites de tolerância, o ruído que não seja de impacto.

Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (*slow*). Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância fixados pela norma acima citada. Para os valores encontrados de nível de ruído intermediário, será considerada a máxima exposição diária permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado.

Os valores obtidos, nas duas medições dos gases do efeito não foram comparados entre si, tal como a medição dos níveis de ruídos sonoros, que ocorreu apenas no mês de novembro de 2012.

5 RESULTADOS

Foram realizadas 40 medições dos gases do efeito estufa em duas épocas distintas e 80 medições dos níveis de ruídos sonoros emitidos pela caldeira apenas no primeiro período, a distâncias de 1 m, 2 m, 4 m e 8 m.

O objetivo deste trabalho foi medir e avaliar os principais gases do efeito estufa, no aproveitamento da biomassa (bagaço) da cana-de-açúcar na produção de bioenergia do setor sucroalcooleiro.

A avaliação neste trabalho foi realizada à luz da atual legislação em vigor, a Resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Conforme consta no *caput* da Resolução, existe a necessidade de estabelecer base de referência nacional para limites de emissão de poluentes atmosféricos, visando coibir excessos não condizentes com a defesa do meio ambiente. Estabelecer, também, estratégias para o controle e a recuperação da qualidade do ar e a prevenção de sua degradação; além de critérios orientadores para definição dos limites de emissão de poluentes atmosféricos. Deve-se também prover os órgãos ambientais de instrumentos adequados para análise de processos e licenciamento de empreendimentos, para que se controle a poluição na fonte, seja por meio de equipamentos de controle do tipo “fim de tubo”, seja utilizando processos menos poluidores. Em razão do Princípio de Prevenção à Poluição, é necessário difundir tecnologias disponíveis para a redução da emissão de poluentes para diversos processos produtivos e considerar que os estados possuem níveis diferenciados de industrialização e de poluição do ar, cabendo aos órgãos ambientais estaduais e locais estabelecerem, quando for o caso, limites de emissão mais restritivos e atender aos limites de emissões de poluentes atmosféricos com o objetivo de minimizar os impactos sobre a qualidade do ar e, assim, proteger a saúde e o bem-estar da população.

5.1 Resultados das medições dos gases do efeito estufa

As medições foram realizadas na Usina Sonora de forma a assegurar a credibilidade e a representatividade da empresa, obedecendo aos critérios por ela adotados, definidos em

programas de controle ambiental, tais como: controle no momento dos lançamentos e avaliação periódica das quantidades emitidas e das respectivas concentrações. Durante as medições, foi mantido o regime de funcionamento estável da caldeira movida a bagaço de cana-de-açúcar (fonte fixa) e observados os parâmetros constantes do fluxo dos gases de escape, vazão volumétrica, velocidade, temperatura, pressão e oxigênio.

Nas Tabelas 14 e 17, a seguir, mostram-se as medições das concentrações dos gases do efeito estufa – CO, CO₂, NO, NO₂ e NO_x –, medidos na base da chaminé no período de novembro de 2012 e julho de 2013 respectivamente. Devido à semelhança de comportamento, foi dado o tratamento estatístico do método *t Student*.

São considerados gases de efeito estufa (GEE), conforme Leme (2005), os indicados pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC): o dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxido nitroso (N₂O). Os demais gases são considerados poluentes na medida em que estejam disponíveis como fatores de emissão. Para facilitar a contabilização das emissões dos GEE, adota-se o conceito *Global Warming Potential* (GWP), um índice simplificado, baseado na força radioativa dos diversos GEE, que permite estimar o potencial impacto de cada gás no equilíbrio climático terrestre com relação ao impacto de um gás referência, o CO₂.

Ainda segundo Leme (2005), as emissões do CO₂ não deveriam ser contabilizadas, em virtude da hipótese de ciclo renovável da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar.

A análise estatística das medições de novembro de 2012, constantes da Tabela 14, realizada pelo confronto das médias do método *t Student* e cujos dados desta análise encontram-se nos anexos deste trabalho e visualizada nos gráficos 6 e 7 dos carbonos. Por meio dela, pode-se verificar que na concentração de monóxido de carbono (CO_{ppm}), as maiores médias ficaram no intervalo entre 25,2 a 28,4 ppm, cujo percentual ficou em 30%, nas concentrações do dióxido de carbono (CO₂ %). As maiores médias ficaram entre os intervalos de 5,4 a 6,1%. Logo, como resultado de ambas as análises é possível compreender que não existem riscos de poluição atmosférica desses gases.

Tabela 14 – Concentrações de gases de efeito estufa lançados pela caldeira e emitidos pela chaminé

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Data	10/11/2012	10/11/2012	11/11/2012	11/11/2012	12/11/2012	12/11/2012	13/11/2012	13/11/2012	14/11/2012	14/11/2012	15/11/2012	15/11/2012	16/11/2012	16/11/2012	17/11/2012	17/11/2012	18/11/2012	18/11/1900	19/11/2012	19/11/2012
Horário	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00
O ₂ (%)	12,6	13,6	11,9	12,8	11,4	12,6	11,2	12,8	12,8	14,4	10,3	11,4	12,4	13,2	11,4	13,4	12,8	13,2	11,1	12,4
H ₂ (ppm)	2,5	3,5	2,0	3,4	4,4	6,6	4,0	6,0	7,8	11,2	5,6	8,8	11,2	12,2	4,4	6,8	3,6	4,2	4,6	6,6
CO (ppm)	18	16	18	12	19	20,0	24	18	28	14	16	19	24	26	26	24	26,0	28	24	28
CO ₂ (%)	5,7	5,8	5,6	6,1	5,7	6,2	5,7	5,8	5,4	6,4	6,2	6,8	7,5	7,3	5,6	8,8	8,8	9,2	5,6	6,6
NO (ppm)	15,4	22,2	20,5	22,6	23,4	22,8	21,6	24,6	21,8	20,4	22,5	23,2	21,9	22,8	18,2	21,4	25,1	25,8	24,4	25,2
NO ₂ (ppm)	0,6	1,2	0,8	0,7	0,5	0,9	1,1	0,6	0,4	0,7	0,2	0,8	0,3	0,9	0,4	1,1	0,4	0,8	0,6	0,8
NO _x (ppm)	16,0	23,4	21,3	23,3	23,9	23,7	22,7	25,2	22,2	21,1	22,7	24,0	22,2	23,7	18,6	22,5	25,5	26,6	25,0	26,0
TF (° C)	185,2	195,4	189,7	197,3	190,3	201,2	187,6	195,2	191,8	198,7	200,5	211,6	199,7	213,2	196,6	203,7	191,5	196,7	187,8	194,6
TA (° C)	30,8	32,4	29,2	32,3	31,3	33,4	27,9	31,8	30,6	33,5	30,8	31,4	28,6	30,8	29,3	33,4	27,8	29,9	28,6	30,6
PO (° C)	48,7	49,1	47,2	49,6	48,8	50,6	49,4	49,8	48,7	49,3	48,5	50,1	47,7	48,8	49,3	51,1	47,8	49,2	48,9	49,1
PA (mm Hg)	714,8	715,2	712,8	712,9	711,7	712,9	714,5	715,2	716,3	717,1	708,9	709,1	709,7	710,2	713,2	715,5	716,3	715,6	714,8	715,2
UR (%)	68,2	66,8	69,4	64,8	75,2	73,1	70,5	69,2	72,4	71,2	77,4	75,3	76,8	73,5	79,1	77,2	81,1	79,4	72,8	70,1

Nota: A caldeira funciona em boas condições operacionais, com lavador de gases tipo Venturi.

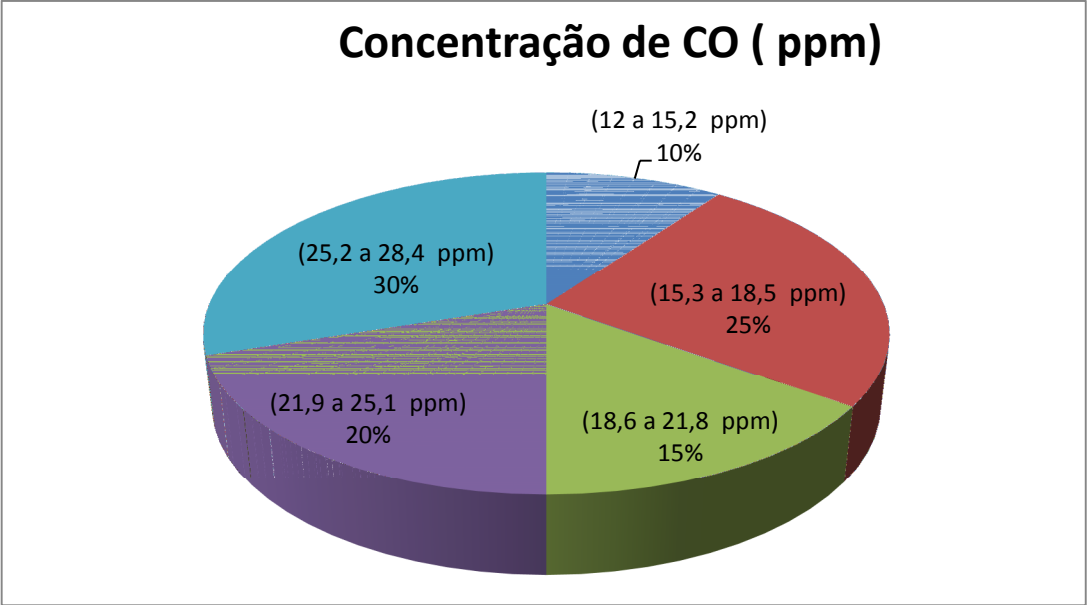


Gráfico 6 – Concentração CO (ppm)

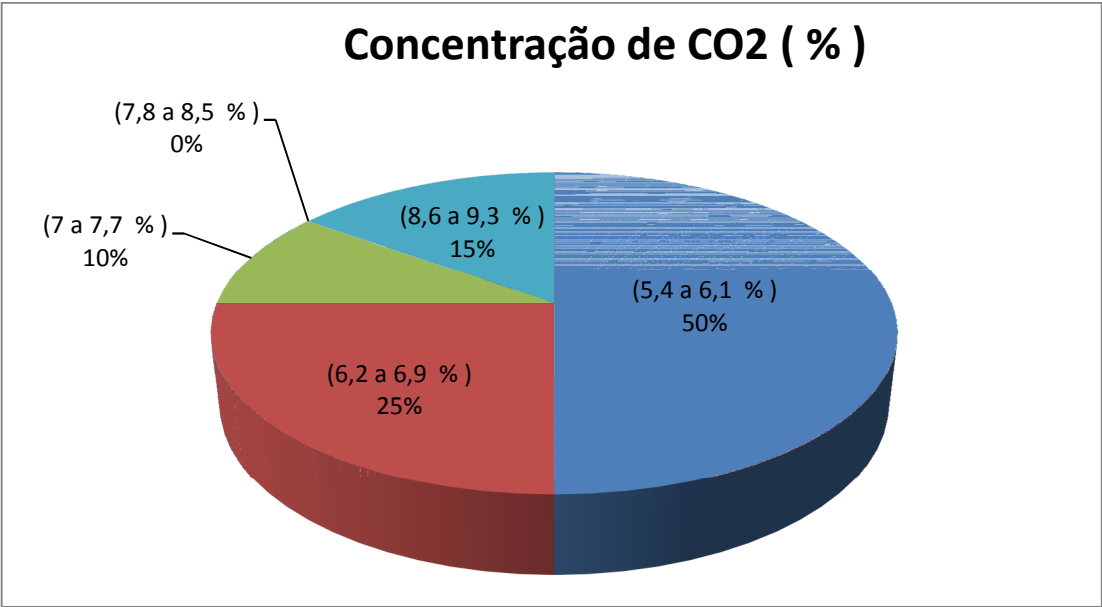


Gráfico 7 – Concentração de CO₂ (%)

Ainda com referência à análise estatística das medições dos óxidos de nitrogênio (NO, NO₂ e NO_x), de novembro de 2012, visualizados nos gráficos 8 a 10, verificou-se que a concentração do NO teve suas maiores médias no intervalo de 21,7 a 23,7 ppm, isto é, 30%. Já nas concentrações do NO₂, as maiores médias ficaram em dois intervalos de 0,5 a 0,7 ppm e 0,8 a 1,0 ppm com um percentual de 30% em ambos os intervalos. Finalmente, no NO_x, as maiores médias foram no intervalo de 22, 6 a 24,7 ppm no percentual de 40%, assim, pode-se afirmar que esses gases também não são considerados poluentes.

Quanto as avaliações, elas foram realizadas à luz da legislação já citada, isto é, o anexo III da Resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006), que estabeleceu os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar, em fonte fixa.

Na Tabela 15, apresenta-se a avaliação do NO_x em mg/Nm³ em base seca e 8% de excesso de oxigênio.

Tabela 15 – Resultado da média das medições de NO_x

Potência térmica nominal (MW)	Valores Máximos permitidos - NO _x (como N O ₂) em mg/Nm ³	NO _x (como NO ₂) - Média Medições em mg/Nm ³
Menor que 10	Não aplicável	-
Entre 10 e 75	350	160,2
Maior que 75	350	-

Analisando a medição acima, verifica-se que a média do óxido de nitrogênio (NO_x) está abaixo dos limites máximos permitidos pela referida Resolução Conama nº 382/2006, de 26 de dezembro de 2006, que estabelece os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar.

Comparando-se com os resultados de Okano (2004) e Moreira (2005), o índice atual medido dá uma noção exata de que o combustível oriundo da cultura da cana-de-açúcar, o bagaço, é menos poluidor e, conseqüentemente, sua contribuição para o efeito estufa é bem menor que a de outros combustíveis. É importante destacar, entretanto, que as análises dos referidos trabalhos, ambos na Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande, no caso de Okano, foi realizada com base em outra legislação, a Resolução Conama nº 003/2006, de 26 de junho de 1990; já no de Moreira, sob a ótica da Resolução nº

382/2006. Destaque-se ainda que o primeiro trabalho pesquisou os poluentes atmosféricos emitidos por uma caldeira a óleo combustível e o segundo dedicou-se a pesquisar o processo de geração de calor a partir da combustão externa do gás natural.

Conforme o item 3.3 do Anexo III da Resolução nº 382/2006, para sistemas com potência de até 10 MW, o órgão ambiental licenciador poderá aceitar o monitoramento periódico apenas do monóxido de carbono, cujos limites estão demonstrados na Tabela 16, também expresso em mg/Nm^3 em base seca e 8% de excesso de oxigênio.

Tabela 16 – Resultado da média das medições de CO

Potência térmica nominal (MW)	Valores máximos permitidos - CO em mg/Nm^3	CO - Média Medições em mg/Nm^3
Até 0,05	6500	-
Entre > 0,05 e < 0,15	3250	-
Entre > 0,15 e < 1,0	1700	-
Entre > 1,0 e < 10	1300	124,5

Avaliando o resultado acima, verifica-se que a média do monóxido de carbono (CO), também está abaixo dos limites máximos permitidos pela Resolução nº 382/2006, de 26 de dezembro de 2006.

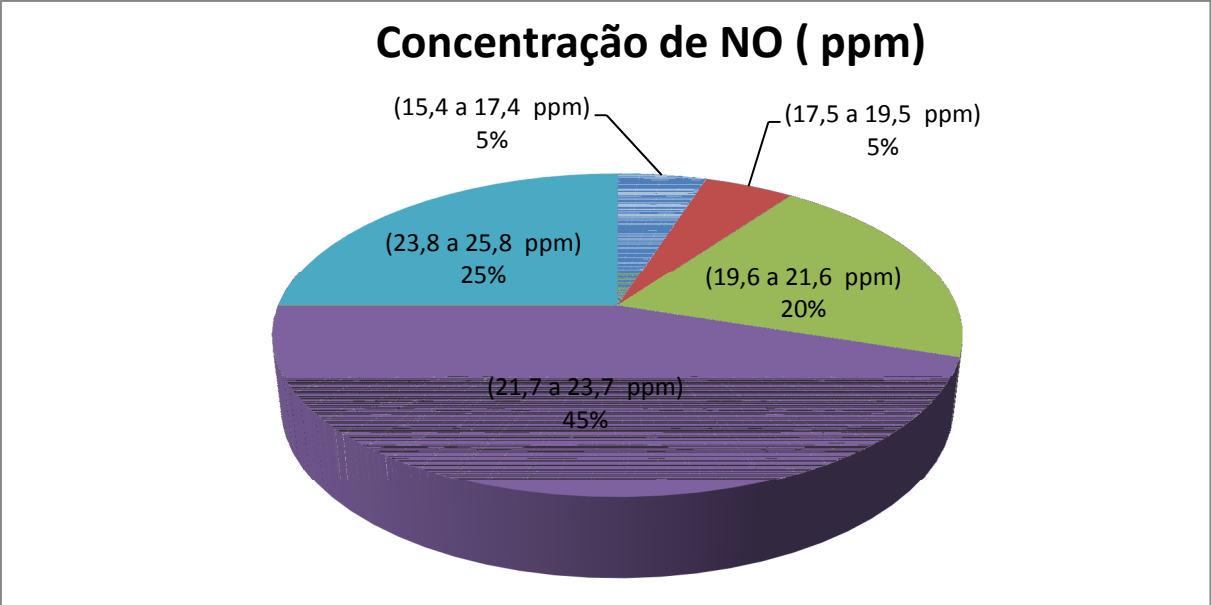


Gráfico 8 – Concentração de NO (ppm)

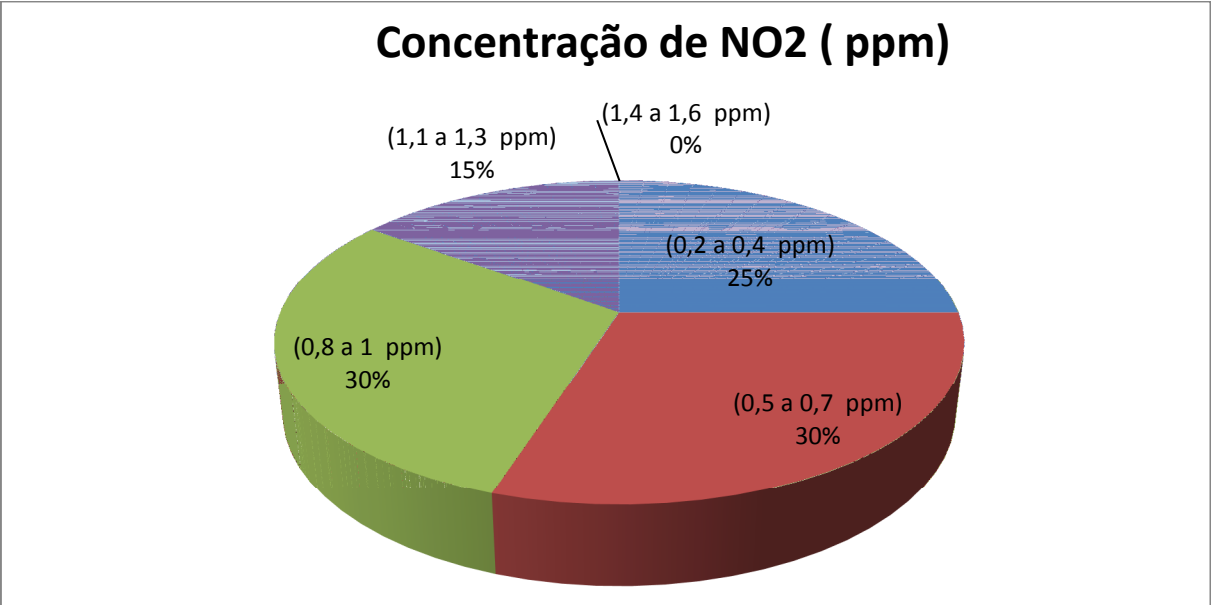


Gráfico 9 – Concentração de NO₂ (ppm)

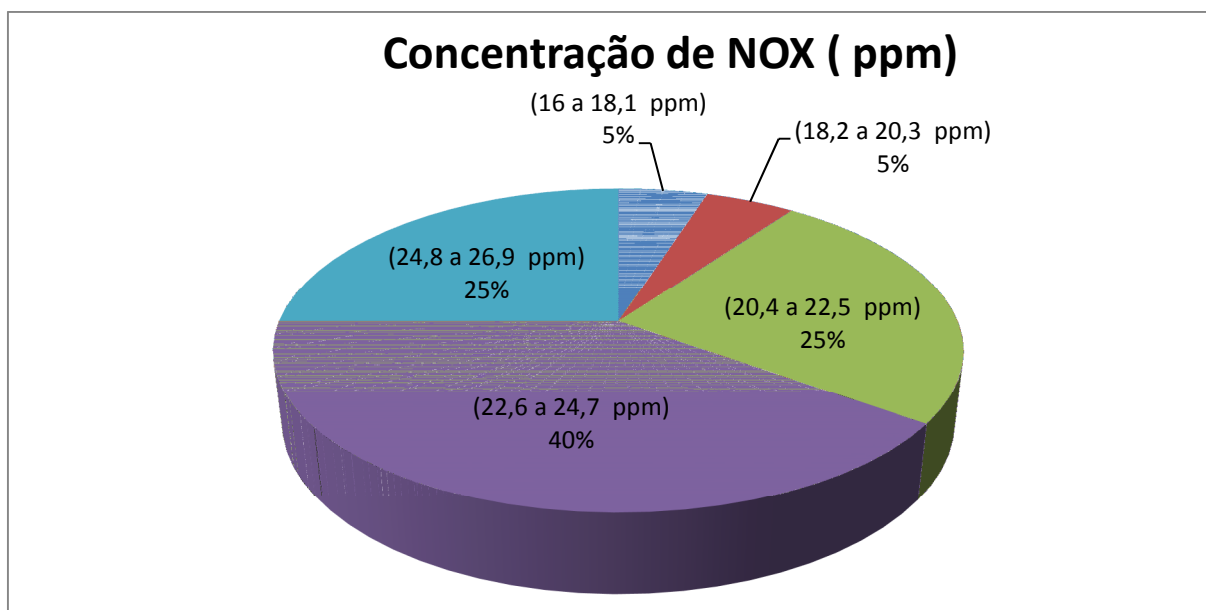


Gráfico 10 – Concentração de NO_x (ppm)

Já as medições das concentrações dos gases do efeito estufa – CO, CO₂, NO, NO₂ e NO_x – na base da chaminé em julho de 2013, constantes na Tabela 17 e cuja a análise estatística também realizada pelo método *t Student* e visualizada nos Gráficos 11 a 15.

Nesta análise estatística das medições de julho de 2013, verifica-se que, na concentração de monóxido carbono (CO ppm), no gráfico 11, as maiores médias ficaram no intervalo entre 19,8 a 22,6 ppm, com o percentual de 35%. Já nas concentrações do dióxido de carbono (CO₂ %), no gráfico 12, as maiores médias ficaram entre os intervalos de 6,0 a 6,2 com 45% e como resultado de ambas as análises é possível compreender que não existem riscos de poluição atmosférica desses gases.

Tabela 17 – Concentrações de gases do efeito estufa e condições atmosféricas na base da chaminé

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Data	15/07/2013	15/07/2013	15/07/2013	15/07/2013	16/07/2013	16/07/2013	16/07/2013	16/07/2013	17/07/2013	17/07/2013	17/07/2013	17/07/2013	18/07/2013	18/07/2013	18/07/2013	18/07/2013	19/07/2013	19/07/2013	19/07/2013	19/07/2013
Horário	08:00	10:0	14:00	17:30	08:00	10:00	14:00	17:30	08:00	10:00	14:00	17:30	08:00	10:00	14:00	17:30	08:00	10:00	14:00	17:30
O ₂ (%)	10,8	11,7	11,9	13,2	11,1	10,7	10,9	11,2	11,3	12,2	12,9	13,1	11,4	12,7	10,9	11,2	11,1	11,7	12,9	13,4
H ₂ (ppm)	11,5	10,8	12,2	13,4	8,8	9,3	11,8	12,0	9,8	10,6	6,8	12,4	13,1	10,8	9,8	8,8	7,2	8,4	9,8	12,1
CO (ppm)	14	15	16	14	21	22	22	20	24	22	18	20	14	16	28	22	24	26	26	28
CO ₂ (%)	6,1	6,0	6,2	6,2	6,0	6,0	6,2	6,4	6,2	6,2	6,4	6,6	6,4	6,4	6,6	6,6	6,8	6,8	7,0	7,2
NO (ppm)	32,1	33,9	34,7	36,2	34,2	36,8	31,6	34,6	32,6	34,2	35,2	37,4	39,1	39,9	28,2	33,9	35,1	35,8	34,4	35,4
NO ₂ (ppm)	0,8	0,9	1,2	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	0,7	0,9	1,2	1,8	1,3	1,9	2,4	3,1	2,4	2,6	2,8	3,01
NO _x (ppm)	32,9	34,8	35,9	37,8	35,8	38,6	33,5	36,6	33,3	35,1	36,4	39,2	40,4	41,8	30,6	37,0	37,5	38,4	37,2	38,4
TF (° C)	197,3	199,3	199,8	198,4	189,4	191,2	196,7	201,9	198,1	199,7	199,9	196,1	198,8	199,3	199,9	199,1	201,5	201,9	199,9	196,4
TA (° C)	24,8	26,9	31,4	28,1	23,8	24,4	25,2	26,8	23,4	25,8	26,2	25,8	25,8	26,1	27,3	26,9	24,2	25,2	26,8	26,4
PO (° C)	47,8	48,1	48,7	50,9	49,4	49,8	48,7	49,9	44,6	46,3	49,2	49,8	46,7	47,8	48,3	49,1	45,4	47,7	39,1	38,4
PA (mm Hg)	712,8	713,5	715,5	716,8	713,2	713,9	715,2	716,2	710,9	712,7	713,8	715,9	718,7	719,9	715,7	717,9	715,2	717,8	718,4	716,0
UR (%)	56,2	54,4	52,9	53,8	58,8	56,6	54,4	55,4	54,9	54,4	53,8	53,8	56,2	54,4	52,9	53,8	56,2	54,4	52,9	53,8

Nota: A caldeira funciona em boas condições, com lavador de gases tipo Venturi.

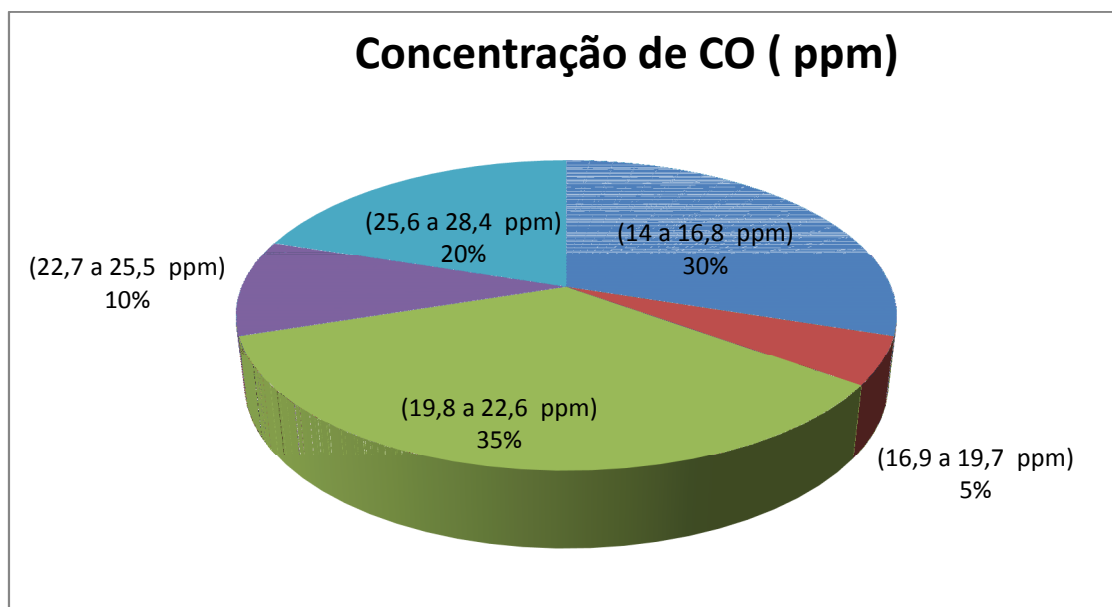
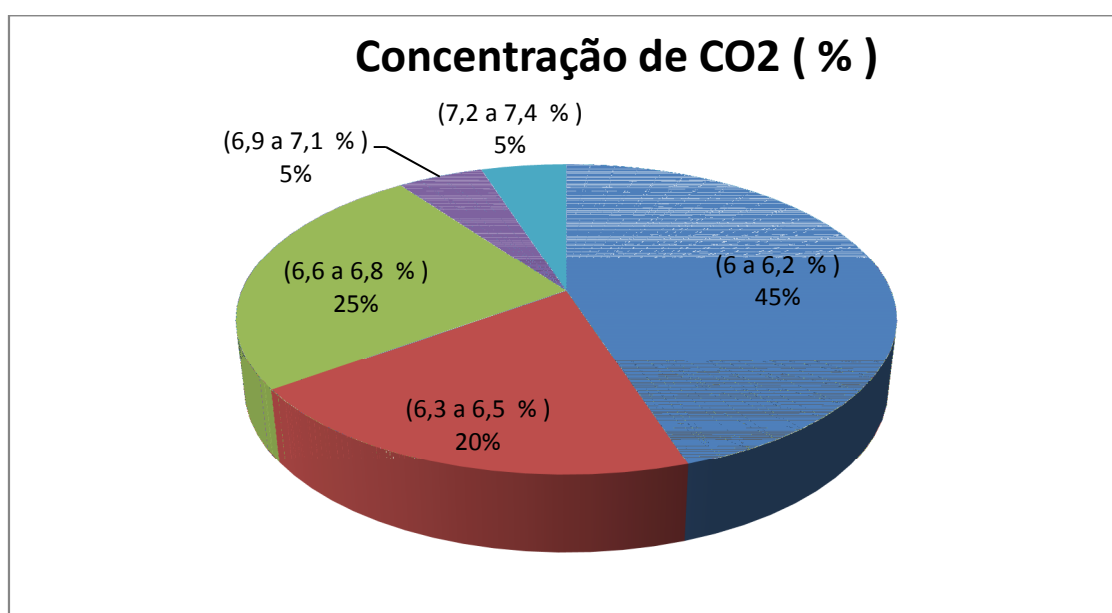


Gráfico 11 – Concentração de CO (ppm)

Gráfico 12 – Concentração de CO₂ (%)

Nas concentrações do mesmo período dos óxidos de nitrogênio (NO, NO₂ e NO_x), nos gráficos 13 a 15, foi possível verificar que a concentração do NO teve suas maiores médias no intervalo de 33,0 a 35,3 ppm, com 45%. Nas concentrações do NO₂, as maiores médias ficaram também em dois intervalos de 1,2 a 1,6 ppm e 1,7 a 2,1 ppm, com um percentual em 25% em ambos os intervalos. Finalmente, nas medições de NO_x, as maiores médias foram

encontradas no intervalo de 35,2 a 37,4 ppm com percentual de 30% e também não são considerados poluentes.

Conforme o Anexo III da Resolução Conama nº 382/2006, que estabelece os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar, em fonte fixa, segue na Tabela 18 a medição do NO_x em mg/Nm^3 em base seca e 8% de excesso de oxigênio.

Tabela 18 – Resultado das medições de NO_x

Potência térmica nominal (MW)	Valores Máximos permitidos - NO_x (como N O_2) em mg/Nm^3	NO_x (como NO_2) - Média Medições em mg/Nm^3
Menor que 10	Não aplicável	-
Entre 10 e 75	350	195,7
Maior que 75	350	-

Na análise da medição acima, verifica-se que a média do óxido de nitrogênio (NO_x) está abaixo dos limites máximos permitidos pela referida resolução regulamentadora.

Comparando-se novamente com os resultados de Okano (2004) e Moreira (2007), o índice atual medido dá uma noção exata de que o combustível oriundo da cultura da cana-de-açúcar, o bagaço, é menos poluidor e, conseqüentemente, não contribui para o efeito estufa.

Conforme o item 3.3 do Anexo III da Resolução Conama nº 382/2006 para sistemas com potência de até 10 MW, o órgão ambiental licenciador poderá aceitar o monitoramento periódico apenas do monóxido de carbono, cujos limites estão demonstrados na Tabela 19, também expresso em mg/Nm^3 em base seca e 8% de excesso de oxigênio.

Tabela 19 – Resultado das medições de CO

Potência térmica nominal (MW)	Valores máximos permitidos - CO em mg/Nm^3	CO - Média Medições em mg/Nm^3
Até 0,05	6500	-
Entre > 0,05 e < 0,15	3250	-
Entre > 0,15 e < 1,0	1700	-
Entre > 1,0 e < 10	1300	123,6

A análise da medição da tabela acima possibilita a verificação de que a média do monóxido de carbono (CO), também está abaixo dos limites máximos permitidos pela Resolução Conama nº 382/2006, de 26 de dezembro de 2006.

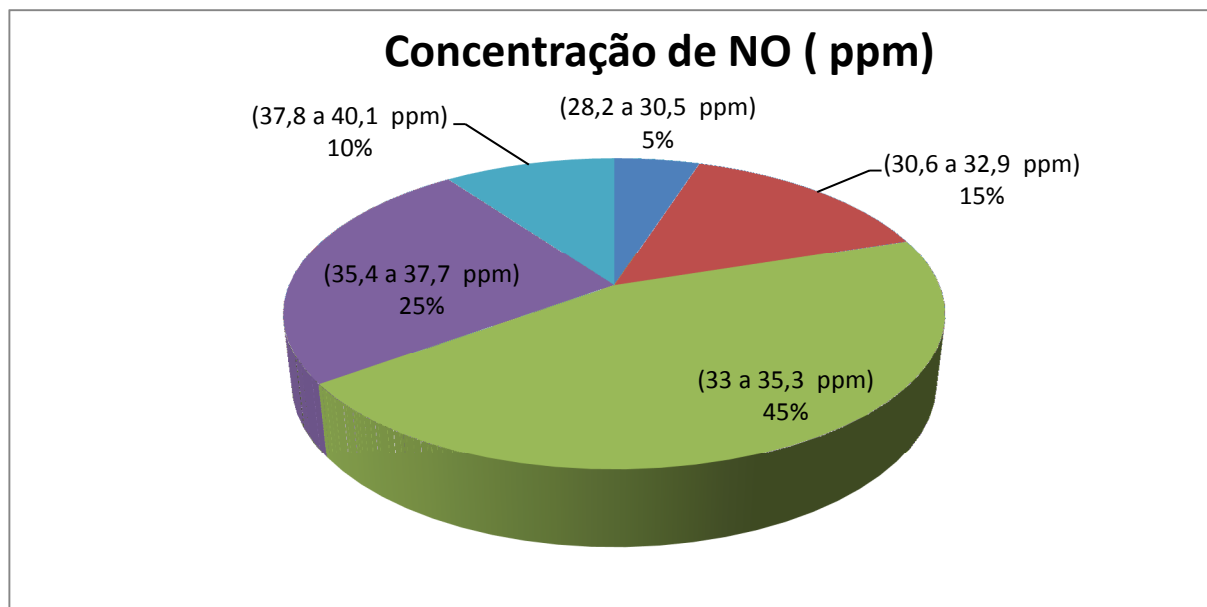


Gráfico 13 – Concentração de NO (ppm)

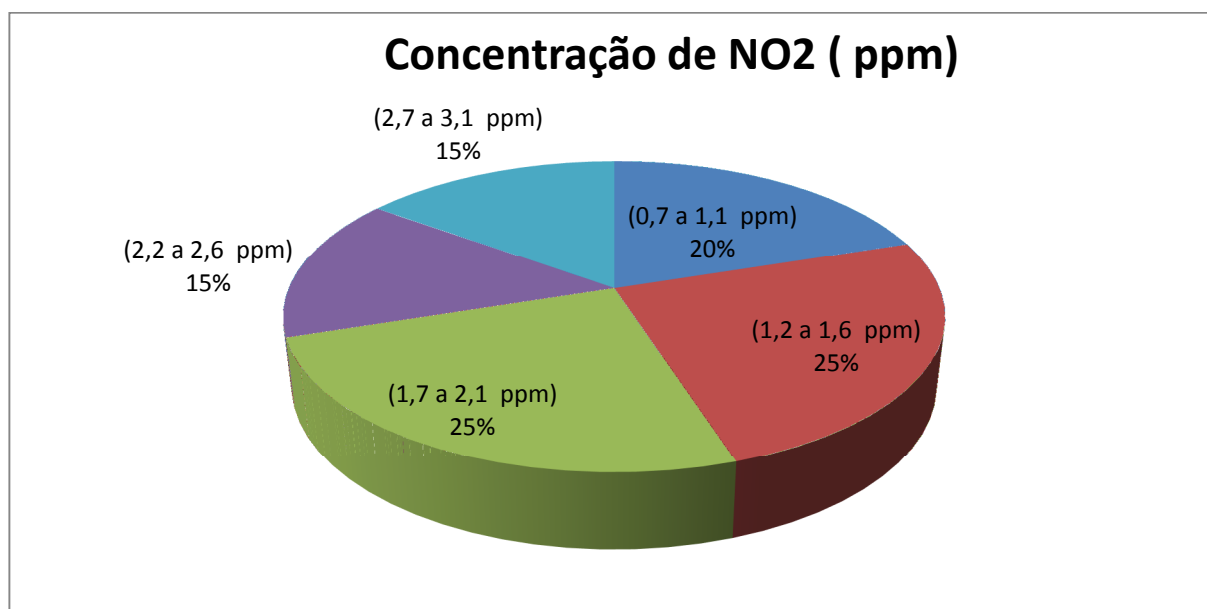


Gráfico 14 – Concentração NO₂ (ppm)

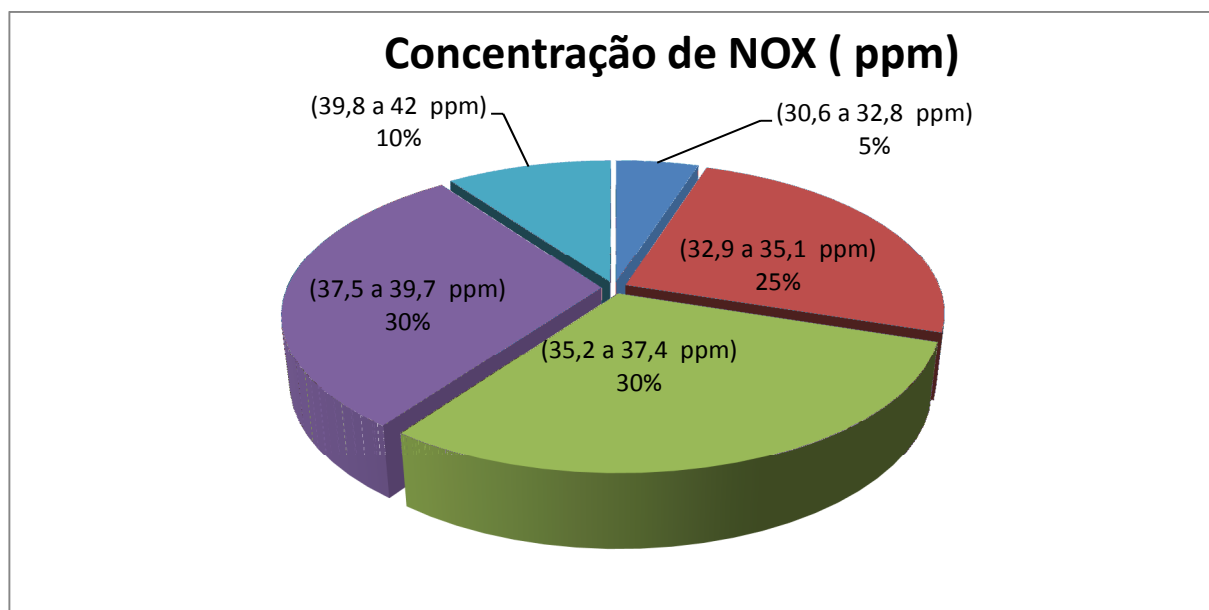


Gráfico 15 – Concentração NO_x (ppm)

Na Tabela 20 estão os níveis medidos de ruídos emitidos no entorno da caldeira, no período de novembro de 2012, nas distâncias de 1m, 2m, 4m e 8m.

Tabela 20 – Níveis de ruído emitidos pela caldeira

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Data	10/11/2012	10/11/2012	11/11/2012	11/11/2012	12/11/2012	12/11/2012	13/11/2012	13/11/2012	14/11/2012	14/11/2012	15/11/2012	15/11/2012	16/11/2012	16/11/2012	17/11/2012	17/11/2012	18/11/2012	18/11/1900	19/11/2012	19/11/2012
Horário	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30
Distância (m) da Caldeira	Nível de ruídos dB (Médio)																			
1	80,4	84,8	85,6	84,5	86,8	83,7	84,1	83,9	83,4	86,4	84,9	84,7	83,2	84,1	82,9	84,8	84,6	84,9	83,9	84,8
2	72,4	71,9	72,0	71,3	70,0	71,3	70,7	71,8	70,7	71,0	71,1	70,2	69,9	71,8	70,0	70,9	70,7	70,3	70,2	70,2
4	68,9	67,4	67,1	67,4	67,2	67,3	67,9	67,4	67,0	67,8	67,2	67,4	65,9	66,9	67,1	67,4	67,1	66,8	67,2	67,3
8	62,3	63,8	62,7	61,9	62,5	63,1	62,5	61,9	63,1	62,6	61,8	62,8	61,8	62,4	62,9	63,2	63,4	62,8	61,9	62,1

Na análise estatística realizada por meio do confronto das médias pelo método *t Student*, das medições dispostas nos Gráficos 16 a 19, a seguir, pode-se verificar que nas emissões de ruídos a 1 metro de distância da caldeira, as maiores médias ficaram no intervalo entre 84,3 a 85,5 decibéis, com 40%. Nas emissões de ruídos a 2 metros de distância da caldeira, as maiores médias ficaram no intervalo entre 69,93 a 70,4 dB com 35%. Nas emissões de ruídos a 4 metros de distância da caldeira, as maiores médias ficaram no intervalo entre 66,6 a 67,2 dB com 45%. Por último, as emissões de ruídos a 8 metros de distância da caldeira tiveram as maiores médias em dois intervalos entre 61,8 a 62,2 dB e 62,3 a 62,7 dB, ambas com 30%.

Analisando as médias estatísticas das emissões de ruídos nas distâncias de 1, 2, 4 e 8 metros da caldeira, à luz da legislação em vigor para a zona rural (local das medições), a NR-15, pode-se afirmar que as emissões estão em conformidade legal e, conseqüentemente, não existiu poluição sonora no entorno da caldeira.

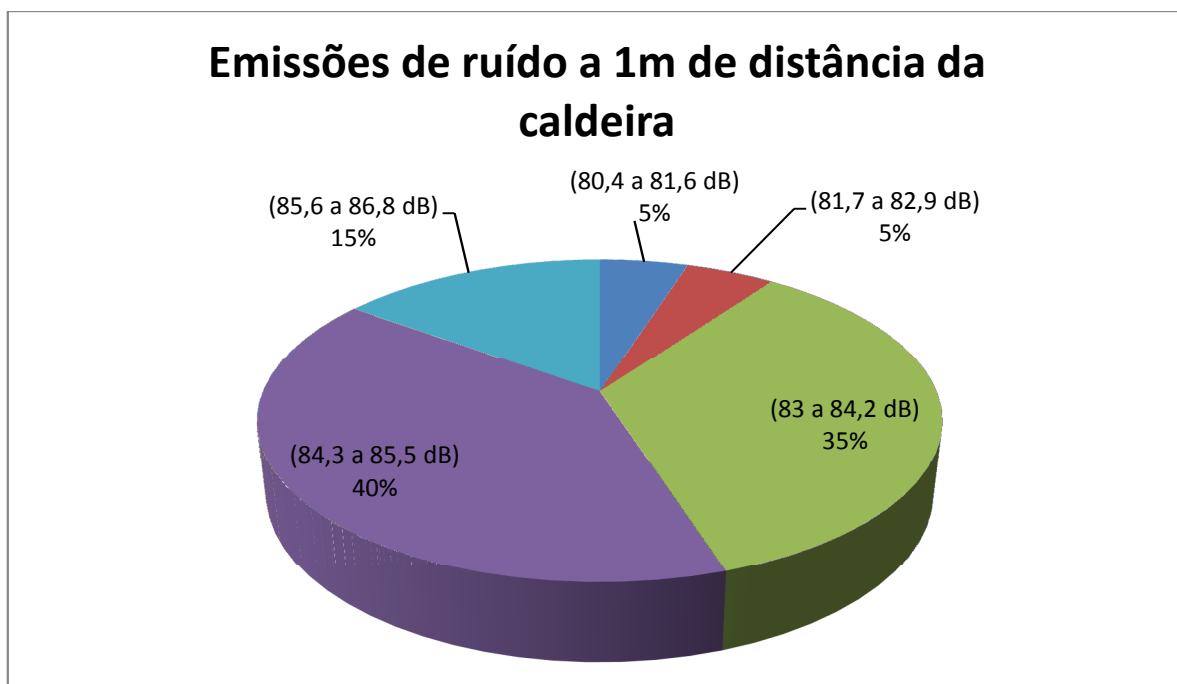


Gráfico 16 – Emissões de ruído a 1m de distância da caldeira

Emissões de ruído a 2m de distância da caldeira

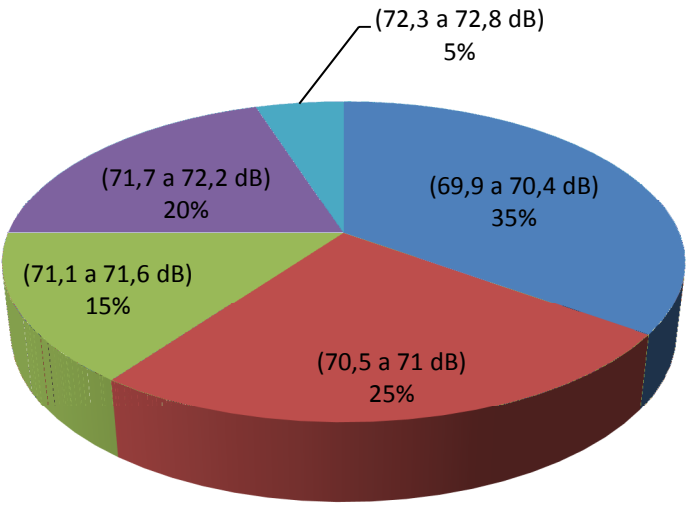


Gráfico 17 – Emissões de ruído a 2m de distância da caldeira

Emissões de ruído a 4m de distância da caldeira

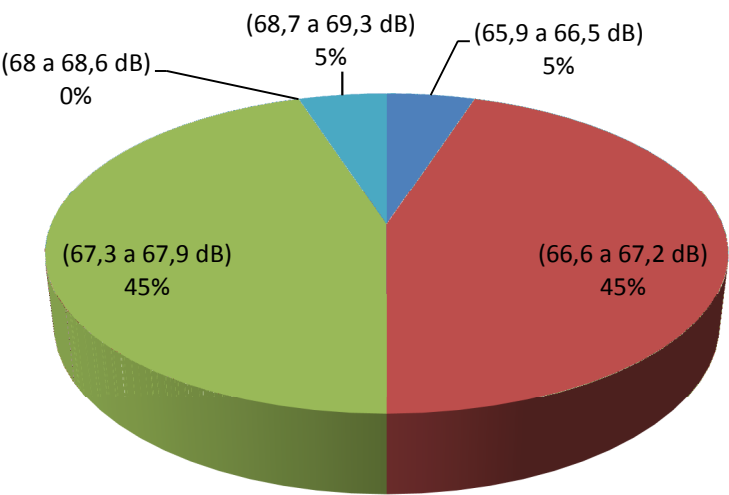


Gráfico 18 – Emissões de ruído a 4 m de distância da caldeira

Emissões de ruído a 8m de distância da caldeira

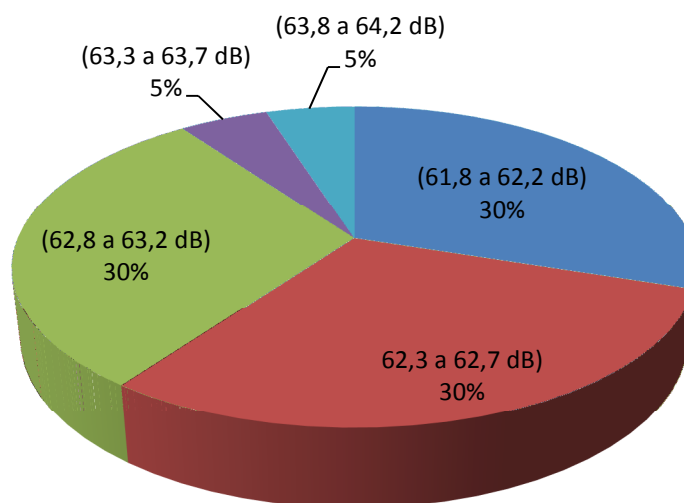


Gráfico 19 – Emissões de ruído a 8m de distância da caldeira

Na Figura 9, pode-se observar a emissão de fumaça e de material particulado, materiais que não foram medidos neste trabalho, mas poderão fazer parte de outro estudo no futuro. A olho nu, não se podem verificar a densidade da fumaça e, conseqüentemente, seu poder de gerar material particulado.



Figura 9 – Emissão de fumaça pela chaminé

CONCLUSÃO

O principal motivador para a realização da presente pesquisa foi o vertiginoso crescimento da cultura da cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul, com a premissa de produzir alimentos, biocombustíveis e energia, esta a partir da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar, mas que ainda não tem bases científicas para a avaliação de fatores que possam gerar uma estratégia de sustentabilidade.

Já é consenso que a geração de bioenergia a partir da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar apresenta inúmeras vantagens, mas ainda é preciso discutir, estudar e implantar novas tecnologias de controle de emissões dos gases do efeito estufa oriundos dessa geração.

Este estudo teve por objetivo avaliar a emissão dos principais gases de efeito estufa e de ruídos emitidos na produção de bioeletricidade a partir da biomassa de cana-de-açúcar, em uma caldeira aquatubular movida a partir do bagaço de cana-de-açúcar, realizada em uma usina produtora de açúcar, álcool e energia, Usina Sonora, em Sonora-MS.

O efeito estufa é um fenômeno natural que está sujeito às concentrações de alguns gases na atmosfera, principalmente aqueles provenientes de atividades humanas em processos industriais, tal como a produção de bioenergia a partir da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar. Assim sendo, o presente trabalho mediu e analisou a emissão desses gases, que são: o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂) e os óxidos de nitrogênio (NO, NO_x e NO₂)

Existem no Brasil discussões em âmbito nacional e também no Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Consema) que se resumem basicamente em conceituar e/ou padronizar a qualidade do ar e o conceito de saturação com o objetivo de que as medições sejam analisadas em um formato único.

Entretanto, existem diversos padrões a serem considerados tais como os do Brasil (Conama e Cetesb); dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*) além de outros da União Europeia, do México, Canadá, além daquele da Organização Mundial de Saúde (OMS) que também tenta padronizar e regulamentar as medidas dos índices desejáveis de qualidade do ar.

Neste trabalho realizou-se uma análise estatística e uma comparação à luz da legislação brasileira que trata da emissão de efluentes gasosos, mais especificamente dos gases do efeito estufa, tendo como referência e balizamento a Resolução Conama nº

382/2006, de 26 de dezembro de 2006. Em seu Anexo III, a referida resolução define as emissões de poluentes atmosféricos para fontes fixas, gerados em processos de geração de calor a partir da combustão de bagaço de cana-de-açúcar, sendo os principais gases os NO_x e o CO e materiais particulados. Em ambas as medições, no 1º período de novembro/2012 com a média do NO_x em $160,2 \text{ mg/Nm}^3$ e o CO $124,5 \text{ mg/Nm}^3$ e no 2º período de julho/2013 com a média do NO_x em $195,7 \text{ mg/Nm}^3$ e o CO $123,6 \text{ mg/Nm}^3$, não ocorrendo desconformidade legal. Destaca-se aqui que os materiais particulados não foram objeto de estudo do presente trabalho, razão pela qual a pesquisa se ateve aos dois primeiros.

Pode-se concluir que a produção de eletricidade excedente com biomassa de cana-de-açúcar, apresenta-se como oportunidade de redução da emissão dos gases do efeito estufa, posto que, como já se viu nos resultados, as concentrações do CO e NO_x emitidas estão em conformidade com os valores máximos descritos na Resolução Conama supramencionada.

Quanto aos resultados da emissão de ruídos acústicos, estes ficaram abaixo dos níveis estipulados pela norma regulamentadora.

Assim, este trabalho pretende contribuir para destacar que a minimização de emissão de gases do efeito estufa, mesmo estando dentro dos padrões do Conama, também demanda por pesquisas que analisem as dispersões desses gases, especialmente em estados periféricos como é o caso do Mato Grosso do Sul, visto que alguns, como os óxidos de nitrogênio, quando dispersos na atmosfera, reagem e formam poluentes secundários como o ozônio troposférico.

Enfim, com base neste estudo e considerando as novas tecnologias adotadas, pode-se concluir que a atividade sucroalcooleira, especialmente a produção de eletricidade excedente com biomassa de cana-de-açúcar, pode contribuir significativamente na redução das taxas de emissão dos gases de efeito estufa.

Tal consideração, entretanto, leva em conta que a necessidade de ampliação da matriz energética brasileira com combustíveis renováveis também representa a constante e crescente demanda por estudos e pesquisas sobre os impactos dessas novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES JR., Olimpio de Melo; LACAVA, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. **Emissões atmosféricas**. Brasília, DF: Senai/DN, 2002.

ANDERY, M. A. et al. (Orgs.) **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

BERMAN, C. Crise ambiental e as energias renováveis. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 60, n. 3, set. 2008. Disponível em: http://www.scielo.php?pid=S0009-672520080003000108script=sci_arttext. Acesso em 18 de agosto de 2013:

BERNAL, J. D. **Ciência na história**. Lisboa: Livros Horizonte, 1976. v. 3.

BIOSUL – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA DE MATO GROSSO DO SUL. **Bioeletricidade é o terceiro produto das usinas em MS**. Disponível em: <http://www.biosulms.com.br/perfnoticia.php?not=370>. Acesso em: 26 mar. 2013.

BRASIL. Congresso Nacional. Decreto no. 23793 de 23 de janeiro de 1934. Poder Executivo, Rio de Janeiro, 23 de janeiro de 1934.

_____. Congresso Nacional. Resolução Conama 001/86, de 23 de janeiro de 1986. Poder Executivo, Brasília, DF, 24 de janeiro de 1986.

_____. Congresso Nacional. Resolução Conama 003/90, de 28 de junho de 1990. Poder Executivo, Brasília, DF, 29 de junho de 1990.

_____. Congresso Nacional. Resolução Conama 382/2006, de 26 de dezembro de 2006. Poder Executivo, Brasília, DF, 27 de dezembro de 2006.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agronegócio. **Açúcar e Alcool no Brasil** – Departamento de Cana-de-Açúcar e Agroenergia. Março, 2007.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. de. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, nov./dez. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n6/a50v34n6.pdf>. Acesso em 17 de outubro de 2013:

Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 04 jul. 2013.

COMISSÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA – CSPE. **Usinas termelétricas de pequeno porte no Estado de São Paulo**. 2 ed.rev. amp. São Paulo: Páginas e Letras, 2004.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar**: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia EP/FEA/IEE/IF da Universidade de

São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: www.iel.usp.sp.br/biblioteca/producao/2009/Teses/DissertacaoPauloDantas_apos_defesa.pdf. Acesso em 17 de outubro de 2013.

GOLDEMBERG, J. **S.O.S. Planeta Terra**. O efeito estufa. São Paulo: Brasiliense, 1989.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: perspectivas para países em desenvolvimento**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – EP/ FEA/ IEE/ IF da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GURGEL, M. D. A. **Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como biofertilizante organomineral granulado**. 2012. Tese (Doutorado) – Faculdade de Energia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

HOBSBAWM, E. **A era das revoluções: 1789-1848**. Trad. Maria Tereza Teixeira e Marcos Penchel. 25ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 2010.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da Federação**. Divulgado em Set. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatisticas/economia/agropecuaria/censoagro>. Consultado em 15 de agosto de 2013.

LEME, R. M. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso da água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar**. 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília /DF: Aneel, 2000.

MOREIRA, L. C. O. **Avaliação dos poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por uma caldeira flamotubular a gás natural**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

OLIVEIRA, J. G. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucroalcooleiro paulista**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

OKANO, S. M. **Avaliação dos poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por uma caldeira flamotubular a óleo combustível BPF 2A**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2004.

PEREIRA, M. E. M.; GIOIA, S. C. Séculos XVIII E XIX: revolução na economia e na política. In ANDERY, M. A. et al. (Orgs.). **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

PÚBLICO.PT. Fichas. Disponível em:
 <http://static.publico.pt/fichas/ambiente/efeito_estufa.html>. Acesso em: 25 out. 2013.

SILVA, P. P. Análise do impacto regulatório na dificuldade de implantação de projetos de cogeração a partir da biomassa de cana em MS. In CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO, 7. Anais... 2011. Disponível em:
<http://www.unisite.ms.gov.br/unisite/control/showfile/id/94015>. Acesso em: 23 de julho de 2013

TEIXEIRA, Flavio Neves; LORA, Electo Silva. Experimental na analytical evaluation of NOx emissions bagasse boilers. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 26, n. 6, p. 571-577, 2004.

TETTI, L. Biomassa. In ORTIZ, L. S. (Org.) **Fontes alternativas de energia e eficiência energética**: opção para uma política energética sustentável no Brasil. Campo Grande: Fundação Heinrich Böll, Coalizão Rios Vivos, 2002.

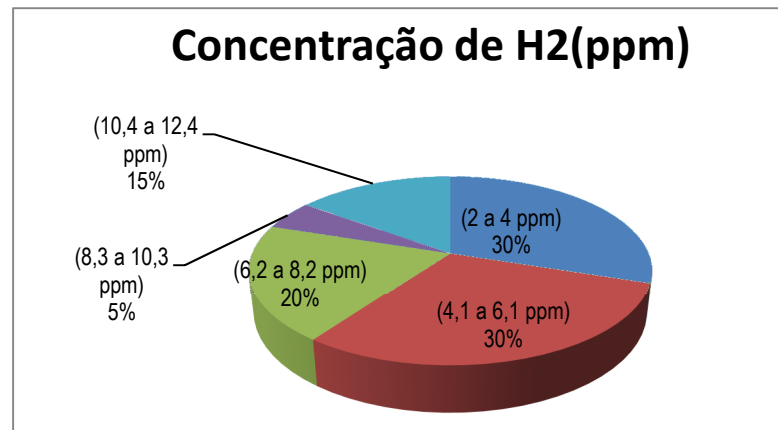
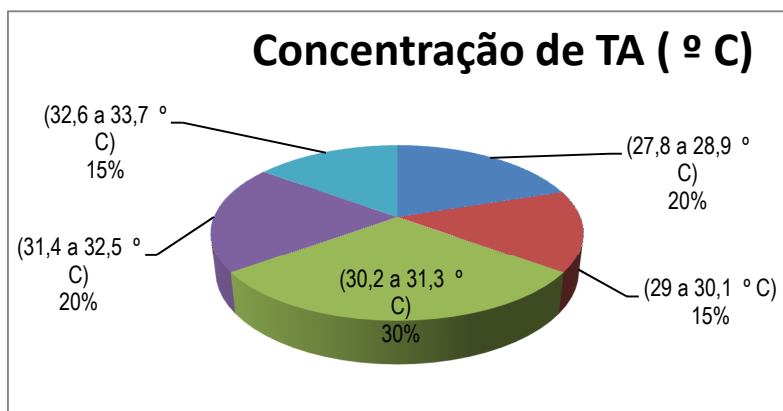
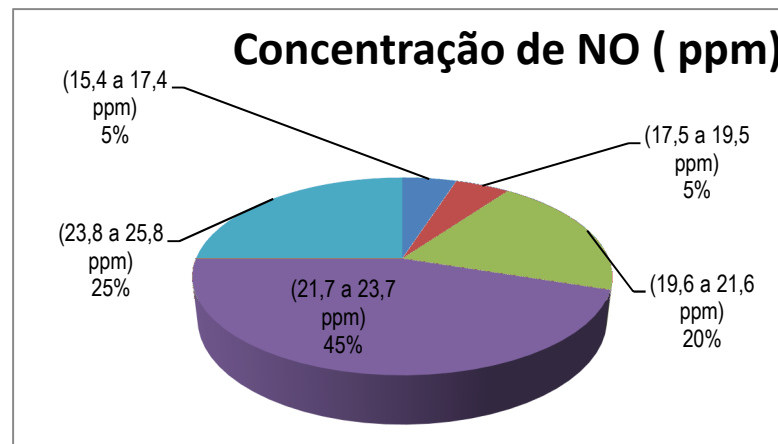
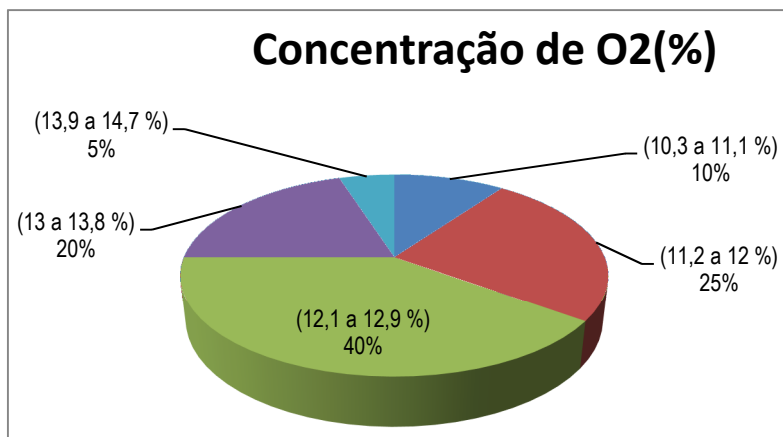
UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Approved baseline methodology, AM0015 – Bagasse-based electricity generation connected to an electricity grid.2004b**. Disponível em: <http://www.unfccc.int>. Acesso em: 25 ago. 2013.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Usina Virtual**. 2010. Disponível em: <http://www.unica.com.br/usina-virtual>. Acesso em 12 de outubro de 2012

Anexo I.1 - Concentração de poluentes – Tabela geral de medições mês nov/2013

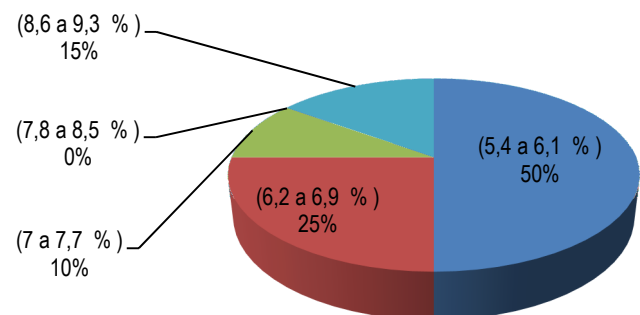
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Data	10/11/2012	10/11/2012	11/11/2012	11/11/2012	12/11/2012	12/11/2012	13/11/2012	13/11/2012	14/11/2012	14/11/2012	15/11/2012	15/11/2012	16/11/2012	16/11/2012	17/11/2012	17/11/2012	18/11/2012	18/11/1900	19/11/2012	19/11/2012	Média
Horário	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	08:00	14:00	
O ₂ (%)	12,6	13,6	11,9	12,8	11,4	12,6	11,2	12,8	12,8	14,4	10,3	11,4	12,4	13,2	11,4	13,4	12,8	13,2	11,1	12,4	12,4
H ₂ (ppm)	2,5	3,5	2,0	3,4	4,4	6,6	4,0	6,0	7,8	11,2	5,6	8,8	11,2	12,2	4,4	6,8	3,6	4,2	4,6	6,6	6,0
CO (ppm)	18	16	18	12	19	20,0	24	18	28	14	16	19	24	26	26	24	26,0	28	24	28	21,4
CO ₂ (%)	5,7	5,8	5,6	6,1	5,7	6,2	5,7	5,8	5,4	6,4	6,2	6,8	7,5	7,3	5,6	8,8	8,8	9,2	5,6	6,6	6,5
NO (ppm)	15,4	22,2	20,5	22,6	23,4	22,8	21,6	24,6	21,8	20,4	22,5	23,2	21,9	22,8	18,2	21,4	25,1	25,8	24,4	25,2	22,3
NO ₂ (ppm)	0,6	1,2	0,8	0,7	0,5	0,9	1,1	0,6	0,4	0,7	0,2	0,8	0,3	0,9	0,4	1,1	0,4	0,8	0,6	0,8	0,7
NO _x (ppm)	16,0	23,4	21,3	23,3	23,9	23,7	22,7	25,2	22,2	21,1	22,7	24,0	22,2	23,7	18,6	22,5	25,5	26,6	25,0	26,0	23,0
TF (° C)	185,2	195,4	189,7	197,3	190,3	201,2	187,6	195,2	191,8	198,7	200,5	211,6	199,7	213,2	196,6	203,7	191,5	196,7	187,8	194,6	196,4
TA (° C)	30,8	32,4	29,2	32,3	31,3	33,4	27,9	31,8	30,6	33,5	30,8	31,4	28,6	30,8	29,3	33,4	27,8	29,9	28,6	30,6	30,7
PO (° C)	48,7	49,1	47,2	49,6	48,8	50,6	49,4	49,8	48,7	49,3	48,5	50,1	47,7	48,8	49,3	51,1	47,8	49,2	48,9	49,1	49,1
PA(mm Hg)	714,8	715,2	712,8	712,9	711,7	712,9	714,5	715,2	716,3	717,1	708,9	709,1	709,7	710,2	713,2	715,5	716,3	715,6	714,8	715,2	713,6
UR (%)	68,2	66,8	69,4	64,8	75,2	73,1	70,5	69,2	72,4	71,2	77,4	75,3	76,8	73,5	79,1	77,2	81,1	79,4	72,8	70,1	73,2

Anexo I.2 - Concentração de poluentes – Gráficos medição mês nov/2013 (1)

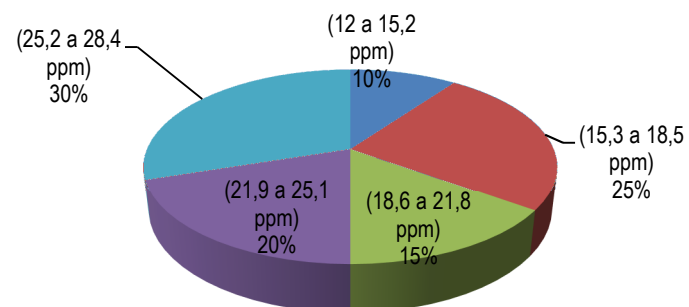


Anexo I.3 - Concentração de poluentes – Gráficos medição mês nov/2013 (2)

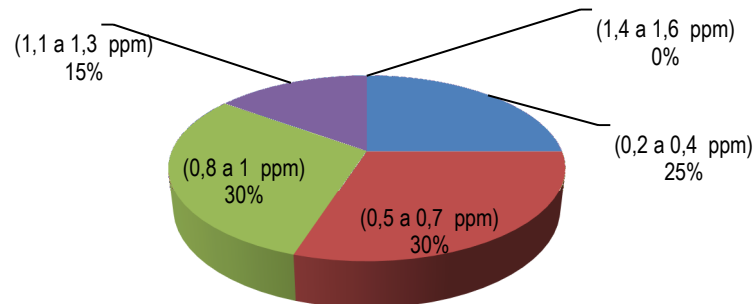
Concentração de CO₂ (%)



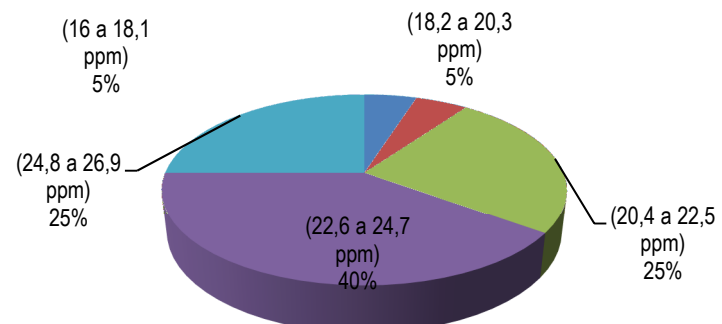
Concentração de CO (ppm)



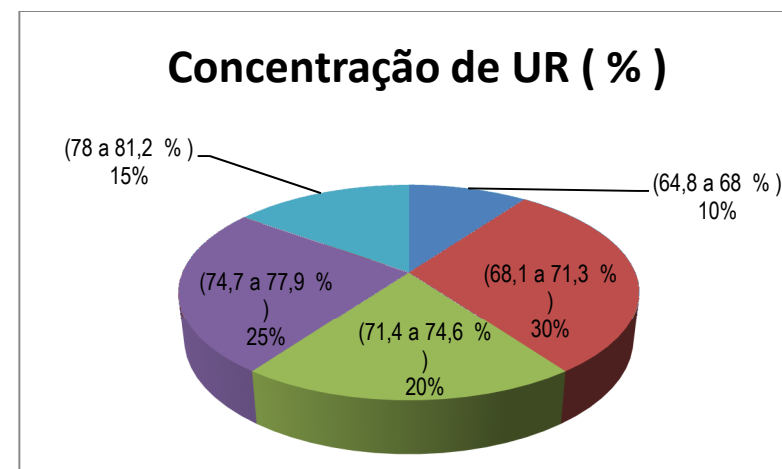
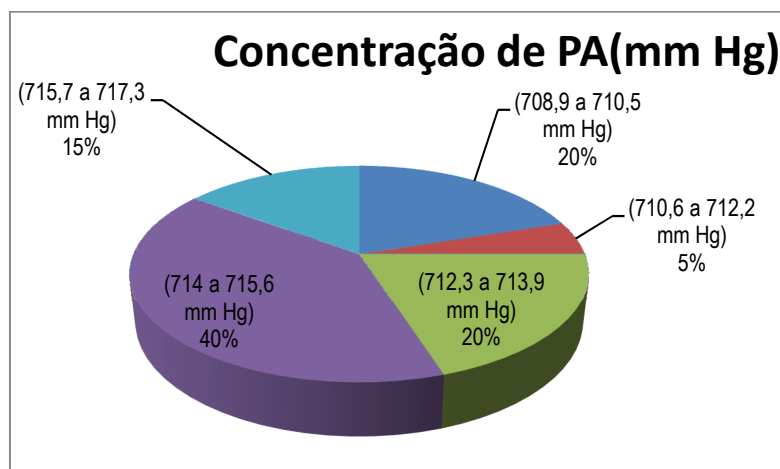
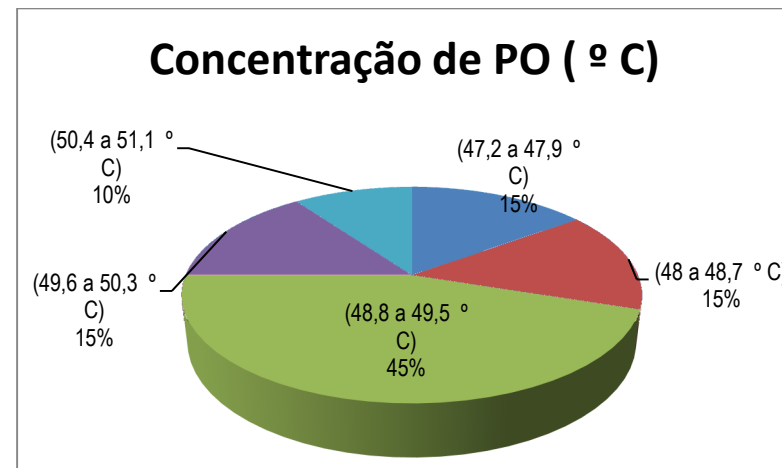
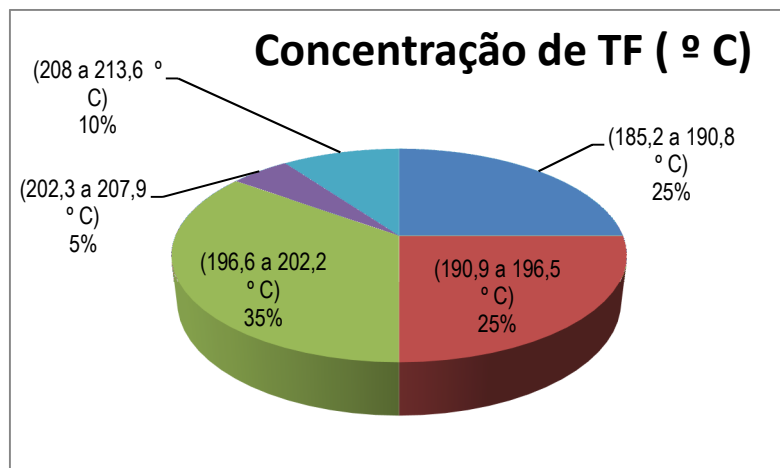
Concentração de NO₂ (ppm)



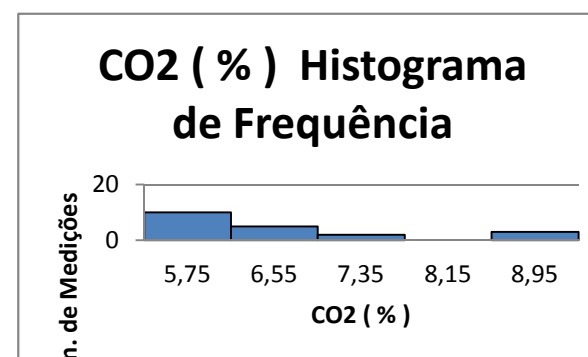
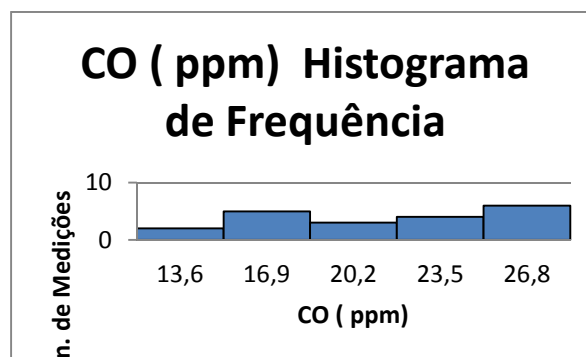
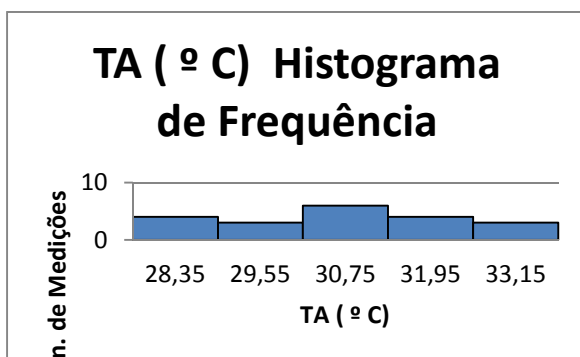
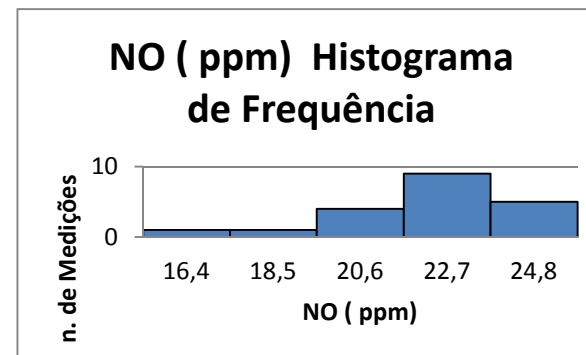
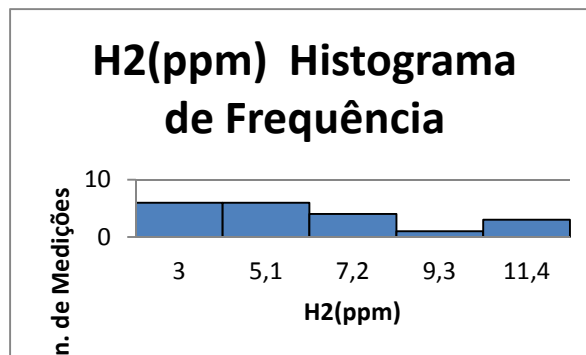
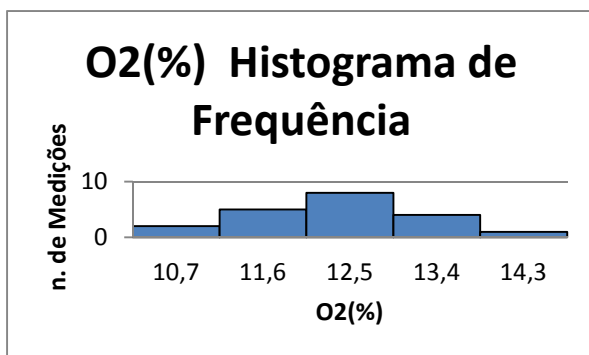
Concentração de NO_x (ppm)



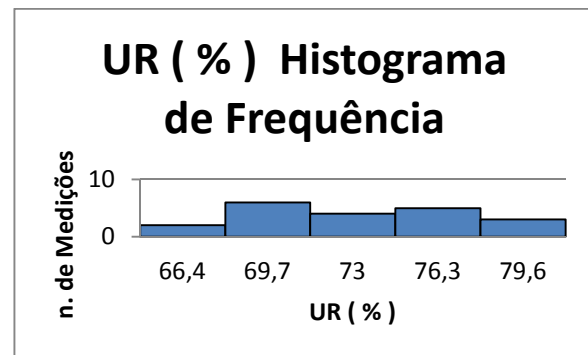
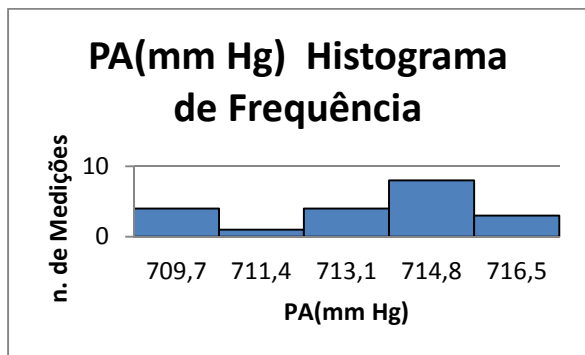
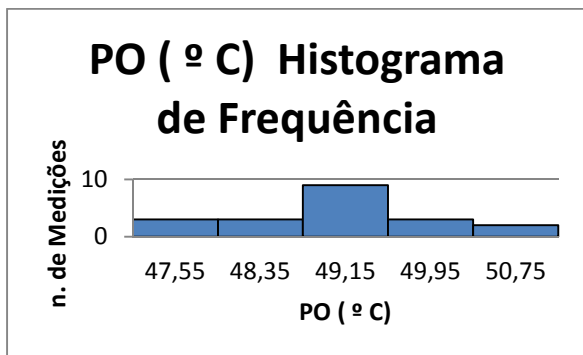
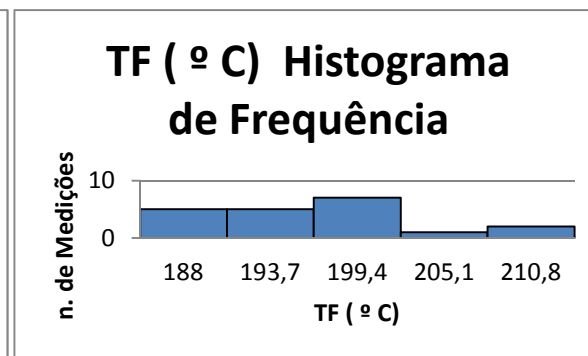
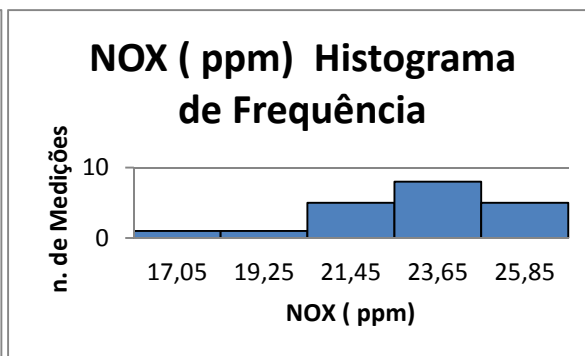
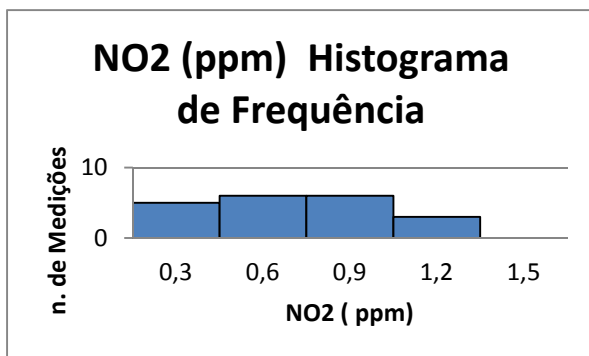
Anexo I.4 - Concentração de poluentes – Gráficos medição mês nov/2013 (3)



Anexo I.5 - Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês nov/2013 (1)



Anexo I.6 - Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês nov/2013 (2)



Anexo I.7 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 - Concentração de Poluente O2(%)

número de classes 5

Amplitude das classes 0,9

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente O2(%)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	10,3	11,1	(10,3 a 11,1 %)		2	10,7	2	10,0%	10,0%
2	11,2	12	(11,2 a 12 %)		5	11,6	7,0	25,0%	35,0%
3	12,1	12,9	(12,1 a 12,9 %)		8	12,5	15,0	40,0%	75,0%
4	13	13,8	(13 a 13,8 %)		4	13,4	19,0	20,0%	95,0%
5	13,9	14,7	(13,9 a 14,7 %)		1	14,3	20,0	5,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 1,006 dB

Erro

Média amostral 12,39 (%) (%)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,471 (%)

Anexo I.8 - de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 - Concentração de Poluente H2 (ppm)

número de classes 5

Amplitude das classes 2,1

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente H2(ppm)

n. Classe				Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	2	4		(2 a 4 ppm)	6	3	6	30,0%	30,0%
2	4,1	6,1		(4,1 a 6,1 ppm)	6	5,1	12,0	30,0%	60,0%
3	6,2	8,2		(6,2 a 8,2 ppm)	4	7,2	16,0	20,0%	80,0%
4	8,3	10,3		(8,3 a 10,3 ppm)	1	9,3	17,0	5,0%	85,0%
5	10,4	12,4		(10,4 a 12,4 ppm)	3	11,4	20,0	15,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 2,960 dB

Erro
Média amostral 5,97 (ppm)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 1,385 (ppm)

Anexo I.9 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 - Concentração de Poluente CO (ppm)

número de classes 5
Amplitude das classes 3,3

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente CO (ppm)

n. Classe				Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	12	15,2		(12 a 15,2 ppm)	2	13,6	2	10,0%	10,0%
2	15,3	18,5		(15,3 a 18,5 ppm)	5	16,9	7,0	25,0%	35,0%
3	18,6	21,8		(18,6 a 21,8 ppm)	3	20,2	10,0	15,0%	50,0%
4	21,9	25,1		(21,9 a 25,1 ppm)	4	23,5	14,0	20,0%	70,0%
5	25,2	28,4		(25,2 a 28,4 ppm)	6	26,8	20,0	30,0%	100,0%
	Somatório				20				

Desvio Padrão da amostra 4,978 dB

Erro
Média amostral 21,4 (ppm)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 2,33 (ppm)

Anexo I.10 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente CO2 (%)

número de classes 5

Amplitude das classes 0,8

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente CO2 (%)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	5,4	6,1	(5,4 a 6,1 %)		10	5,75	10	50,0%	50,0%
2	6,2	6,9	(6,2 a 6,9 %)		5	6,55	15,0	25,0%	75,0%
3	7	7,7	(7 a 7,7 %)		2	7,35	17,0	10,0%	85,0%
4	7,8	8,5	(7,8 a 8,5 %)		0	8,15	17,0	0,0%	85,0%
5	8,6	9,3	(8,6 a 9,3 %)		3	8,95	20,0	15,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 1,180 dB

Erro

Média amostral 6,54 (%)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 0,552 (%)

Anexo I.11 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente NO (ppm)

número de classes 5

Amplitude das classes 2,1

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente NO (ppm)

n. Classe			Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
			(15,4 a 17,4 ppm)					
1	15,4	17,4		1	16,4	1	5,0%	5,0%
			(17,5 a 19,5 ppm)					
2	17,5	19,5		1	18,5	2,0	5,0%	10,0%
			(19,6 a 21,6 ppm)					
3	19,6	21,6		4	20,6	6,0	20,0%	30,0%
			(21,7 a 23,7 ppm)					
4	21,7	23,7		9	22,7	15,0	45,0%	75,0%
			(23,8 a 25,8 ppm)					
5	23,8	25,8		5	24,8	20,0	25,0%	100,0%
		Somatório		20				

Desvio Padrão da amostra 2,448 dB

Erro

Média amostral 22,29 (ppm)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 1,146 (ppm)

Anexo I.12 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente NO2 (ppm)

número de classes	5
Amplitude das classes	0,3

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente NO2 (ppm)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	0,2	0,4	(0,2 a 0,4 ppm)		5	0,3	5	25,0%	25,0%
2	0,5	0,7	(0,5 a 0,7 ppm)		6	0,6	11,0	30,0%	55,0%
3	0,8	1	(0,8 a 1 ppm)		6	0,9	17,0	30,0%	85,0%
4	1,1	1,3	(1,1 a 1,3 ppm)		3	1,2	20,0	15,0%	100,0%
5	1,4	1,6	(1,4 a 1,6 ppm)		0	1,5	20,0	0,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 0,275 dB

Erro

Média amostral 0,69 (ppm)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 0,129 (ppm)

Anexo I.13 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente NOX (ppm)

número de classes 5

Amplitude das classes 2,2

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente NOX (ppm)

n. Classe				Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	16	18,1		(16 a 18,1 ppm)	1	17,05	1	5,0%	5,0%
2	18,2	20,3		(18,2 a 20,3 ppm)	1	19,25	2,0	5,0%	10,0%
3	20,4	22,5		(20,4 a 22,5 ppm)	5	21,45	7,0	25,0%	35,0%
4	22,6	24,7		(22,6 a 24,7 ppm)	8	23,65	15,0	40,0%	75,0%
5	24,8	26,9		(24,8 a 26,9 ppm)	5	25,85	20,0	25,0%	100,0%
	Somatório				20				

Desvio Padrão da amostra 2,478 dB

Erro

Média amostral 22,98 (ppm)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 1,16 (ppm)

Anexo I.14 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013– Concentração de Poluente TF (° C)

número de classes 5
Amplitude das classes 5,7

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente TF (° C)

n. Classe	Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	185,2 191 (185,2 a 190,8 ° C)	5	188	5	25,0%	25,0%
2	190,9 197 (190,9 a 196,5 ° C)	5	193,7	10,0	25,0%	50,0%
3	196,6 202 (196,6 a 202,2 ° C)	7	199,4	17,0	35,0%	85,0%
4	202,3 208 (202,3 a 207,9 ° C)	1	205,1	18,0	5,0%	90,0%
5	208 214 (208 a 213,6 ° C)	2	210,8	20,0	10,0%	100,0%
Somatório		20				

Desvio Padrão da amostra 7,375 dB

Erro

Média amostral 196,4 (° C)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T

student) 3,451 (° C)

Anexo I.15 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013– Concentração de Poluente TA (° C)

número de classes 5

Amplitude das classes 1,2

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente TA (° C)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	27,8	28,9	(27,8 a 28,9 º C)		4	28,35	4	20,0%	20,0%
2	29	30,1	(29 a 30,1 º C)		3	29,55	7,0	15,0%	35,0%
3	30,2	31,3	(30,2 a 31,3 º C)		6	30,75	13,0	30,0%	65,0%
4	31,4	32,5	(31,4 a 32,5 º C)		4	31,95	17,0	20,0%	85,0%
5	32,6	33,7	(32,6 a 33,7 º C)		3	33,15	20,0	15,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 1,775 dB

Erro

Média amostral 30,72 (° C)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,831 (° C)

Anexo I.16 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente PO (° C)

número de classes 5

Amplitude das classes 0,8

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente PO (° C)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	47,2	47,9	(47,2 a 47,9 ° C)		3	47,55	3	15,0%	15,0%
2	48	48,7	(48 a 48,7 ° C)		3	48,35	6,0	15,0%	30,0%
3	48,8	49,5	(48,8 a 49,5 ° C)		9	49,15	15,0	45,0%	75,0%
4	49,6	50,3	(49,6 a 50,3 ° C)		3	49,95	18,0	15,0%	90,0%
5	50,4	51,1	(50,4 a 51,1 ° C)		2	50,75	20,0	10,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 0,927 dB

Erro

Média amostral 49,09 (° C)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 0,434 (° C)

Anexo I.17 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente PA(mm Hg)

número de classes 5

Amplitude das classes 1,7

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente PA(mm Hg)

n. Classe	Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	708,9 711 (708,9 a 710,5 mm Hg)	4	709,7	4	20,0%	20,0%
2	710,6 712 (710,6 a 712,2 mm Hg)	1	711,4	5,0	5,0%	25,0%
3	712,3 714 (712,3 a 713,9 mm Hg)	4	713,1	9,0	20,0%	45,0%
4	714 716 (714 a 715,6 mm Hg)	8	714,8	17,0	40,0%	85,0%
5	715,7 717 (715,7 a 717,3 mm Hg)	3	716,5	20,0	15,0%	100,0%
	Somatório	20				

Desvio Padrão da amostra 2,516 dB

Erro

Média amostral 713,6 (mm Hg)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T

student) 1,178 (mm Hg)

Anexo I.18 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês nov/2013 – Concentração de Poluente UR (%)

número de classes 5

Amplitude das classes 3,3

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente UR (%)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	64,8	68	(64,8 a 68 %)		2	66,4	2	10,0%	10,0%
2	68,1	71,3	(68,1 a 71,3 %)		6	69,7	8,0	30,0%	40,0%
3	71,4	74,6	(71,4 a 74,6 %)		4	73	12,0	20,0%	60,0%
4	74,7	77,9	(74,7 a 77,9 %)		5	76,3	17,0	25,0%	85,0%
5	78	81,2	(78 a 81,2 %)		3	79,6	20,0	15,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 4,469 dB

Erro

Média amostral 73,18 (%)

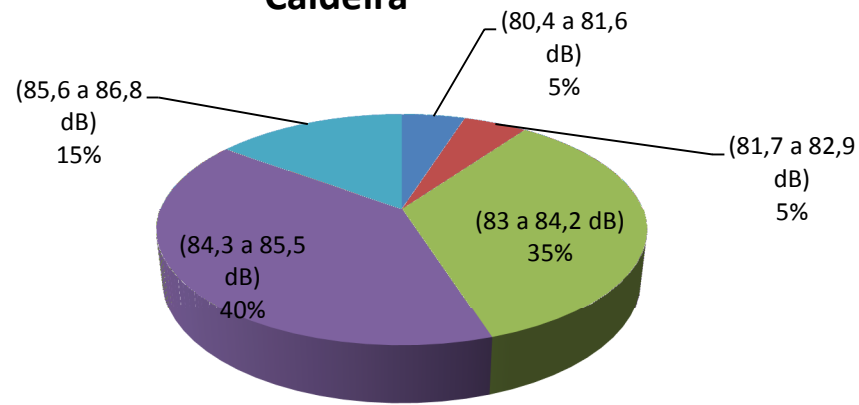
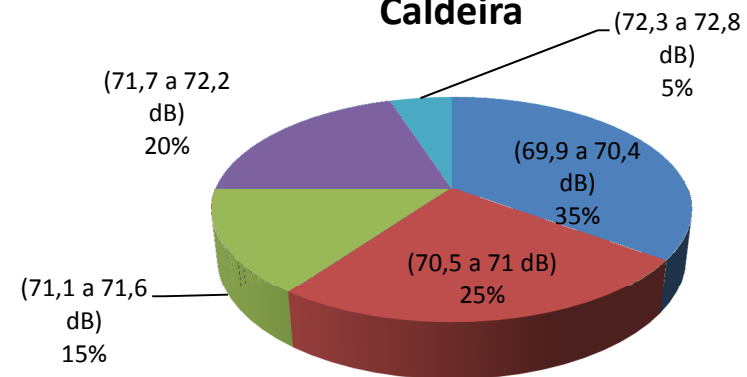
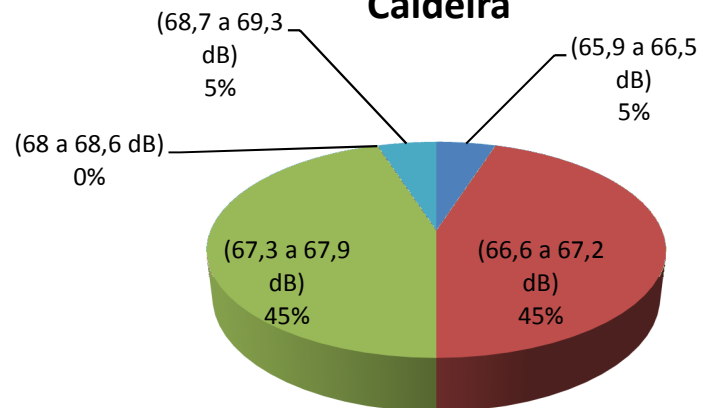
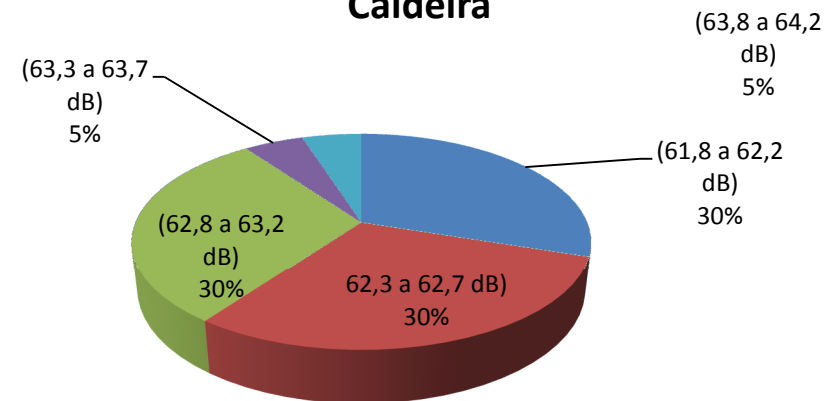
Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 2,091 (%)

Anexo II.19 - Tabela geral de emissão de ruídos sonoros

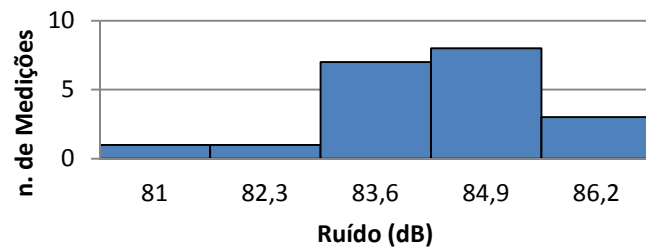
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Data	10/11/2012	10/11/2012	11/11/2012	11/11/2012	12/11/2012	12/11/2012	13/11/2012	13/11/2012	14/11/2012	14/11/2012	15/11/2012	15/11/2012	16/11/2012	16/11/2012	17/11/2012	17/11/2012	18/11/2012	18/11/1900	19/11/2012	19/11/2012	
Horário	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	09:30	15:30	
Distância(m) da Caldeira	Nível de ruídos dB (Médio)																				
1	80,4	84,8	85,6	84,5	86,8	83,7	84,1	83,9	83,4	86,4	84,9	84,7	83,2	84,1	82,9	84,8	84,6	84,9	83,9	84,8	Média 84,32
2	72,4	71,9	72,0	71,3	70,0	71,3	70,7	71,8	70,7	71,0	71,1	70,2	69,9	71,8	70,0	70,9	70,7	70,3	70,2	70,2	70,92
4	68,9	67,4	67,1	67,4	67,2	67,3	67,9	67,4	67,0	67,8	67,2	67,4	65,9	66,9	67,1	67,4	67,1	66,8	67,2	67,3	67,285
8	62,3	63,8	62,7	61,9	62,5	63,1	62,5	61,9	63,1	62,6	61,8	62,8	61,8	62,4	62,9	63,2	63,4	62,8	61,9	62,1	62,575

Anexo II.20 – Emissão de ruídos sonoros – Gráficos

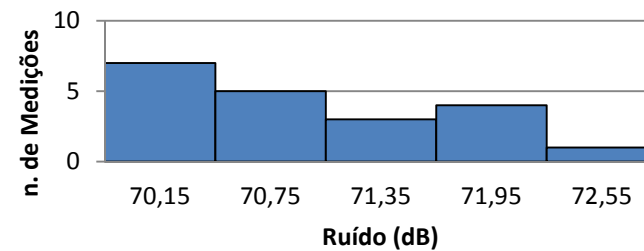
Emissões de Ruído à 1m de distância da Caldeira**Emissões de Ruído à 2m de distância da Caldeira****Emissões de Ruído à 4m de distância da Caldeira****Emissões de Ruído à 8m de distância da Caldeira**

Anexo II.21– Emissão de ruídos sonoros – Histograma de frequência e Regressão Linear

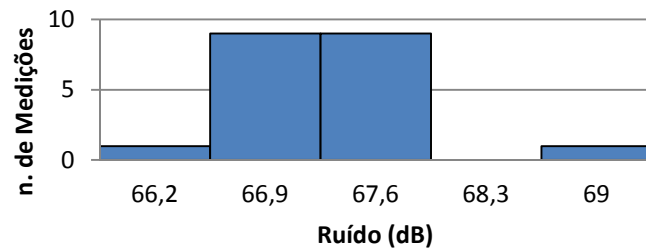
**Ruídos à 1m de distância
(Histograma de Frequência)**



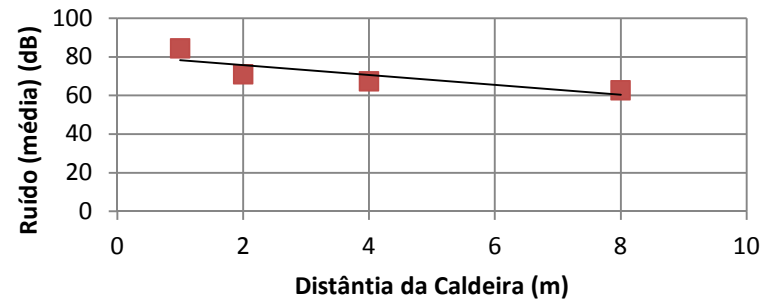
**Ruídos à 2m de distância
(Histograma de Frequência)**



**Ruídos à 4m de distância
(Histograma de Frequência)**



Regressão Linear



Equação da Reta

$$R = -2,547 \cdot D + 71,275$$

Onde:

R = Ruído (dB)

D = Distância da caldeira (m)

Anexo II.22 - Emissão de ruídos sonoros - Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 1m de distância da caldeira

número de classes 5

Amplitude das classes 1,3

Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 1m de distância da caldeira

n. Classe	Classe			Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	80,4	81,6	(80,4 a 81,6 dB)	1	81	1	5,0%	5,0%
2	81,7	82,9	(81,7 a 82,9 dB)	1	82,3	2,0	5,0%	10,0%
3	83	84,2	(83 a 84,2 dB)	7	83,6	9,0	35,0%	45,0%
4	84,3	85,5	(84,3 a 85,5 dB)	8	84,9	17,0	40,0%	85,0%
5	85,6	86,8	(85,6 a 86,8 dB)	3	86,2	20,0	15,0%	100,0%
	Somatório			20				

Desvio Padrão da amostra 1,339 dB

Erro

Média amostral 84,32 dB

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,627 dB

Anexo II.23 – Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 2 m de distância da caldeira

número de classes 5

Amplitude das classes 0,6

Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 2m de distância da caldeira

n. Classe				Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	69,9	70,4		(69,9 a 70,4 dB)	7	70,15	7	35,0%	35,0%
2	70,5	71		(70,5 a 71 dB)	5	70,75	12,0	25,0%	60,0%
3	71,1	71,6		(71,1 a 71,6 dB)	3	71,35	15,0	15,0%	75,0%
4	71,7	72,2		(71,7 a 72,2 dB)	4	71,95	19,0	20,0%	95,0%
5	72,3	72,8		(72,3 a 72,8 dB)	1	72,55	20,0	5,0%	100,0%
		Somatório		Somatório	20				

Desvio Padrão da amostra 0,761 dB

Média amostral 70,92 dB

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,3563 dB

Anexo II.24 – Emissão de ruídos sonoros – Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 4 m de distância da caldeira

número de classes 5

Amplitude das classes 0,7

Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 4m de distância da caldeira

n. Classe	Classe			Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	65,9	66,5	(65,9 a 66,5 dB)	1	66,2	1	5,0%	5,0%
2	66,6	67,2	(66,6 a 67,2 dB)	9	66,9	10,0	45,0%	50,0%
3	67,3	67,9	(67,3 a 67,9 dB)	9	67,6	19,0	45,0%	95,0%
4	68	68,6	(68 a 68,6 dB)	0	68,3	19,0	0,0%	95,0%
5	68,7	69,3	(68,7 a 69,3 dB)	1	69	20,0	5,0%	100,0%
	Somatório		Somatório	20				

Desvio Padrão da amostra 0,554 dB

Média amostral 67,285 dB

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,2591 dB

Anexo II.25– Emissão de ruídos sonoros – Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 8m de distância da caldeira

número de classes 5

Amplitude das classes 0,5

Distribuição de Frequência - Emissão de Ruídos a 8m de distância da caldeira

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	61,8	62,2	(61,8 a 62,2 dB)		6	62	6	30,0%	30,0%
2	62,3	62,7	(62,3 a 62,7 dB)		6	62,5	12,0	30,0%	60,0%
3	62,8	63,2	(62,8 a 63,2 dB)		6	63	18,0	30,0%	90,0%
4	63,3	63,7	(63,3 a 63,7 dB)		1	63,5	19,0	5,0%	95,0%
5	63,8	64,2	(63,8 a 64,2 dB)		1	64	20,0	5,0%	100,0%
	Somatório		Somatório		20				

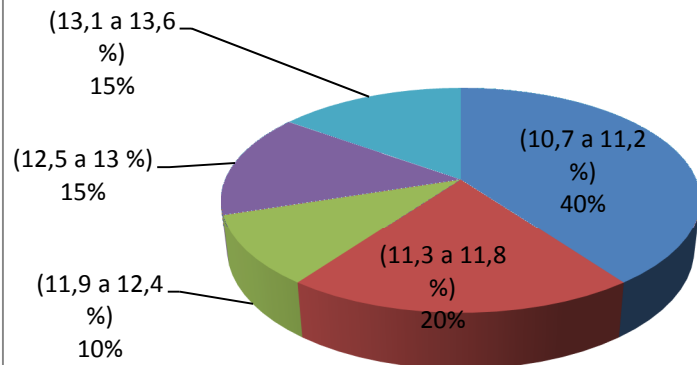
Desvio Padrão da amostra 0,574 dB

Média amostral 62,575 dB

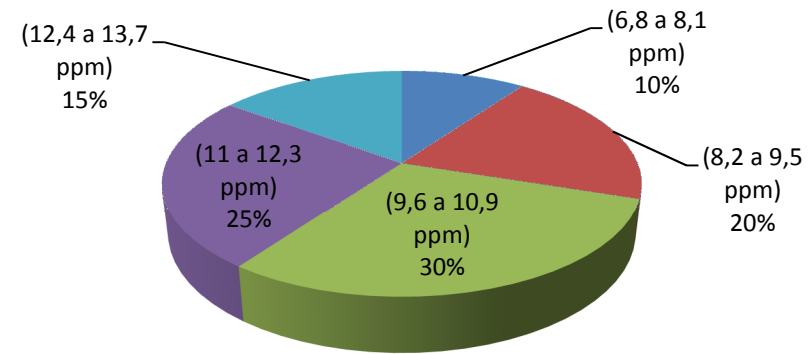
Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,2686 dB

Anexo III.26- Concentração de poluentes – Gráficos medição mês jul/2013 (1)

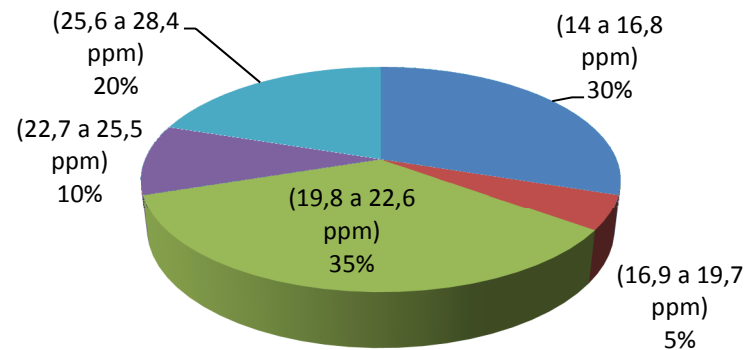
Concentração de O₂(%)



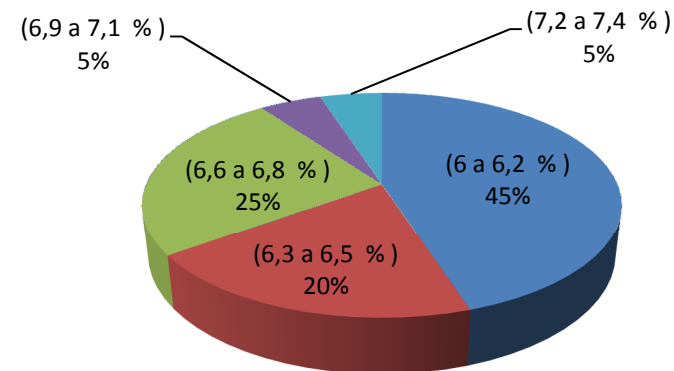
Concentração de H₂(ppm)



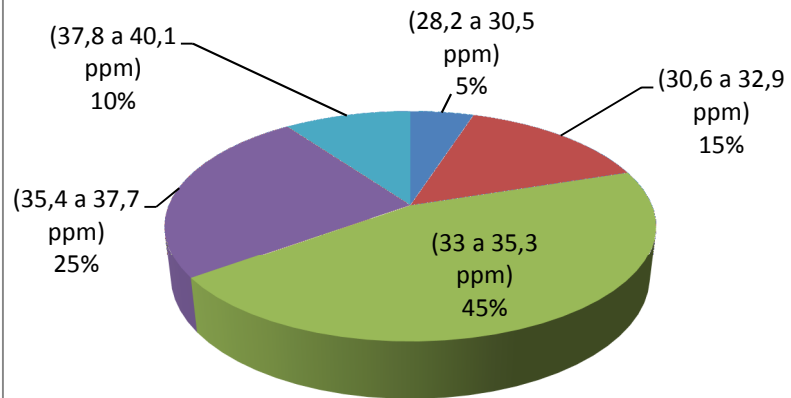
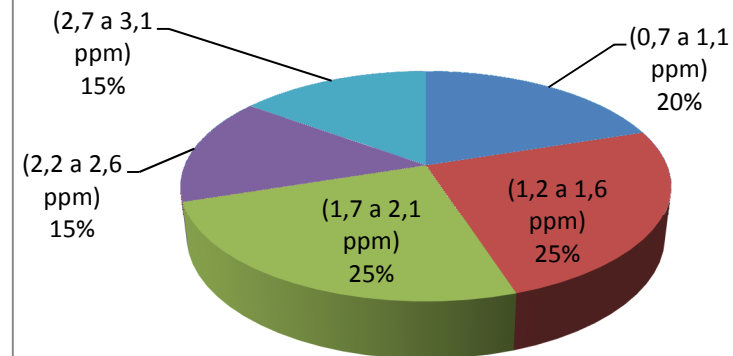
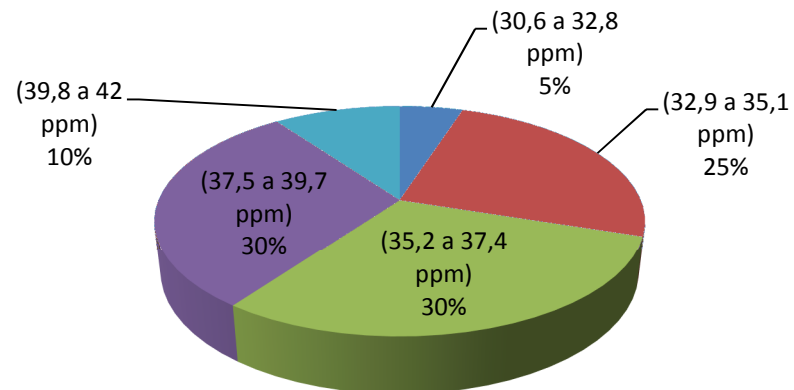
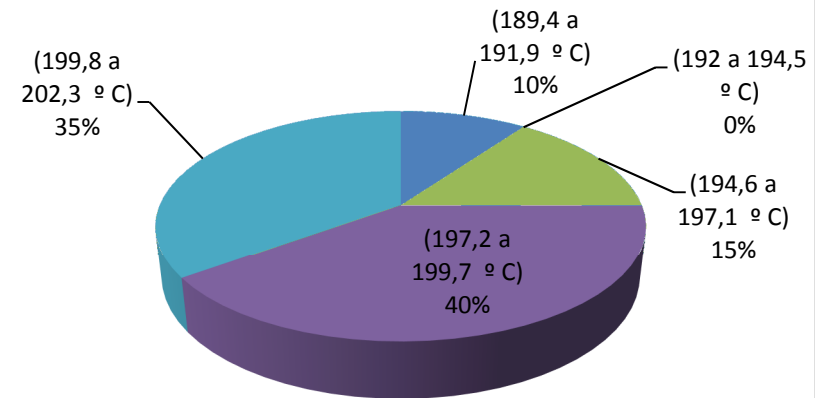
Concentração de CO (ppm)



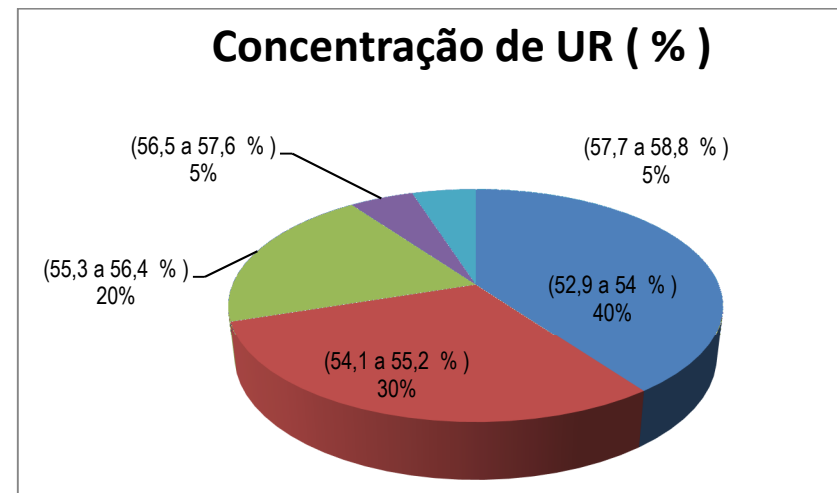
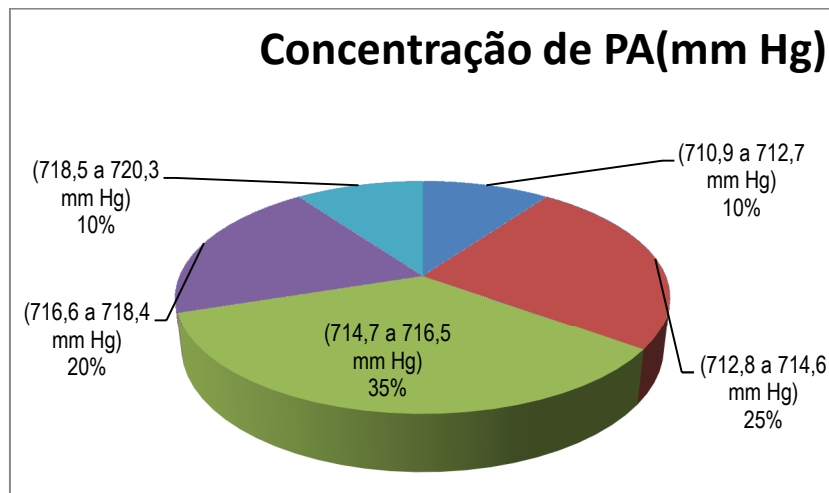
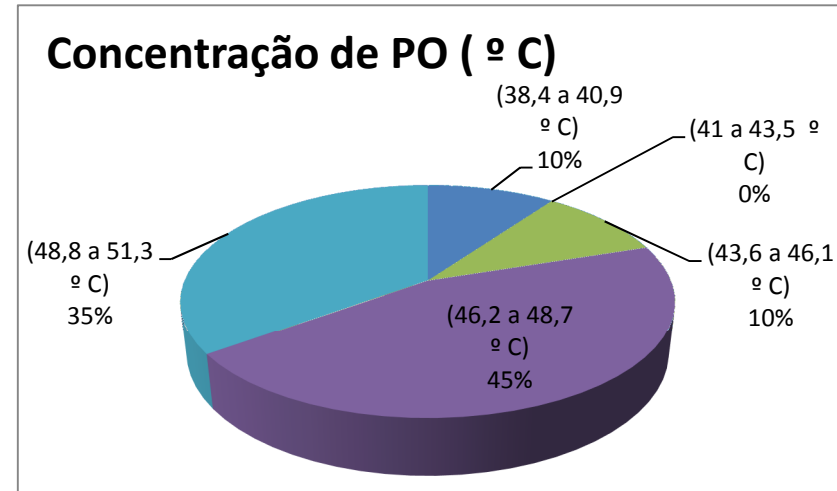
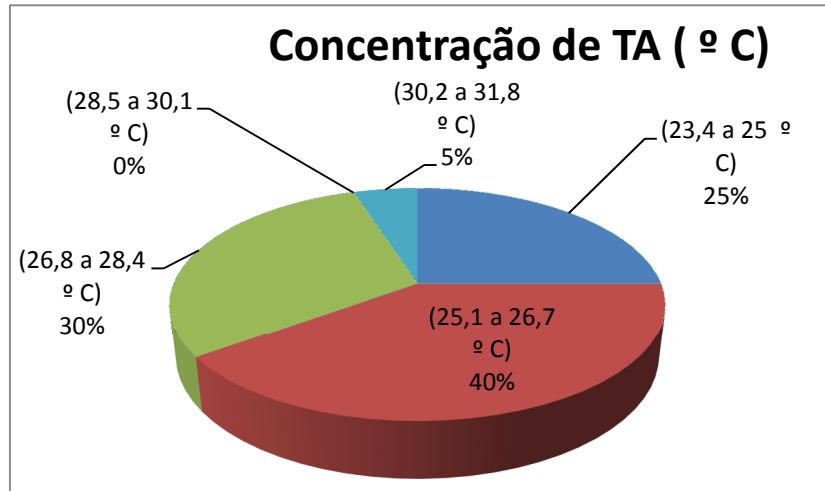
Concentração de CO₂ (%)



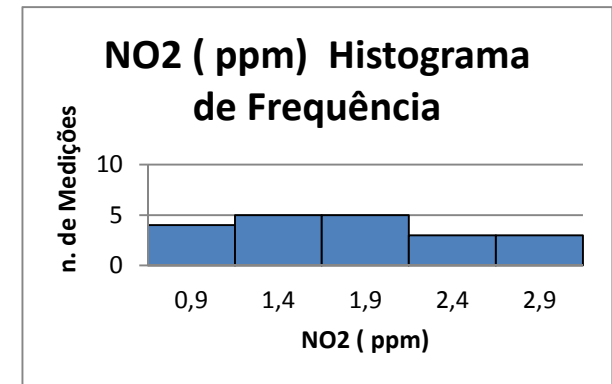
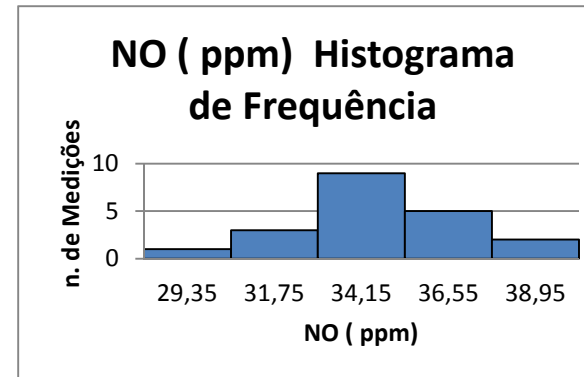
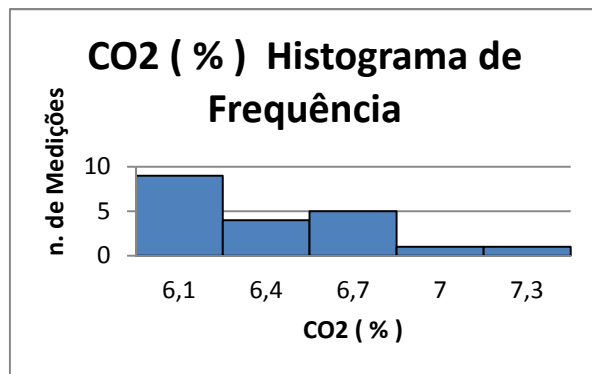
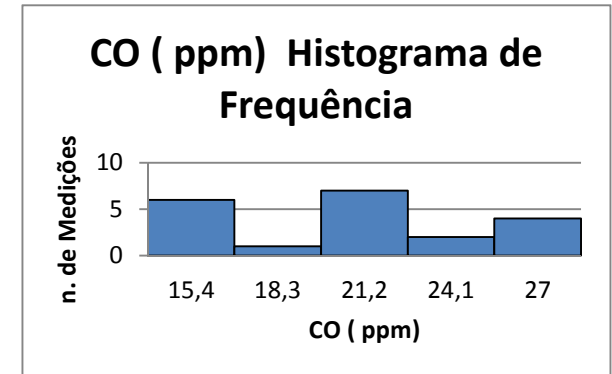
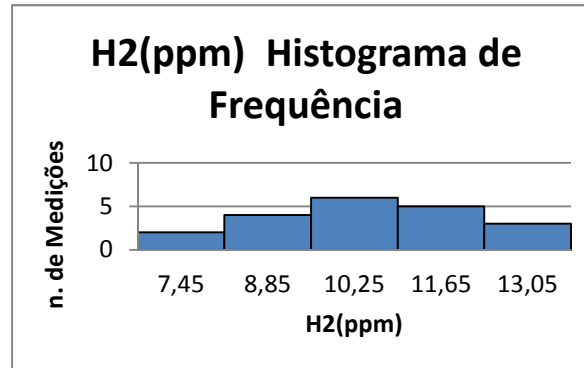
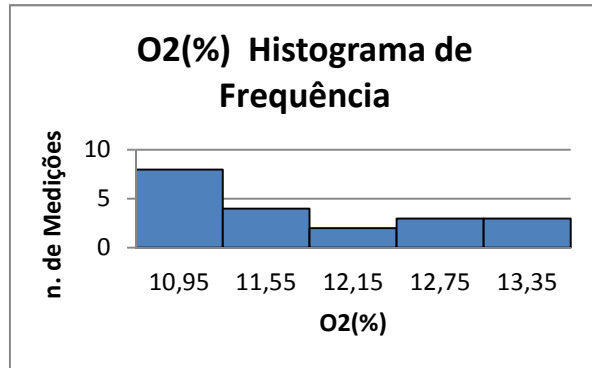
Anexo III.27- Concentração de poluentes – Gráficos medição mês jul/2013 (2)

Concentração de NO (ppm)**Concentração de NO₂ (ppm)****Concentração de NO_x (ppm)****Concentração de TF (° C)**

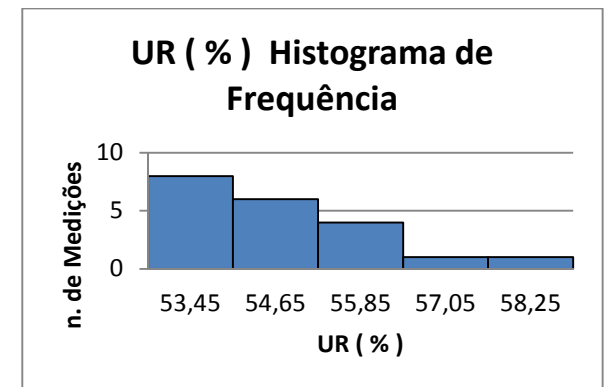
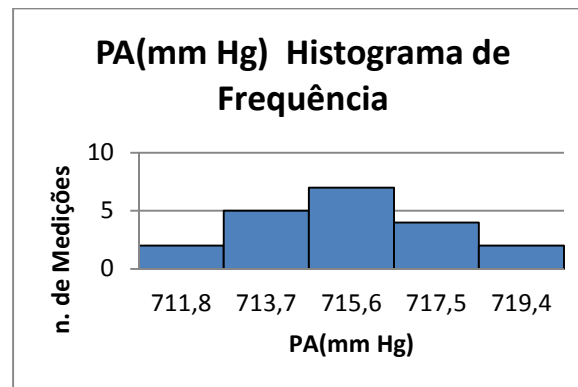
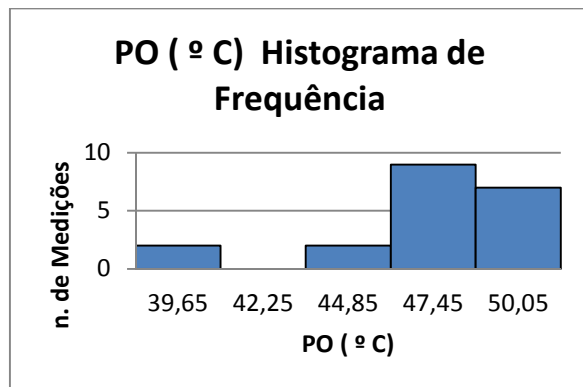
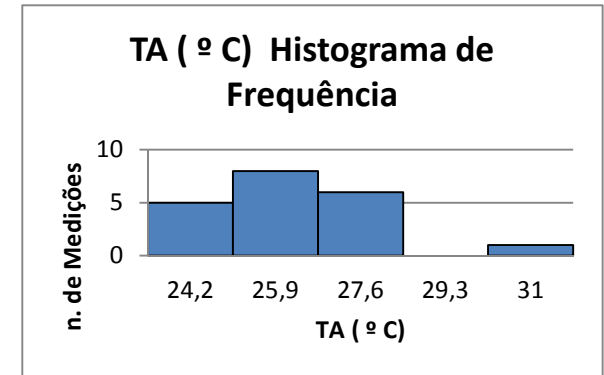
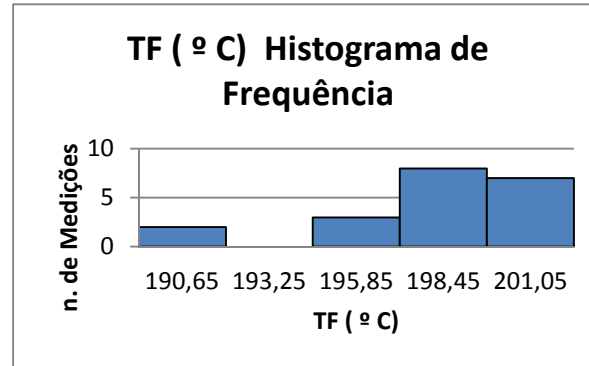
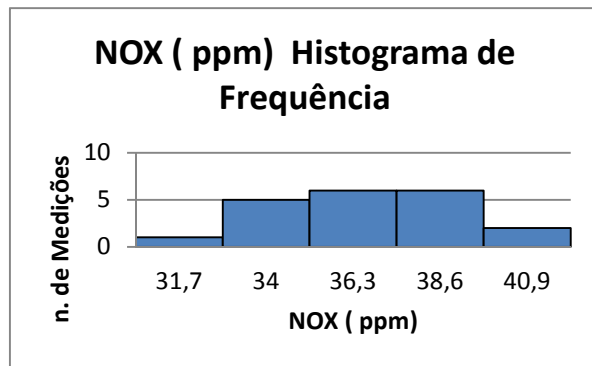
Anexo III.28- Concentração de poluentes – Gráficos medição mês jul/2013 (3)



Anexo III.29- Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês jul/2013 (1)



Anexo III.30 - Concentração de poluentes – Histogramas de frequência medição mês jul/2013 (2)



Anexo III.31- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente O2(%)

número de classes 5

Amplitude das classes 0,6

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente O2(%)

n. Classe	Classe					Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	10,7	11,2	(10,7 a 11,2 %)		8	10,95	8	40,0%	40,0%	
2	11,3	11,8	(11,3 a 11,8 %)		4	11,55	12,0	20,0%	60,0%	
3	11,9	12,4	(11,9 a 12,4 %)		2	12,15	14,0	10,0%	70,0%	
4	12,5	13	(12,5 a 13 %)		3	12,75	17,0	15,0%	85,0%	
5	13,1	13,6	(13,1 a 13,6 %)		3	13,35	20,0	15,0%	100,0%	
Somatório					20					

Desvio Padrão da amostra 0,905 dB

Erro

Média amostral 11,82 (%) (%)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,424 (%)

Anexo III.32- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente CO (ppm)

número de classes 5
Amplitude das classes 2,9

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente CO (ppm)

n. Classe			Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	14	16,8	(14 a 16,8 ppm)	6	15,4	6	30,0%	30,0%
2	16,9	19,7	(16,9 a 19,7 ppm)	1	18,3	7,0	5,0%	35,0%
3	19,8	22,6	(19,8 a 22,6 ppm)	7	21,2	14,0	35,0%	70,0%
4	22,7	25,5	(22,7 a 25,5 ppm)	2	24,1	16,0	10,0%	80,0%
5	25,6	28,4	(25,6 a 28,4 ppm)	4	27	20,0	20,0%	100,0%
	Somatório			20				

Desvio Padrão da amostra 4,650 dB

Erro

Média amostral 20,6 (ppm)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 2,176 (ppm)

Anexo III.33- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente CO2 (%)

número de classes 5
 Amplitude das classes 0,3

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente CO2 (%)

n. Classe	Classe			Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	6	6,2	(6 a 6,2 %)	9	6,1	9	45,0%	45,0%
2	6,3	6,5	(6,3 a 6,5 %)	4	6,4	13,0	20,0%	65,0%
3	6,6	6,8	(6,6 a 6,8 %)	5	6,7	18,0	25,0%	90,0%
4	6,9	7,1	(6,9 a 7,1 %)	1	7	19,0	5,0%	95,0%
5	7,2	7,4	(7,2 a 7,4 %)	1	7,3	20,0	5,0%	100,0%
Somatório				20				

Desvio Padrão da amostra 0,341 dB
 Erro

Média amostral 6,415 (%)

Erro para média populacional (+-)
 (c=95%, dist. T student) 0,159 (%)

Anexo III.34 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente NO (ppm)

número de classes 5
Amplitude das classes 2,4

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente NO (ppm)

n. Classe		Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
		(28,2 a 30,5 ppm)					
1	28,2 30,5		1	29,35	1	5,0%	5,0%
		(30,6 a 32,9 ppm)					
2	30,6 32,9		3	31,75	4,0	15,0%	20,0%
3	33 35,3	(33 a 35,3 ppm)	9	34,15	13,0	45,0%	65,0%
		(35,4 a 37,7 ppm)					
4	35,4 37,7		5	36,55	18,0	25,0%	90,0%
		(37,8 a 40,1 ppm)					
5	37,8 40,1		2	38,95	20,0	10,0%	100,0%
	Somatório		20				

Desvio Padrão da amostra 2,588 dB

Erro

Média amostral 34,77 (ppm)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 1,211 (ppm)

Anexo III.35 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente NO2 (ppm)

número de classes 5
 Amplitude das classes 0,5

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente NO2 (ppm)

n. Classe	Classe					Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	0,7	1,1	(0,7 a 1,1 ppm)			4	0,9	4	20,0%	20,0%
2	1,2	1,6	(1,2 a 1,6 ppm)			5	1,4	9,0	25,0%	45,0%
3	1,7	2,1	(1,7 a 2,1 ppm)			5	1,9	14,0	25,0%	70,0%
4	2,2	2,6	(2,2 a 2,6 ppm)			3	2,4	17,0	15,0%	85,0%
5	2,7	3,1	(2,7 a 3,1 ppm)			3	2,9	20,0	15,0%	100,0%
Somatório						20				

Desvio Padrão da amostra 0,742 dB

Erro

Média amostral 1,796 (ppm)

Erro para média populacional (+-)
 (c=95%, dist. T student) 0,347 (ppm)

Anexo III.36 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente NOX (ppm)

número de classes 5

Amplitude das classes 2,3

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente NOX (ppm)

n. Classe		Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
		(30,6 a 32,8 ppm)					
1	30,6 32,8	(30,6 a 32,8 ppm)	1	31,7	1	5,0%	5,0%
		(32,9 a 35,1 ppm)					
2	32,9 35,1	(32,9 a 35,1 ppm)	5	34	6,0	25,0%	30,0%
		(35,2 a 37,4 ppm)					
3	35,2 37,4	(35,2 a 37,4 ppm)	6	36,3	12,0	30,0%	60,0%
		(37,5 a 39,7 ppm)					
4	37,5 39,7	(37,5 a 39,7 ppm)	6	38,6	18,0	30,0%	90,0%
5	39,8 42	(39,8 a 42 ppm)	2	40,9	20,0	10,0%	100,0%
	Somatório		20				

Desvio Padrão da amostra 2,698 dB

Erro

Média amostral 36,56 (ppm)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 1,263 (ppm)

Anexo III.37- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente TF (° C)

número de classes 5

Amplitude das classes 2,6

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente TF (° C)

n. Classe	Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
	(189,4 a 191,9 ° C)					
1	189,4 192	2	190,65	2	10,0%	10,0%
2	192 195	0	193,25	2,0	0,0%	10,0%
	(194,6 a 197,1 ° C)					
3	194,6 197	3	195,85	5,0	15,0%	25,0%
	(197,2 a 199,7 ° C)					
4	197,2 200	8	198,45	13,0	40,0%	65,0%
	(199,8 a 202,3 ° C)					
5	199,8 202	7	201,05	20,0	35,0%	100,0%
	Somatório	20				

Desvio Padrão da amostra 3,183 dB

Erro

Média amostral 198,2 (° C)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student)

1,49 (° C)

Anexo III.38 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente TA (° C)

número de classes 5

Amplitude das classes 1,7

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente TA (° C)

n. Classe	Classe			Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	23,4	25	(23,4 a 25 ° C)	5	24,2	5	25,0%	25,0%
2	25,1	26,7	(25,1 a 26,7 ° C)	8	25,9	13,0	40,0%	65,0%
3	26,8	28,4	(26,8 a 28,4 ° C)	6	27,6	19,0	30,0%	95,0%
4	28,5	30,1	(28,5 a 30,1 ° C)	0	29,3	19,0	0,0%	95,0%
5	30,2	31,8	(30,2 a 31,8 ° C)	1	31	20,0	5,0%	100,0%
Somatório				20				

Desvio Padrão da amostra 1,755 dB

Erro

Média amostral 26,07 (° C)

Erro para média populacional (+-)

(c=95%, dist. T student) 0,821 (° C)

Anexo III.39 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente PO (°C)

número de classes 5

Amplitude das classes 2,6

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente PO (°C)

n. Classe			Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	38,4	40,9	(38,4 a 40,9 °C)	2	39,65	2	10,0%	10,0%
2	41	43,5	(41 a 43,5 °C)	0	42,25	2,0	0,0%	10,0%
3	43,6	46,1	(43,6 a 46,1 °C)	2	44,85	4,0	10,0%	20,0%
4	46,2	48,7	(46,2 a 48,7 °C)	9	47,45	13,0	45,0%	65,0%
5	48,8	51,3	(48,8 a 51,3 °C)	7	50,05	20,0	35,0%	100,0%
	Somatório			20				

Desvio Padrão da amostra 3,312 dB

Erro

Média amostral 47,29 (°C)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 1,55 (°C)

Anexo III.40- Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente PA(mm Hg)

número de classes 5
Amplitude das classes 1,9

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente PA(mm Hg)

n. Classe		Classe	Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
		(710,9 a 712,7 mm Hg)					
1	710,9	713	2	711,8	2	10,0%	10,0%
		(712,8 a 714,6 mm Hg)					
2	712,8	715	5	713,7	7,0	25,0%	35,0%
		(714,7 a 716,5 mm Hg)					
3	714,7	717	7	715,6	14,0	35,0%	70,0%
		(716,6 a 718,4 mm Hg)					
4	716,6	718	4	717,5	18,0	20,0%	90,0%
		(718,5 a 720,3 mm Hg)					
5	718,5	720	2	719,4	20,0	10,0%	100,0%
	Somatório		20				

Desvio Padrão da amostra 2,327 dB

Erro

Média amostral 715,5 (mm Hg)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student)

1,089 (mm Hg)

Anexo III.41 - Concentração de poluentes – Distribuição de Frequência medição mês jul/2013 – Concentração de Poluente UR (%)

número de classes 5

Amplitude das classes 1,2

Distribuição de Frequência - Concentração de Poluente UR (%)

n. Classe	Classe				Freq. (f)	Ponto médio	Frequência Cumulativa	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
1	52,9	54	(52,9 a 54 %)		8	53,45	8	40,0%	40,0%
2	54,1	55,2	(54,1 a 55,2 %)		6	54,65	14,0	30,0%	70,0%
3	55,3	56,4	(55,3 a 56,4 %)		4	55,85	18,0	20,0%	90,0%
4	56,5	57,6	(56,5 a 57,6 %)		1	57,05	19,0	5,0%	95,0%
5	57,7	58,8	(57,7 a 58,8 %)		1	58,25	20,0	5,0%	100,0%
Somatório					20				

Desvio Padrão da amostra 1,485 dB

Erro

Média amostral 54,7 (%)

Erro para média populacional (+-)
(c=95%, dist. T student) 0,695 (%)