

#### 4.4 INFLUÊNCIA DO EXCESSO DE AR NOS NÍVEIS DE EMISSÃO

Cada poluente é controlado por uma determinada norma ambiental, conforme exposto no ANEXO II. Os limites especificados dependem do tipo de combustível, da capacidade nominal da caldeira e de seu consumo anual.

Os limites de  $\text{NO}_x$  admissíveis são apresentados para condições específicas de combustão. Muitas vezes é determinado pelas normas, a exemplo do CONAMA 382 ANEXO II, na qual o teor de  $\text{O}_2$  nos produtos da combustão deve ser inferior a 3% (base seca), e que o teor de emissões de CO não deve exceder 500 ppm. Estas normas estabelecem, dessa forma, que qualquer teor de  $\text{NO}_x$  medido ( $\text{NO}_{x \text{ real}}$ ) seja recalculado nas condições de referência ( $\text{NO}_{x \text{ ref}}$ ) (3%  $\text{O}_2$  em base seca):

$$\% \text{NO}_{x \text{ ref}} = \% \text{NO}_{x \text{ real}} \cdot 18 / (21 - \% \text{O}_{2 \text{ real}}) \quad (29)$$

Esta equação permite converter o teor de  $\text{NO}_x$  nos produtos da combustão real para as condições de referência, em uma ampla faixa de valores de  $\text{O}_2$ . Quanto maior o teor de  $\text{O}_2$  nos produtos da combustão, mais diluídos serão os poluentes e menor o  $\text{NO}_x$  medido.

Os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) são produzidos durante a combustão a partir do nitrogênio do ar ( $\text{NO}_x$  térmico) ou do nitrogênio do combustível ( $\text{NO}_x$  combustível). Em uma chama de difusão turbulenta, a produção de  $\text{NO}_x$  é altamente dependente da composição do combustível e da relação ar/combustível. No caso dos combustíveis líquidos, é determinada pela mistura do combustível com sua atomização e o ar de combustão.

A temperatura e o teor de  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$  nos produtos da combustão são os principais fatores para a formação de  $\text{NO}_x$ , e são função do excesso de ar. Logo, além da influência na eficiência da combustão, determina os níveis de emissão de  $\text{NO}_x$  e CO.

Pequenos excessos de ar geram altas temperaturas de chama e baixos teores de  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$ , enquanto altos valores, o contrário. O teor de  $\text{NO}_x$  atinge o máximo a um excesso de ar entre 1,05 e 1,3. Diminuindo o excesso de ar, o  $\text{NO}_x$  diminui rapidamente porque os teores de  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$ , potenciais formadores de  $\text{NO}_x$ , diminuem. Com o aumento do excesso de ar o teor de  $\text{NO}_x$  também diminui, devido à diminuição da temperatura da chama. Abaixo de 2200 K, a formação de  $\text{NO}_x$  diminui drasticamente, conforme mostrado na Figura 46.

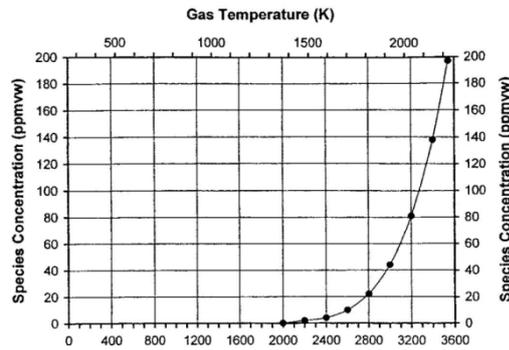


FIGURA. 46: EMISSÃO DE  $\text{NO}_x$  EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DA FORNALHA.

FONTE: BAUKAL, CHARLES. "HEAT TRANSFER IN INDUSTRIAL COMBUSTION".

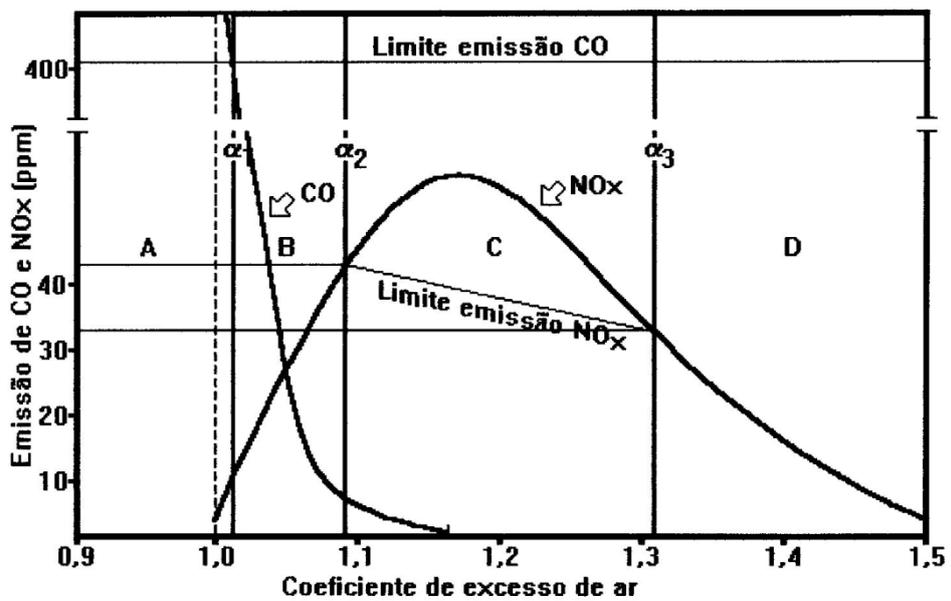


FIGURA 47: EMISSÃO DE POLUENTES NA COMBUSTÃO DE UMA CALDEIRA  
 FONTE: PINHEIRO, PAULO CESAR DA COSTA; VALLE, RAMON MOLINA  
 ABIQUIM (1995)

A relação típica entre o excesso de ar e a emissão de  $\text{NO}_x$  e CO é apresentada na Figura 47. As curvas de emissão de  $\text{NO}_x$  e CO devem ser analisadas simultaneamente, pois a diminuição de um poluente pode levar ao aumento de formação do outro. Deve ser lembrado que o teor de CO diminui rapidamente com o aumento do excesso de ar.

A diminuição das emissões de  $\text{NO}_x$  é muitas vezes acompanhada de um aumento da emissão de material particulado, MP, se o combustível utilizado for líquido. Estas emissões de particulados consistem de fuligem, que é produzida a partir dos constituintes em fase gasosa, cenosferas e coque, cuja produção é devida a natureza multicomponente do combustível e das características de atomização. Ao minimizar a emissão de  $\text{NO}_x$  pela redução do excesso de ar, pode ocorrer um aumento na produção de fuligem. Esta estequiometria local, controlada pela mistura turbulenta, determina a formação de  $\text{NO}_x$  e de particulados nas chamas dos combustíveis líquidos.

A formação de  $\text{SO}_2$  depende do teor de enxofre do combustível, e o  $\text{SO}_3$  é formado pela oxidação do  $\text{SO}_2$ . A redução do excesso de ar diminui a quantidade de  $\text{O}_2$  disponível para a oxidação do  $\text{SO}_2$  em  $\text{SO}_3$ , reduzindo a formação de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  nas partes frias da caldeira.

Entretanto, as emissões de  $\text{SO}_x$  não são escopo do trabalho em tela, pois não se pretende considerar a gestão no fornecimento de combustíveis. Atualmente os fornecedores têm trabalhado com a finalidade de minimizar a presença de enxofre nos combustíveis, quer por razões de mercado, quer por determinação legal.

#### **4.5 LEVANTAMENTO DAS CURVAS DE EMISSÕES**

Tendo em vista relacionar as emissões da caldeira em estudo com o custo de dano das emissões fez-se necessário a elaboração de testes especiais utilizando-se o analisador compacto TELEGAN 10 cujas especificações encontram-se no ANEXO V. Durante os testes foi reduzido o excesso de ar da caldeira objeto de estudo, ajustado o ar primário e secundário de cada queimador, conforme procedimento 1 do ANEXO IV, e foram mantidas as configurações de queimadores, conforme Figura 48. A foto N° 1 do ANEXO I mostra uma visão panorâmica do queimador número um da caldeira analisada.

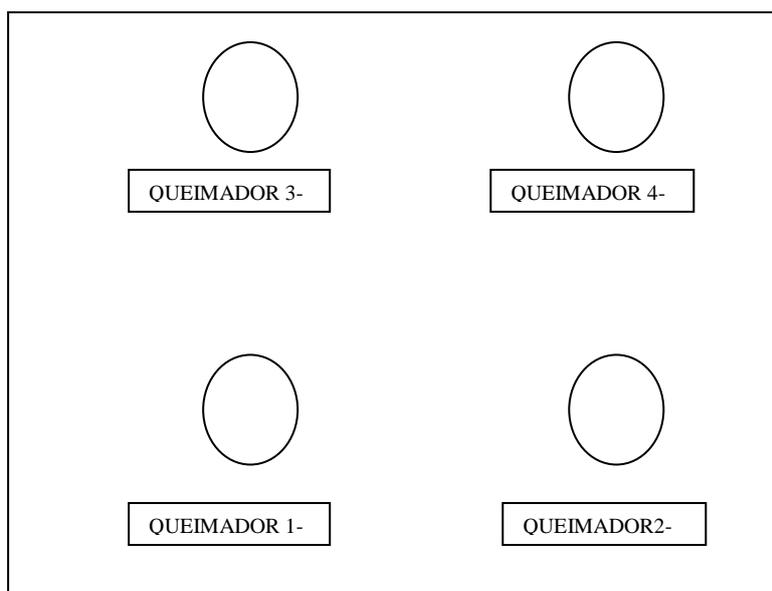


FIGURA 48: VISTA FRONTAL DOS QUEIMADORES COM OS RESPECTIVOS COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS NO MOMENTO DO TESTE, A CARGA TÍPICA DE 60 T/H DE VAPOR DE 600 LIBRAS, VAPOR SUPERAQUECIDO.

O trabalho de levantamento das curvas de emissão foi iniciado com o seguinte procedimento:

- Colocada a caldeira em controle manual de carga, fixando-a em 60 t/h, isto é, em carga típica;
- Os analisadores TELEGAN foram conectados no tubo da foto 29 do ANEXO I, antes porém, foi efetuada limpeza mecânica do ponto de instalação, de modo a garantir que estivesse desobstruído;
- O excesso de ar foi elevado até que os registros do analisador compacto indicasse 8% de  $O_2$  na saída dos gases. O propósito de uso dos 2 analisadores foi o de obtenção do valor médio entre ambos;
- O valor foi reduzido gradativamente até que se obtivesse o valor mínimo possível de excesso de ar, anotando-se todos os resultados;
- Para que fossem efetuadas as leituras em conjunto com o operador do painel foi utilizado um rádio tipo *walk-talk* durante todo o teste dessa forma foi obtido o resultado apresentado, em ppmv, nas colunas referentes ao excesso de ar, emissão de  $NO_x$  e CO;

- Com objetivo de verificar a fidelidade dos dados foram retiradas amostras de gases conforme procedimento de amostras de gases da chaminé no ANEXO IV, realizando em seguida no laboratório a análise de ORSAT. Assim pôde-se observar que os dados do excesso de ar do analisador B estavam mais confiáveis, entretanto a validade de aferição do sensor estava ainda vigente, embora no final de garantia.
- O procedimento de obtenção do material particulado se deu em outra etapa, pois foi mais demorado exigindo cuidados aos moldes da metodologia NBR 12019, preenchendo-se dessa forma a coluna referente ao material particulado.
- O ponto de término do experimento se deu quando os valores de CO começaram a se elevar bruscamente, esse valor foi o de 0,5 % de O<sub>2</sub> na saída dos gases para chaminé.
- Durante o ensaio foi observado por todo tempo o aspecto das chamas, atuando-se no ar secundário dos queimadores. O ar primário foi mantido totalmente aberto em todos os equipamentos

Devido a problemas operacionais no queimador 1, a configuração permitida só possibilitou a queima de OCR na pesquisa em tela, pois havia uma preferência de fluxo de ar para esse equipamento. Dessa forma, o grau de abrangência do teste foi limitado à queima de apenas 1 queimador de OCR.

A cada redução de excesso de ar eram colhidos, na chaminé 2, resultados através de dois instrumentos de igual modelo - TELEGAN TEMPEST 100 cujas especificações encontram-se no ANEXO V-, conforme foto N<sup>o</sup>15, ANEXO I. Como se pode observar foi colocada uma rolha de pano que não permitisse a passagem de ar através do *flange* de 4 polegadas, utilizando-se uma sonda de 1m, de modo a atingir a região central do fluxo de gases.

A cada redução de 5% no fluxo de ar medido pelos *tubos Venturi*, fazia-se novo ajuste de ar primário e secundário objetivando manter a estabilidade da queima, vide procedimento número 1 no ANEXO IV.

#### 4.6 EXCESSO DE AR ÓTIMO

Analisando a Figura 47, a combustão com excesso de ar inferior a 1 (faixa A) não é aceitável, porque o teor de CO nos produtos da combustão excede os limites legais. Com excesso de  $O_2$  entre  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  (faixa B) tem-se uma combustão quase completa e um baixo  $\alpha$ . Esta faixa é ideal devido às baixas emissões de CO e  $NO_x$  e à alta eficiência da combustão.

A complexidade da análise e do controle do processo de combustão real é devido ao fato do coeficiente de excesso de ar afetar a eficiência e os níveis de emissão de maneiras diferentes e antagônicas. Dessa forma, para simplificar, o efeito do coeficiente de excesso de ar será analisado em faixas. A Figura 49 ilustra o teste de campo realizado especialmente para o objetivo do trabalho em pauta. As Figuras 45 e 47 representam valores típicos de eficiência e níveis de emissão.

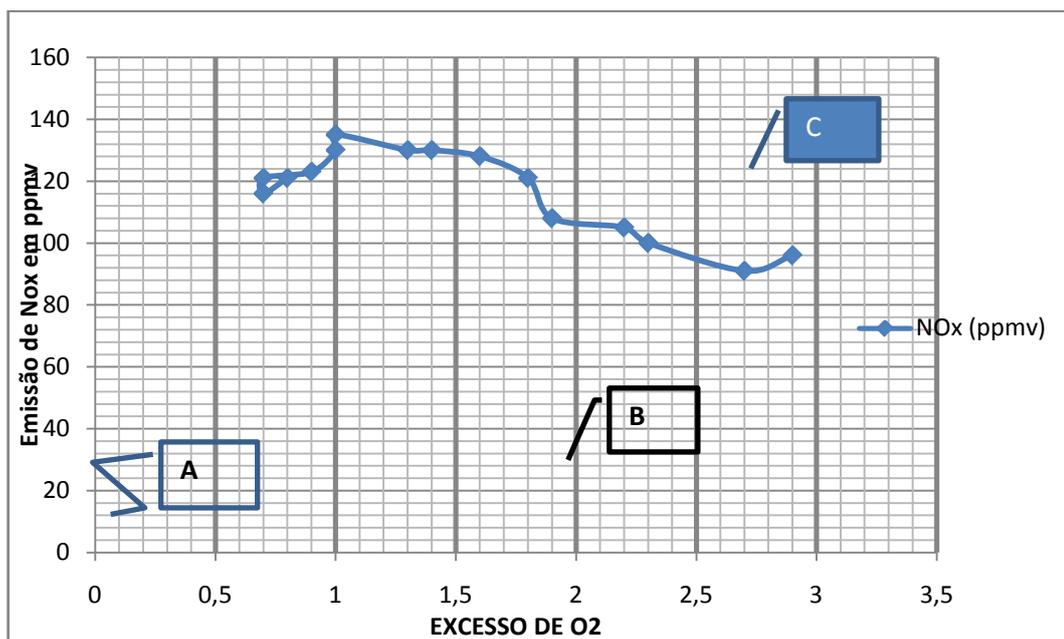


FIGURA 49: EMISSÃO DE  $NO_x$  NA COMBUSTÃO DA CALDEIRA OBJETO DE ESTUDO.

TABELA 15: VALORES DE EMISSÕES DE NO<sub>x</sub> EM FUNÇÃO DO EXCESSO DE O<sub>2</sub>

Exc. de O <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppmv)
2,9	96
2,7	91
2,3	100
2,2	105
1,9	108
1,8	121
1,6	128
1,4	130
1,3	130
1	135
1	130
0,9	123
0,7	121
0,7	116
0,8	121
0,8	100

Entretanto, para operar na faixa B, Figura 49, é necessário ajustar os queimadores ou modificar radicalmente o processo de combustão. Na maioria das instalações de combustão, a faixa B só pode ser realizada com combustão em multi-estágios, combustão sub-estequiométrica, ou recirculação de gases. No ensaio da caldeira em tela, ajustando-se o ar primário e o ar secundário conseguiu-se obter os valores apresentados na tabela 15.

Na faixa C, os níveis de emissão de NO<sub>x</sub> excedem os limites da norma, e a operação só é possível com equipamentos de tratamento dos gases efluentes. A eficiência da combustão é inferior à da faixa B, mas ainda é aceitável. Para a faixa D utilizou-se a Figura 47 na qual os níveis de emissão de CO e NO<sub>x</sub> encontram-se dentro dos limites, mas a eficiência é baixa, isto porque os valores estão diluídos pelo excesso de O<sub>2</sub>.

Pela análise da Figura 47, verifica-se que a operação deve ser realizada nas faixas B ou C. Entretanto, para operar nestas faixas costuma-se implementar modificações no processo ou instalar equipamentos de pós-combustão dos produtos. Este teste mostra que é possível um aprimoramento operacional sem a necessidade de investimentos adicionais em equipamentos. Acrescente-se que o balanço econômico dos custos de investimento e operação vai determinar a instalação destes equipamentos ou até mesmo indicar a operação fora da região de eficiência ótima (faixa D). Certos sistemas de combustão comportam-se de modo diferente e algumas das faixas citadas podem não existir.

#### 4.7 O CONTROLE DO EXCESSO DE AR

O controle da combustão (razão ar/combustível) não pode ser realizado através do controle da vazão de combustível, uma vez que a energia gerada pela caldeira (vazão de vapor) depende da quantidade de combustível introduzido. Logo, a única variável que deve ser ajustada é a vazão de ar de combustão.

Dessa forma, a vazão de ar é regulada por um sistema de controle em LC, isto é, limites cruzados, quando há necessidade de elevação de geração de vapor na caldeira, a variável “vazão de ar” eleva o ponto de ajuste do combustível, e quando necessária a redução de carga, a variável “óleo combustível” reduz o fluxo de combustível e este reduz o fluxo de ar, controlando a geração em malha aberta. Esse tipo de controle em malha aberta estabelece uma relação ar/combustível fixa, insatisfatória em muitos casos (tabela 14).

Demandas de carga variável e queima de combustíveis alternados, comuns nos processos industriais, modificam a relação ar/combustível ótima. A queima de misturas de combustíveis e de combustíveis com composição, temperatura, viscosidade e PCI variáveis, e temperatura do ar variável, requer reajustes frequentes, tornando impraticável este controle.

Assim, para assegurar a combustão completa, mesmo nas condições operacionais mais severas, é necessário um grande excesso de ar (20 a 30%).

Para otimizar o excesso de ar é necessário um controle de combustão mais preciso, que pode ser obtido por um sistema de controle em malha fechada (*feedback*). Isto é realizado a partir da análise do CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e CO nos produtos da combustão na saída da fornalha. A Figura 49 mostra as faixas de combustão da caldeira.

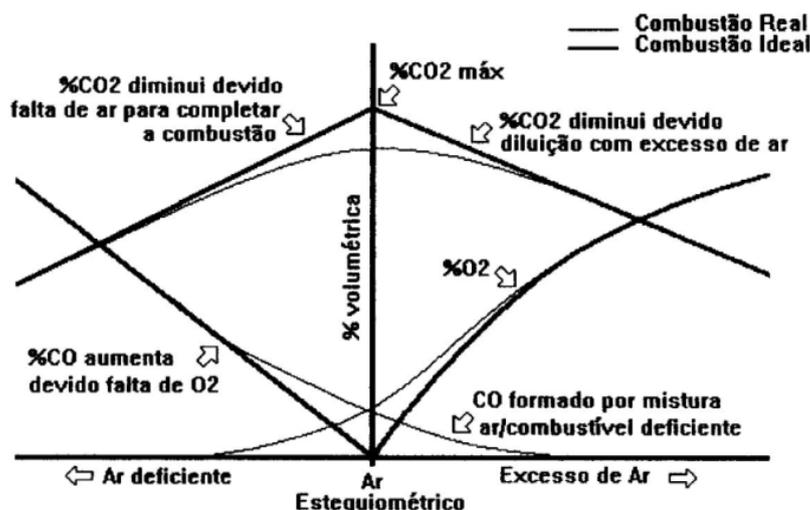


FIGURA 50: FAIXAS DE COMBUSTÃO DA CALDEIRA COM VARIAÇÃO DO EXCESSO DE AR

FONTE: PINHEIRO, PAULO CESAR DA COSTA; VALLE, RAMON MOLINA, ABIQUIM (1995)

O controle do excesso de ar pode ser realizado a partir da análise do teor de CO<sub>2</sub> (equação 23). Sua desvantagem é que o set-point deve ser ajustado para cada combustível e é muito mais caro que o analisador de O<sub>2</sub>. A não ser no caso de medidas descontínuas, manuais, realizadas por analisadores químicos, seu uso não é recomendado.

Analisadores de O<sub>2</sub> têm sido muito usados no controle da combustão, pois são de baixo custo, possuem tempo de resposta pequeno, exigem pouca manutenção e medem diretamente o excesso de ar na chaminé. Sua principal desvantagem é que o ponto de ajuste do controle deve ser fixado para cada combustível e taxa de combustão, pois o valor medido não depende unicamente da estequiometria da reação. O O<sub>2</sub> presente nos produtos pode ser devido a queimadores inativos, portinholas abertas, infiltrações, etc. Assim, a infiltração de ar na fomalha pode inviabilizar o controle baseado na medição de O<sub>2</sub>. O controle baseado na medição de CO tem a vantagem do valor do *set-point* ser independente do tipo de combustível e da carga da caldeira. A formação do CO é devido a uma quantidade de ar local insuficiente para completar a combustão. Se a combustão é completa, o nível de CO tende a zero. Uma vez que a mistura ar/combustível perfeita não é realizável, os níveis práticos de CO são, para qualquer combustível ou combinação de combustíveis, a qualquer carga, entre 120 e 250 ppm (Figura 49). Entretanto, o analisador deve medir até 1000 ppm para poder detectar variações bruscas.

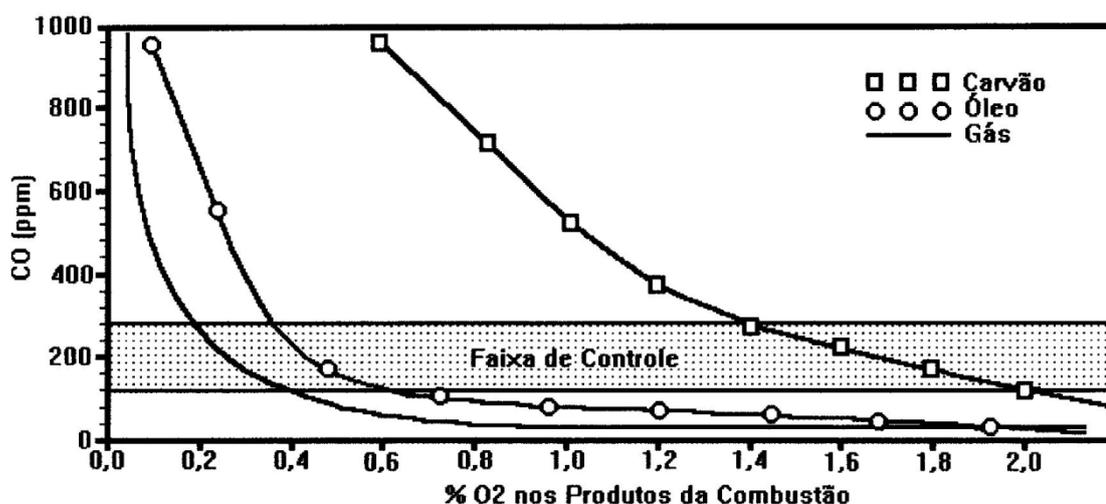


FIGURA 51: EMISSÃO DE CO EM CALDEIRAS INDUSTRIAIS TÍPICAS

FONTE: PINHEIRO, PAULO CESAR DA COSTA; VALLE, RAMON MOLINA

ABIQUIM (1995)

Isto elimina a necessidade de se ajustar o valor do *set-point* em função das condições operacionais. Além disso, como o teor de CO nos gases é pequeno (ppm), infiltrações ou registros mal regulados não interferem nos valores medidos, uma vez que a diluição é pequena. Outra vantagem é que o CO é um produto intermediário da combustão, tendo assim uma relação direta com o desenvolvimento da reação de combustão no fim da chama e a emissão de particulados.

Entretanto, o teor de CO também não tem uma relação unívoca com o excesso de ar. Com queimadores em boas condições, as caldeiras a óleo começam a produzir fuligem entre 600 e 800 ppm. Queimadores sujos podem causar fumaça abaixo de 300 ppm. As caldeiras a gás podem exceder 2000 ppm antes da fumaça tornar-se perceptível. Com queimadores sujos, ou uma mistura deficiente, o controle baseado no CO leva a um aumento do excesso de ar e uma diminuição da eficiência da combustão. Uma análise do uso de medidor de CO no controle da combustão é apresentada na Figura 51.

O medidor de CO pode ser utilizado para controlar o excesso de ar, mas é limitado à operação em regime permanente, pois pequenas variações de carga podem causar grandes variações do valor medido. O controlador de CO deve ser desligado durante mudanças de carga e operações a baixa carga. Um controle mais eficaz é obtido usando o medidor de CO como ajuste fino do *set-point* do controlador de O<sub>2</sub>.

No caso de combustão de gases, onde a composição pode variar bastante, o esquema de *feedback* apresentado pode ser prejudicado pelo tempo morto entre a mudança na composição e a detecção da mudança resultante nos produtos da combustão. Durante o tempo morto, o excesso de ar não é ajustado, reduzindo a eficiência da combustão. Neste caso, um controle *feedforward* é necessário para produzir um ajuste da razão ar/combustível antes que o efeito das perturbações na composição seja sentido na combustão.

#### **4.8 METODOLOGIAS PARA APRIMORAMENTO OPERACIONAL NA GESTÃO DAS EMISSÕES**

Como foi mencionado, atualmente a operação da caldeira em tela é feita de forma convencional, objetivando-se atingir eficiência adequada às condições capazes de garantir boa combustão, isto é, a chama não atingir partes da tubulação e do refratário, mantendo o excesso de ar entre 3 e 4%.

A proposta deste trabalho é aplicar uma gestão de emissões de poluentes voltada para caldeiras utilizando-se, em primeiro lugar, o controle do excesso de O<sub>2</sub>, em segundo lugar manter a confiabilidade dos equipamentos auxiliares como queimadores, analisadores e acionadores, e em terceiro lugar, informar aos operadores dos equipamentos, através de cursos, sua importância no alcance desse objetivo focando-se no custo do dano que as emissões proporcionam à sociedade.

Neste trabalho foi investigada a utilização do custo do dano como indicador no aprimoramento da gestão de emissões de poluentes, em especial, os óxidos de nitrogênio, NO<sub>x</sub>, o material particulado, MP e o monóxido de carbono, CO. Além disto, procurou-se investigar a coerência dos indicativos propiciados pelo custo do dano em relação aos procedimentos operacionais que se conseguem a partir exclusivamente dos métodos convencionais baseados em eficiência apontados nos itens 4.2 ao 4.6.

Além disso, durante os testes, foi observada a necessidade de manter a qualidade dos equipamentos que são utilizados no controle das emissões dos poluentes mencionados, desde a entrada do ar na caldeira, conforme o fluxograma mostrado na Figura 2 do capítulo 2, até a saída dos efluentes gasosos que envolvem os poluentes na chaminé, incluindo nesse caso os analisadores de gases.

Cabe lembrar outro elemento decisivo desse processo — o operador — que é informado sobre a importância da sua atuação para obter os resultados procurados. Tais resultados vão além da eficiência energética. Em última análise está nas mãos do operador a minimização dos impactos dos poluentes gerados pelas caldeiras. Nesse sentido foram ministrados a estes profissionais cursos e palestras sobre combustão e os aspectos negativos das emissões para sociedade.

Finalmente buscou-se, através dos conhecimentos da lógica difusa, uma aplicação capaz de utilizar a experiência do especialista que trabalha diretamente com a caldeira e transformá-la em ações que ajudem a melhorar a gestão das emissões de poluentes.

Esta aplicação se faz junto ao analisador de O<sub>2</sub>, uma das mais importantes ferramentas de gestão e controle da caldeira. Sendo assim, pode-se desenvolver um programa computacional que mantenha vigilância sobre o equipamento, de modo a alertar quando a indicação se tornar do O<sub>2</sub> se tornar incoerente.

#### **4.8.1 OS CUSTOS SOCIAS DOS DANOS CAUSADOS PELAS EMISSÕES.**

A poluição atmosférica tem efeito sobre a natureza em geral, isto é, sobre o bem estar da população, da fauna, flora e também sobre materiais (SALDIVA<sup>1</sup>, RESUMO DA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA, RMC 2003). Os efeitos podem se manifestar de forma aguda, como, por exemplo, quando se olha uma fogueira e a fumaça entra nos olhos causando irritação, com a vantagem de que, ao se afastar, os sintomas desaparecem porque são reversíveis. Os sintomas irritantes ou tóxicos, que acontecem para concentrações muito elevadas, são graves e por isso mais fáceis de serem estudados, porém são pouco freqüentes.

O que acontece no cotidiano é que se respira um ar que não irrita e não se sente, de imediato, nenhum efeito tóxico. Mesmo assim, teme-se que exista algum efeito a longo prazo, e pior, algo irreversível. O conhecimento sobre os efeitos a longo prazo é muito mais difícil e geralmente são pesquisados através de estudos epidemiológicos. Os estudos epidemiológicos examinam a distribuição e freqüência de morbidade (doenças) e mortalidade na população, e pesquisam os fatores causadores.

Abaixo do padrão primário pode-se assumir, com certa razão, que não há efeito para a saúde da população, pois desta forma consta a definição do padrão primário na legislação. Por outro lado, existe um padrão secundário, um padrão mais rigoroso que garante um menor nível de impacto adverso.

Logo, conclui-se que um padrão de qualidade do ar não é um limite abaixo do qual se está absolutamente seguro e tampouco que se adoça automaticamente, caso o padrão seja ultrapassado. Mas a probabilidade de se adoecer aumenta.

Tal fato vale especialmente para pessoas mais sensíveis a poluentes, como crianças e idosos. Um estudo sobre crianças de São Paulo relata que elas perderam parte de sua capacidade pulmonar (FOLHA DE SÃO PAULO, 18/09/2000). Isso não significa que as crianças estejam doentes, mas que se tornaram muito mais sensíveis a problemas respiratórios no futuro.

Outro estudo em São Paulo demonstrou que um aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da média diária de partículas inaláveis significou um aumento de 3% da mortalidade de pessoas acima de 65 anos (SALDIVA et. al. 1995). É estimado que na cidade de São Paulo cerca de 20.000 mortes adicionais por ano ocorram por descontrole da poluição do ar (PAULO ARTAXO, 2001). No Rio de Janeiro foi pesquisado um aumento da mortalidade infantil por pneumonia de 2,2 casos a cada 10.000 pessoas, para o acréscimo de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da média anual de Partículas Totais em Suspensão (PENNA E DUCHIADE, 1991).

Um estudo recente de Marburg/Alemanha concluiu que elevadas concentrações de ozônio aumentam a probabilidade em adoecer por alergia ou asma (SPIEGEL ONLINE, 20/06/2001). Segundo Saldiva, o ozônio inibe a atividade das células que defendem os alvéolos nos pulmões, o que favorece o desenvolvimento de pneumonia. Há estudos que mostram a relação entre regiões com altas concentrações de ozônio e câncer (FOLHA DE SÃO PAULO, 01/04/2005).

Pode-se concluir que, mesmo abaixo dos padrões de qualidade do ar, os efeitos da poluição atmosférica existem, embora estejam limitados a um nível aceito pela sociedade. Portanto, um decréscimo das concentrações ambientais sempre significa um ganho na qualidade de vida.

Sobre os efeitos da poluição atmosférica à flora, sabe-se que na Europa já foram destruídas florestas inteiras por altas emissões de  $\text{SO}_2$ .

O ozônio é capaz de diminuir o crescimento e a colheita de produtos agrícolas, dependendo da sensibilidade das plantações.

Segundo o Resumo da Qualidade do Ar na RMC (2003) existe uma grande variabilidade de sensibilidade na flora aos efeitos da poluição. Certas espécies são mais sensíveis do que o ser humano e já mostram efeitos em níveis seguros para a população.

O efeito da poluição atmosférica à fauna é pouco estudado. Sabe-se que a poluição atinge primeiro o mais frágil, expulsando-o do meio poluído. Essa perda de biodiversidade não favorece esteticamente os centros de grandes cidades, onde só se percebe a presença de pombos em geral.

A perda de biodiversidade chegou hoje a um nível muito acelerado, portanto, deve-se levar o problema a sério, e mais: é uma questão moral (GAZETA DO POVO, 08/10/2000).

É importante ressaltar que não se deve desconsiderar os efeitos da poluição atmosférica a materiais, como corrosão de metais e destruição de materiais de construção, como mármore, além do efeito estético de sujar superfícies de fachadas, contribuindo desta forma à impressão de que não estamos vivendo num ambiente saudável.

Os custos sociais produzidos pelos poluentes, levando-se em consideração seus efeitos e baseado num amplo trabalho exploratório, estão reproduzidos na tabela 16. Esse trabalho foi desenvolvido por DELUCCHI e McCUBBIN(1996) que estimaram os custos do dano à saúde relacionados aos principais poluentes oriundos de veículos automotores e toda sua infraestrutura industrial, isto é, plantas de produção de veículos, refinarias de petróleo, etc. Eles simularam a fração de um poluente, emitido por uma dada fonte, que atingiria diversas pessoas em várias localidades.

TABELA 16. CUSTOS ESPECÍFICOS DAS EMISSÕES (US\$/T)

Substância	Fontes Fixas (US\$/t)		Fontes Móveis (US\$/t)	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
HC	42,15	3686,00	210,00	3686,00
CO	3,70	13,00	13,00	37,20
NO <sub>x</sub>	558,00	10533,00	2790,00	14319,00
SO <sub>x</sub>	2635,00	7867,00	13180,00	58523,00
MP	4480,00	16114,00	22395,00	103179,00
CO <sub>2</sub>	1,91	32,70	1,91	32,73
CH <sub>4</sub>	126,00	126,00	126,00	126,00

FONTE: AZUAGA, 2000, COM ADAPTAÇÕES

Com base nos valores da tabela 17, foi desenvolvida a tabela 18 com os custos dos poluentes, considerando inicialmente o trabalho de SPADARO & RABL (2002) e depois o custo considerando os valores de AZUAGA (2000), tabela 19. Foi criada a coluna Custo da tabela 18, com os valores internacionais de custos dos danos, obtidos do trabalho de Spadaro que é um estudioso e defensor da quantificação dos custos dos danos causados pelos poluentes à saúde das pessoas como forma de estimular a obtenção de soluções inteligentes para proteção do Meio Ambiente.

Estes valores internacionais referem-se ao custos dos danos levantados por SPADARO.

Com base nas equações 46, 47 e 48 utilizou-se o programa MATLAB 6.5, considerando-se as tabelas 18 e 19 para a obtenção da curva capaz do menor custo do dano de forma gráfica. Como pode ser observado na família de curvas da Figura 57, as emissões não são lineares o que não permitiria o uso, por exemplo, do método SIMPLEX. O emprego de um modelo tridimensional da Figura 58 permitiu a obtenção da melhor faixa de excesso de O<sub>2</sub>, e a medição do menor custo do dano, considerando-se os intervalos de tempo do teste.

#### **4.8.2 APLICAÇÃO DA LÓGICA DIFUSA OU FUZZY NA GESTÃO DE EMISSÕES**

A aplicação da lógica difusa no auxílio da gestão de emissões em caldeiras foi utilizada com objetivo de alertar os operadores para eventuais diferenças entre os valores registrados pelo analisador de linha de O<sub>2</sub> e o valor real. Eventuais diferenças reduzem a eficácia do controle das emissões baseado no excesso de ar, o que dificultaria o alcance do objetivo desse trabalho. Através das entrevistas, conforme modelo do ANEXO III, pôde-se observar o interesse do público que atua junto aos equipamentos nos assuntos relativos à melhoria da qualidade do meio ambiente. As diferenças entre o analisador compacto e o analisador de linha, confirmadas na análise de ORSAT foram detectadas inúmeras vezes durante os testes.

O desempenho humano, a falha humana ou o erro humano são cada vez mais identificados através do mau funcionamento dos sistemas. Isto é devido, em parte, a alguns sistemas de interação homem-máquina que estão sendo desenhados com alta confiabilidade. Por um lado, o erro humano não é a causa de um evento, ele é a consequência de eventos; ele não ocorre acidentalmente, mas de várias formas, e é inevitável.

A Lógica Difusa representa um manuseio de informações imprecisas, de forma muito distinta da teoria das probabilidades. Esta técnica, segundo SHAW; SIMÕES (1999), "incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle projetado para se comportar conforme o raciocínio dedutivo, inferindo conclusões baseadas em informações que já são conhecidas, possibilitando aferição da relevância e confiabilidade". Ela provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana, em valores numéricos, abrindo portas para se converter a experiência humana em uma forma compreensível pelos computadores, possibilitando, assim, a inclusão da experiência humana dos especialistas, os quais controlam os processos, em controladores computadorizados, possibilitando estratégias de tomadas de decisão em problemas complexos.

- TÓPICOS DOS MODELOS DE CONFIABILIDADE

Normalmente, a idéia que se tem de confiabilidade é de confiança no equipamento, durabilidade e presteza em operar sem falhas. No entanto, segundo LAFRAYA (2001), "Matematicamente, a confiabilidade é definida como a probabilidade de que um componente ou sistema cumpra sua função com sucesso, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas".

Como está geralmente ligada com as falhas durante a vida do produto, é então um aspecto de incerteza da engenharia e, por isso, pode ser representada por uma função de probabilidade. Para SIQUEIRA (2005), "a manutenção interessa a probabilidade de que o item sobreviva a um dado intervalo de tempo (de tempo, ciclo, distância, etc.). Esta probabilidade de sobrevivência se denomina confiabilidade".

De acordo com NETO (2002), a confiabilidade consiste numa coleção de procedimentos estatísticos para análise de dados relacionados ao tempo até a ocorrência de um determinado evento de interesse, a partir de um tempo inicial pré-estabelecido.

Afirma-se então que a confiabilidade é a característica que um item expressa pela probabilidade de que ele realize sua função requerida, na maneira desejada, sob todas as condições relevantes ou durante os intervalos de tempo quando é requerido a fazê-lo.

A confiabilidade é definida como a probabilidade de que um sistema executará sua função planejada para um período especificado de tempo sob um determinado conjunto de condições (LEWIS, 1996).

Segundo PINHO (2000), o conceito genérico de confiabilidade pode ser definido como a probabilidade de um sistema ou um produto executar sua função de maneira satisfatória, dentro de um intervalo de tempo, operando conforme certas condições.

Na maior parte das caracterizações apresentadas, faz-se uso explícito do termo probabilidade, que muitas vezes irá aparecer relacionado ao número de vezes que um sistema opera adequadamente. Além do termo probabilidade, outro ente matemático indispensável no estudo de confiabilidade é a estatística.

A probabilidade e a estatística são ingredientes essenciais, afirma SALEH (2005), sem eles a confiabilidade não poderia ser caracterizada como uma disciplina técnica. A Teoria das Probabilidades e a Estatística tornam-se, então, fundamentais na história do pensamento analítico no âmbito científico, e o desenvolvimento de tais áreas ajudou a construir a teoria da confiabilidade caracterizando-a dessa forma como uma disciplina.

Chama-se Teoria Matemática de confiabilidade a disciplina que corresponde basicamente a um conjunto de idéias, modelos e métodos para tratar problemas relativos à performance de sistemas e suas componentes.

- HISTÓRICO DA LÓGICA DIFUSA OU *FUZZY*

Os conjuntos difusos ou *Fuzzy* lidam com conceitos inexatos. É uma metodologia de caracterização de classes que não define limites rígidos entre elas. A utilização do conjunto *Fuzzy* é indicada sempre que se lida com ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos.

Dadas suas características intrínsecas, a lógica nebulosa é capaz de incorporar tanto o conhecimento objetivo (de dados numéricos), quanto o conhecimento subjetivo (de informações lingüísticas).

A lógica *Fuzzy* está relacionada à variável lingüística. Por exemplo, quando se diz “ela saiu de casa e voltou dizendo que a temperatura lá fora está agradável”. Nesse caso, não é possível descrever, exatamente, qual era a temperatura do ambiente externo (KOSKO, 1995). O termo *Fuzzy* possui caráter polissêmico: barroso, nebuloso, difuso, em graus ou em classes.

O conceito de conjunto *Fuzzy*, foi introduzido, em 1965, por Lotfi A. Zadeh (Universidade da Califórnia, Berkeley). Em vez de se basear em números exatos, ele traduziu matematicamente a inexatidão da linguagem, pois muitos conceitos são melhores definidos por palavras do que pela matemática.

Zadeh publicou trabalho exaltando as virtudes da imprecisão, lançando as bases da lógica difusa ou *Fuzzy logic*. O cientista mostrava que a vida está sujeita a imperfeições, mas estas não são, na verdade, imperfeições, e sim características de sistemas complexos para conclusões cartesianas. Zadeh é personalidade marcante na ciência e tecnologia da nossa época, cujos trabalhos tiveram (e têm) impacto em muitas áreas científicas, como controle, lógica, decisão, otimização, previsão e inteligência computacional (KOSKO, 1995).

A ele é atribuído o reconhecimento como grande colaborador do Controle Moderno. Em meados da década de 60 do século passado, Zadeh observou que os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar as atividades relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química, que compreendessem situações ambíguas, não passíveis de processamento através da lógica computacional fundamentada na Lógica Booleana.

Procurando solucionar esses problemas, Zadeh, em 1965, então professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade da Califórnia em Berkeley, publicou um artigo sobre a teoria dos conjuntos *Fuzzy*. Ele propôs graduar a pertinência de elementos nos conjuntos, ou seja, um elemento pode ser, por exemplo, 30% de um conjunto A e 70% do conjunto A'.

A teoria *Fuzzy* constitui-se numa poderosa ferramenta com capacidade para modelar problemas reais onde incertezas e imprecisões estão presentes. Ela possibilita a representação de conceitos vagos e imprecisos (VANDERLEI FILHO, 2002).

Em 1974, o Prof. Mamdani, do Queen Mary College, Universidade de Londres, após inúmeras tentativas frustradas em controlar uma máquina a vapor com tipos distintos de controladores, incluindo o proporcional, integral e derivativo, PID, somente conseguiu fazê-lo através da aplicação do método *Fuzzy*.

Esse sucesso serviu de alavanca para muitas outras aplicações, como em 1980, no controle *Fuzzy* de operação de um forno de cimento. Vieram, em seguida, várias outras aplicações, destacando-se, por exemplo, os controladores *Fuzzy* de plantas nucleares, refinarias, processos biológicos e químicos, trocador de calor, máquina diesel, tratamento de água e sistema de operação automática de trens (MENDEL, 1995), estimulados pelo desenvolvimento e pelas enormes possibilidades práticas de aplicações que se apresentaram, segundo EARL COX (1994). Os estudos sobre Sistemas *Fuzzy* e controle de processos avançam rapidamente, culminando com a criação, em 1984, da Sociedade Internacional de Sistemas *Fuzzy* constituída, principalmente, por pesquisadores dos países mais avançados tecnologicamente.

Após mais de três décadas, a idéia de teoria *Fuzzy* desponta com sucesso em várias outras áreas de aplicações, tais como: diagnóstico e análise de imagens médicas, processos de fabricação (manufatura), controle de robôs, reconhecimento de escrita, reconhecimento automático de alvo, engenharia de alimentos e sistemas especialistas (VANDERLEI FILHO, 2002).

- CONJUNTOS *FUZZY*

Em conformidade com ZADEH (1965) os conjuntos clássicos, denominados conjuntos abruptos (*crisp sets*) são formados por elementos que são ditos pertinentes ao conjunto. Portanto, o grau de pertinência de um elemento assume apenas dois valores: zero, se pertencer 0% ao conjunto ou 1, se pertencer 100% ao conjunto. Assim, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto fica bem definido.

Dado um conjunto  $A$  em um universo  $X$ , os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto. Isto deve ser expresso pela função característica  $f_A$ :

$$f(A) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (30)$$

Neste contexto, a função característica somente assume valores 0 ou 1, quando a condição de pertinência altera-se abruptamente.

A lógica *Fuzzy* é uma extensão da lógica clássica para tratar o conceito de pertinência. Esta parcialidade é verificada pela análise de “quanto” um dado elemento pertence a um conjunto. A classificação dos graus de pertinência de um elemento dentro do intervalo [0,1] transforma-o em um conjunto *Fuzzy* (OLIVEIRA, 2002).

Zadeh propôs uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica, de modo que ela pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo [0,1]. Um conjunto *Fuzzy*  $A$  em um universo  $X$  é definido por uma função de pertinência  $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \subset R$  e representado por um conjunto de pares ordenados  $A = \{\mu_A(x)/x\} x \in X$  onde  $\mu_A(x)$  indica o quanto  $x$  é compatível com o conjunto  $A$ . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *Fuzzy*, com diferentes graus de pertinência.

Um subconjunto *Fuzzy A* de um conjunto  $X$  pode ser definido como um conjunto de pares ordenados, onde cada par tem como primeiro elemento um elemento de  $X$  e como segundo elemento um valor no intervalo  $[0,1]$ , com exatamente um par ordenado para cada elemento de  $X$ . Isto define um mapeamento entre os elementos do conjunto  $X$  e os pontos no intervalo  $[0,1]$ . O valor zero é usado para representar a completa não pertinência, o valor um é usado para representar a completa pertinência, e valores entre zero e um são usados para representar graus intermediários de pertinência. O conjunto  $X$  é chamado de universo de discurso para o subconjunto *Fuzzy A*. O universo de discurso também deve ser visto como a faixa de todos os possíveis valores de entrada de um sistema *Fuzzy*. De forma freqüente, o mapeamento é descrito como uma função: a função de pertinência de  $A$ .

O grau para o qual a declaração de que  $x$  está em  $A$  é verdadeira, sendo determinada encontrando-se o par ordenado onde o primeiro elemento é  $x$ . O grau de pertinência da declaração é dado pelo segundo elemento do par ordenado (VANDERLEI FILHO, 2002).

Definição 1: Seja  $X$  um conjunto de objetos com elementos  $x$ . Assim, tem-se  $X = \{ x \}$ .

Definição 2: Um conjunto *Fuzzy A* em  $X$  é caracterizado por uma função de pertinência  $\mu_A(x)$  que mapeia cada ponto em  $X$  para o intervalo real  $[0,1]$ . Ao passo que  $\mu_A(x)$  se aproxima de 1,0, o grau de pertinência de  $x$  em  $A$  aumenta. (VANDERLEI FILHO, 2002). Ou seja,  $\mu_A$ :

$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ . Um conjunto *Fuzzy* deve ser designado como segue:

- $A = \{(a; 0,8), (d; 1), (f; 0,3)\}$

ou

- $A = \{(0,8/a), (1/d), (0,3/f)\}$

O elemento “ $a$ ” pertence ao conjunto  $A$  com um grau de 80%, o elemento “ $d$ ” pertence totalmente (100%) ao conjunto e o elemento “ $f$ ” pertence somente 30% (OLIVEIRA, 2002).

Funções de pertinência podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva do usuário, mas é comum fazer-se uso de funções de pertinência padrão, como, por exemplo, as de forma triangular, trapezoidal e Gaussiana. Em aplicações práticas as formas escolhidas inicialmente podem sofrer ajustes em função dos resultados observados.

Funções de pertinência contínuas podem ser definidas por intermédio de funções analíticas. Por exemplo, a seguinte função geral pode ser usada para definir as funções de pertinência associadas aos conjuntos *Fuzzy* correspondentes aos termos pequeno, médio e grande:

$$\mu_A(x) = \{(1 + (a(x - c))^b)^{-1}\} \quad (31)$$

A forma de  $\mu_A(x)$  pode ser modificada através da manipulação dos três parâmetros a, b e c.

$$\mu_{pequeno}(x) = (1 + 9x^2)^{-1} \quad (32)$$

$$\mu_{médio}(x) = (1 + 9(x-0,5)^2)^{-1} \quad (33)$$

$$\mu_{grande}(x) = (1 + 9(x-2)^2)^{-1} \quad (34)$$

### Operações *Fuzzy*

As operações clássicas de igualdade, união, interseção e complemento foram estendidas para o domínio dos conjuntos *Fuzzy*, apresentando diversas formas de implementação. A seguir, são apresentadas estas extensões, conforme proposto por (ZADEH, 1965).

Igualdade de conjuntos *Fuzzy*.

Dois conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $B$  são ditos iguais se, e somente se,  $A \cdot B = B \cdot A$  ou seja:

$A = B$  se  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$  e  $\mu_B(x) = \mu_A(x)$ ,  $x \in X$  ou

$$A = B \text{ se } \mu_A(x) = \mu_B(x), x \in X \quad (35)$$

### Complemento *Fuzzy*

O complemento de um conjunto *Fuzzy*  $A$ ,  $cA$ , é obtido pela aplicação da seguinte função de pertinência:

$$\mu_{cA}(x) = 1 - \mu_A(x), x \in X \quad (36)$$

O valor  $\mu_{cA}(x)$  pode ser visto não apenas como o grau de pertinência pelo qual  $x$  pertence a  $cA$ , mas também como o grau pelo qual  $x$  não pertence ao conjunto *Fuzzy*  $A$ . Da mesma forma,  $\mu_{cA}(x)$  pode ser considerado como o grau pelo qual  $x$  não pertence à  $cA$ . Para um conjunto *Fuzzy*  $A$ ,  $cA$  pode ser obtido através da aplicação da função  $c$  aos valores  $\mu_{cA}(x)$ :

$$\mu_{cA}(x) = c(\mu_A(x)), X \quad (37)$$

### Interseção *Fuzzy*

A interseção *Fuzzy* dos conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $A'$ , definida por  $\mu A'$ , provoca o surgimento de outro conjunto *Fuzzy*, cuja função de pertinência é formada pelos mínimos das funções de pertinência dos conjuntos  $A$  e  $A'$ , assim representado:

$$(A \cap B) = \{ [\mu A(x) \cap \mu B(x)] / x \} \quad (38)$$

A função *min* identifica o maior conjunto *Fuzzy* contido em ambos os conjuntos  $A$  e  $A'$ .

### União *Fuzzy*

A união *Fuzzy* dos conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $A'$ , definida por  $A \cup A'$ , provoca o surgimento de outro conjunto *Fuzzy*, cuja função de pertinência é formada pelos máximos das funções de pertinência dos conjuntos  $A$  e  $A'$ , representando-se desta forma:

$$(A \cup B) = \{ [\mu A(x) \cup \mu B(x)] / x \} \quad (39)$$

De forma semelhante, a função *max* identifica o menor conjunto *Fuzzy* que contenha os conjuntos  $A$  e  $A'$ .

### Operações Algébricas com Conjuntos *Fuzzy*

Os conceitos básicos dos conjuntos *Fuzzy* também apresentam extensões para permitir operações algébricas. A seguir estão apresentadas as mais empregadas (LIMA E OLIVEIRA JR, 2002).

a) Soma Algébrica: a soma algébrica  $A' = A + B$  é definida da seguinte forma:

$$A+B = \{ (x, \mu A(x) + \mu B(x) - \mu A(x) \cdot \mu B(x)) / x \cdot X \} \quad (40)$$

b) Produto algébrico: o produto algébrico de dois conjuntos *Fuzzy*  $A$  e  $B$  é definido da seguinte forma:

$$A \cdot B = \{ (x, \mu A(x) \cdot \mu B(x)) / x \cdot X \} \quad (41)$$

### Relações *Fuzzy*

Representa o grau de associação, interação ou interconectividade entre elementos de dois ou mais conjuntos *Fuzzy*.

Exemplos:

$x$  é muito maior que  $y$

$y$  é bem próximo de  $x$

$z$  é muito mais alto que  $y$

Se  $x$  é grande Então  $y$  é pequeno

A relação *Fuzzy*  $R(X,Y)$  é um conjunto *Fuzzy* caracterizado pela função de pertinência  $\mu R(x,y)$  onde  $x \in X$  e  $y \in Y$

$$\text{Logo } R(X,Y) = \{[(x,y), \mu R(x,y)] / (x,y). X \in Y\} \quad (42)$$

### ALGUNS TIPOS DE FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA.

**Triangular:** a Figura 52 foi extraída de DALBEN (2004) e mostra o gráfico que é especificado por três parâmetros ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ).

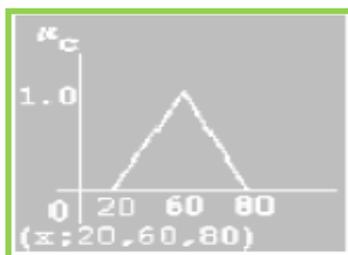


FIGURA 52. GRÁFICO TRIANGULAR.

FONTE: DALBEN, 2004

$$\text{Triangular } (x; a, b, c) = \max(0, \min[(x-a)/(b-a), (c-x)/(c-b)]) \quad (43)$$

As figuras 53 e 54 foram extraídas de DALBEN (2004) e mostra seus respectivos parâmetros.

. **Trapezoidal:** A figura 53, mostra o gráfico que é especificado por 4 parâmetros (a,b,c,d).

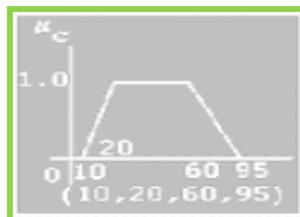


FIGURA 53 – GRÁFICO TRAPEZOIDAL.

FONTE: DALBEN, 2004

$$\text{Trapézio } (x;a,b,c,d) = \max(0, \min[(x-a)/(b-a), 1, (d-x)/(d-c)]) \quad (44)$$

. **Gaussiana:** A figura 54 mostra o gráfico que é especificado por dois parâmetros (s, c)

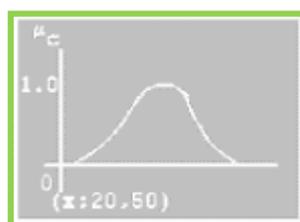


FIGURA 54 – GRÁFICO GAUSSIANA

FONTE: DALBEN, 2004

$$\text{Gaussiana } (x;s,c) = \exp\{-(x-c)/s\}^2 \quad (45)$$

### Modelo Geral

A tomada de decisão é uma das atividades intelectuais mais comuns dos seres humanos. Diariamente, tomam-se centenas de decisões, desde quando se acorda até o momento que se dorme.

O especialista, ao tomar decisão, usa um alto nível de racionalização, utilizando um modelo mental estabelecido para avaliação dos problemas como mostra a figura 55.

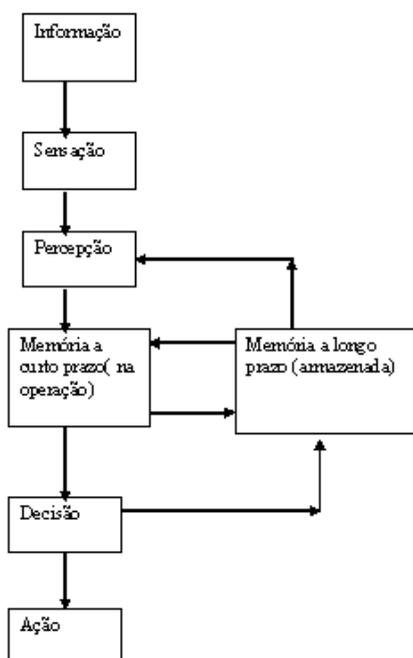


FIGURA 55: MODELO GERAL DO PROCESSO DECISÓRIO

FONTE: COSTA, 2007

### Modelo de Decisão

O êxito ou não de um empreendimento depende de quanto acertadas são as decisões tomadas por seus gestores. Para tal, é preciso que se tenha o problema bem formulado e as alternativas e seus respectivos cenários bem delineados.

A tomada de decisões para AGUIAR (2006) pode ser, no entanto, controlada nas organizações, por meio da manipulação de estímulos e reforços socialmente administrados e seus membros. Essa estratégia aumenta a probabilidade da resposta ou da tomada de decisão na direção desejada pela organização. A oscilação entre as formas incompletas de respostas é incômoda e aversiva. O reforço contribui para eliminar esse conflito.

De acordo com Simon, *apud* Freitas (1997), a decisão, de modo genérico, possui dois objetos: “a ação no momento e a descrição para o futuro”. Desta forma, nota-se que as decisões de hoje afetarão o futuro. Deste fato advém a complexidade da tomada de decisão: decidir baseado no cenário presente considerando os desdobramentos desta decisão em um cenário futuro desconhecido, sobre qual pouco se sabe e pode-se determinar (FREITAS; 1997).

Através da figura 56 a seguir, ilustra-se de forma objetiva o processo de tomada de decisão, no contexto organizacional, destacando as variáveis mais relevantes que interagem neste processo.

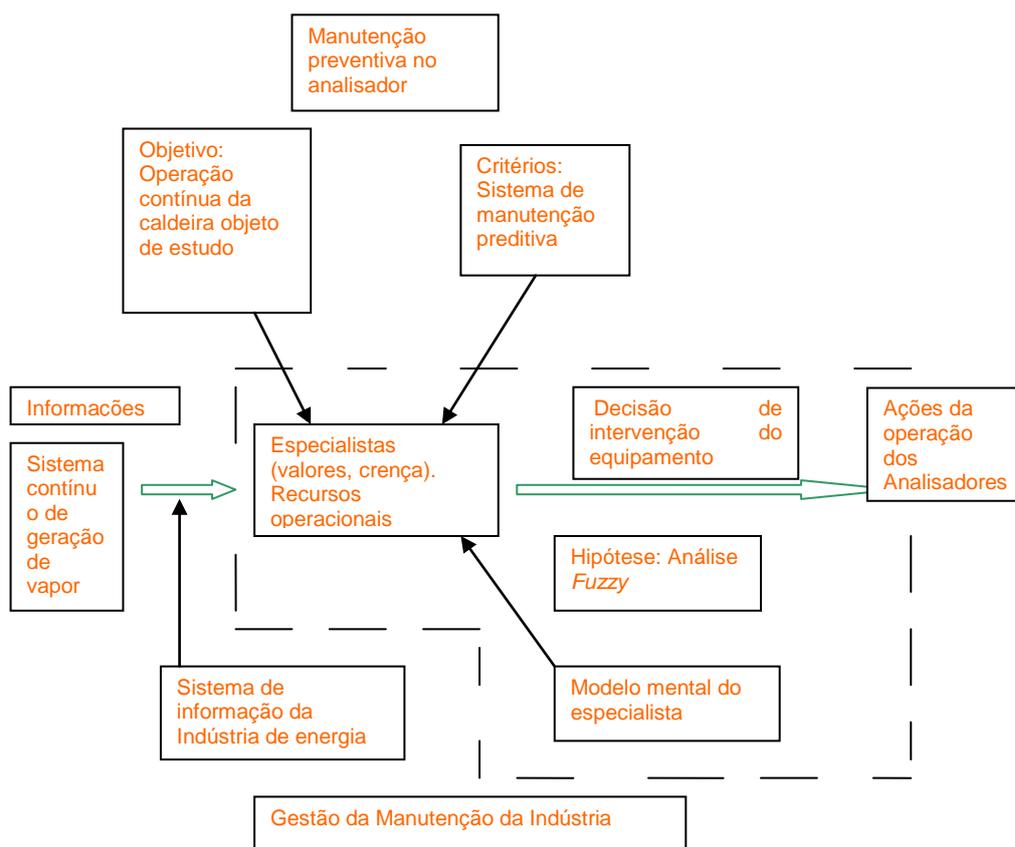


FIGURA 56: GESTÃO DE MANUTENÇÃO DA INDÚSTRIA

FONTE: COSTA, (2007).

#### Fluxo do Processo

O Especialista, mesmo submetido às tensões internas ou externas ao seu ambiente, procura obter através do seu conhecimento tácito e codificado, o momento ideal para realizar a manutenção no analisador de  $O_2$ .

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS DO EMPREGO DAS METODOLOGIAS PROPOSTAS.

#### 5.1 RESULTADOS DAS CURVAS DE EMISSÕES

A tabela 17 mostra os dados obtidos na redução de  $O_2$  com o analisador compacto TELEGAN 10.

TABELA 17. LEVANTAMENTO DE CAMPO REALIZADO EM 15 DE DEZEMBRO DE 2007,

EXCESSO DE $O_2$ (%)		EMIÇÃO DE $NO_x$ (ppmv)		EMIÇÃO DE MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	EMIÇÃO DE CO (ppmv)	
A	B	A	B	Método laboratório	A	B
7,7	10,7	96	129	43	0	0
7,9	10,6	91	118	44	0	0
6,1	9,6	105	138	46	0	0
4,5	8,6	130	162	47	0	0
3,3	7,8	116	150	49	0	0
1,9	6,5	92	146	50	0	0
1,3	6,0	86	138	54	10	20
1,0	4,6	84	120	58	25	30
0,7	4,0	82	115	59	30	40
0,6	3,8	81	108	61	45	52
0,5	3,6	73	90	62	50	70
2,8	7,6	119	143	52	0	0

Com base nos resultados dos testes da tabela 17 foram obtidas as curvas com o programa EXCEL e as equações representativas do comportamento de cada poluente em relação ao excesso de  $O_2$ .

A equação 46, 47, e 48 retratam o comportamento das emissões de  $NO_x(Y_1)$ , MP ( $Y_2$ ) e CO ( $Y_3$ ) em função do excesso de  $O_2(x_1)$ .

$$Y_1 = 0,254 x_1^4 - 4,228 x_1^3 + 20,01 x_1^2 - 18,45 x_1 + 83,62$$

(46)

Onde:

$Y_1$  é a emissão de  $NO_x$

$x_1$  é o excesso de  $O_2$

$$Y_2 = 56,62 x^{-0,12}$$

(47)

Onde:

$Y_2$  é a emissão de MP

$X_2$  é o excesso de  $O_2$

$$Y_3 = 0,002x^6 - 0,112x^5 + 1,853 x^4 - 14,92 x^3 + 62,35 x^2 - 127,8 x + 99,58 \quad (34) \quad (48)$$

Onde:

$Y_3$  é a emissão de CO

$X_3$  é o excesso de  $O_2$

A figura 57 apresenta o gráfico da família de curvas de emissões expressas pelas equações 46, 47 e 48.

A figura 58 mostra um gráfico tridimensional com os valores das emissões no tempo conforme se altera o excesso de ar.

Assim, de acordo com os dados dos autores AZUAGA(2000) e SPADARO(1998) foram desenvolvidos os gráficos tridimensionais, Figuras 58, 60, 62 e 64 considerando as equações e os respectivos poluentes envolvidos no levantamento efetuado durante os testes no campo levando-se em conta o tempo.

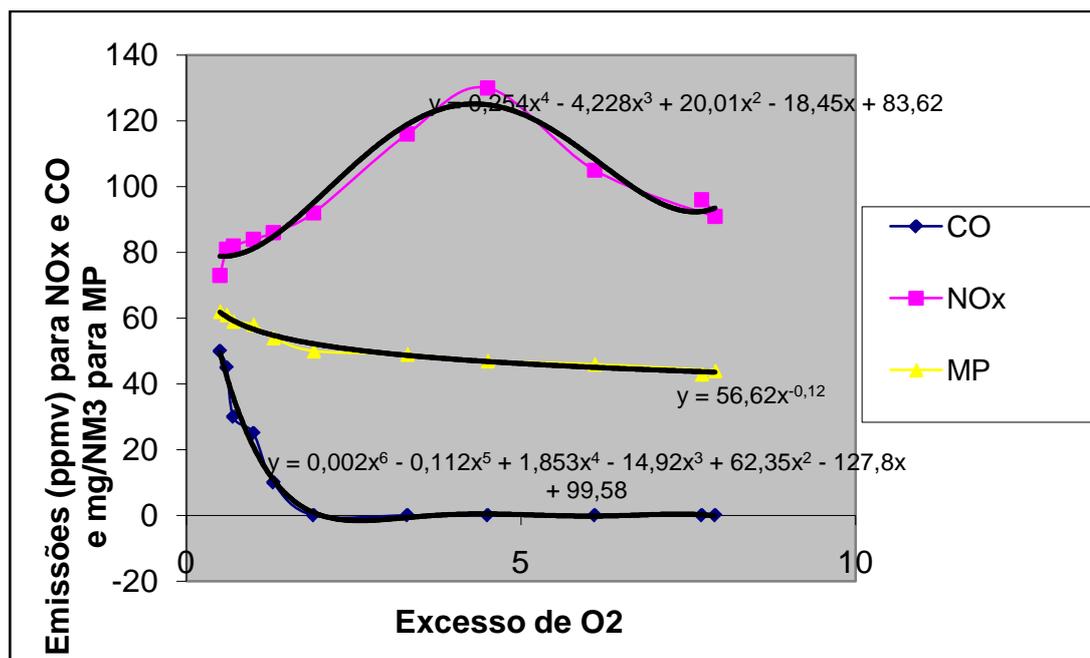


FIGURA 57: EMISSÕES OBTIDAS NO TESTE EM CAMPO DA CALDEIRA OBJETO DE ESTUDO.

TABELA. 18: CUSTOS DOS DANOS.

CO (ppmv)	NO <sub>x</sub> (ppmv)	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Nox (mg/Nm <sup>3</sup> )	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	Fator	Custo U \$/kg	Custo T (U\$/t)
0	96	43	0	288	43	1,3	0,004	2130,96
0	91	44	0	273	44	3	2,92	2117,16
0	105	46	0	315	46	1	30	2299,8
0	130	47	0	390	47			2548,8
0	116	49	0	348	49			2486,16
0	92	50	0	276	50			2305,92
10	86	54	13	258	54			2373,41
25	84	58	32,5	252	58			2475,97
30	82	59	39	246	59			2488,47
45	81	61	58,5	243	61			2539,79
50	73	62	65	219	62			2499,74

FONTE: SPADARO & RABL, 2002

A coluna Fator apresenta a conversão de ppmv de CO e NO<sub>x</sub> para mg/Nm<sup>3</sup>. O custo referente ao trabalho de Spadaro encontra-se na coluna Custo e refere-se ao custo total com o uso do polinômio resultante de Custo T.

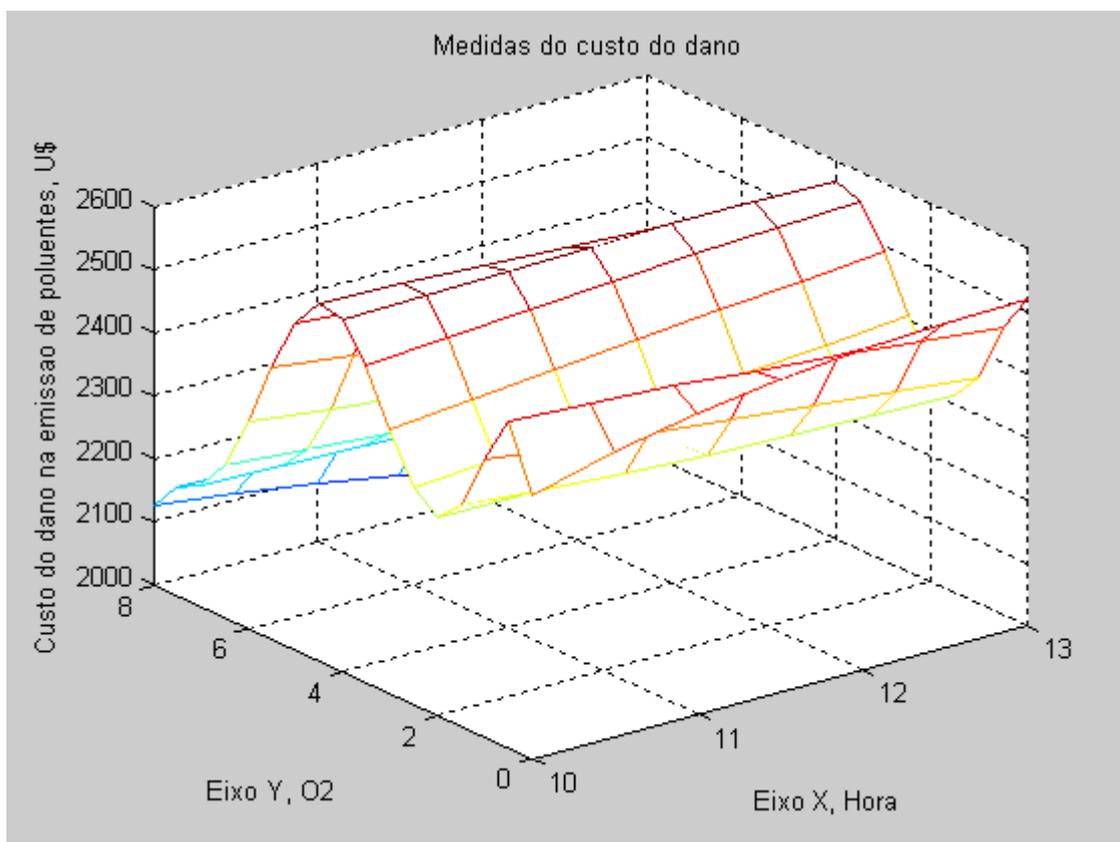


FIGURA 58: GRÁFICO COM OS CUSTOS DOS DANOS INTERNACIONAIS (SPADARO & RABL, 2002)

O custo T conforme a última coluna da tabela 18, refere-se ao somatório total dos custos individuais de MP, CO e NO<sub>x</sub>.

Assim, considerando-se o trabalho de Spadaro, observa-se que o menor custo do dano está na faixa de 2,1% de O<sub>2</sub>. Em 2,1% o custo do dano é o menor possível, portanto coerente com a metodologia baseada na eficiência.

Analisando-se o trabalho de AZUAGA (2000) pôde-se levantar a tabela 19, onde está sendo considerado o custo do dano na faixa superior do trabalho deste autor.

TABELA.19: CUSTO TOTAL DAS EMISSÕES, VALOR SUPERIOR

O <sub>2</sub> (%)	CO (ppmv)	NO <sub>x</sub> (ppmv)	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Nox (mg/Nm <sup>3</sup> )	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	Fator	Custo U\$/kg	Custo T U/t
7,7	0	96	43	0	288	43	1,3	0,013	3725,37
7,9	0	91	44	0	273	44	3	10,53	3583,53
6,1	0	105	46	0	315	46	1	16,11	4058,01
4,5	0	130	47	0	390	47			4863,87
3,3	0	116	49	0	348	49			4453,83
1,9	0	92	50	0	276	50			3711,78
1,3	10	86	54	13	258	54			3586,84
1	25	84	58	32,5	252	58			3588,36
0,7	30	82	59	39	246	59			3541,37
0,6	45	81	61	58,5	243	61			3542,26
0,5	50	73	62	65	219	62			3305,73

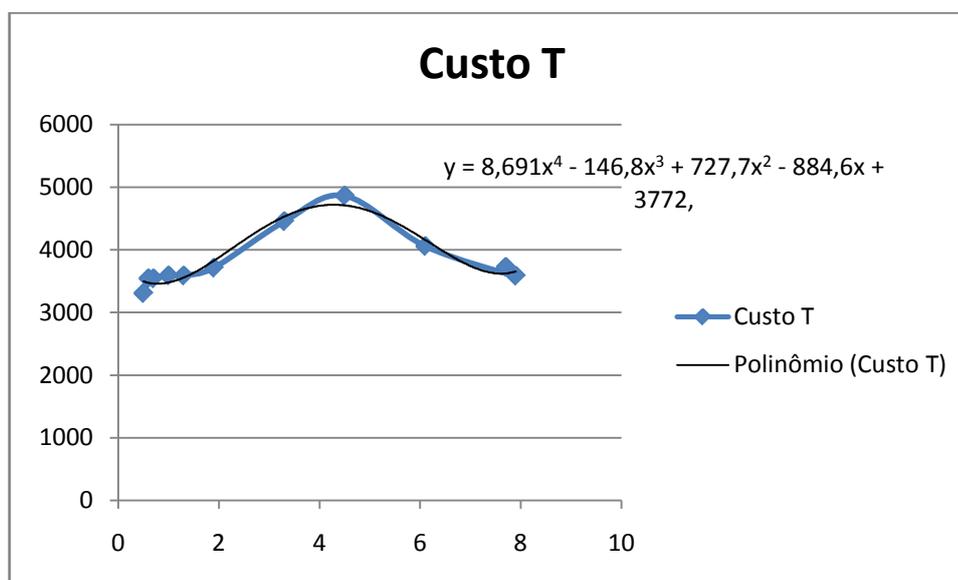


FIGURA 59: CUSTO TOTAL LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O CUSTO SUPERIOR LEVANTADO POR AZUAGA, 2000.

A equação do Custo Total representa a soma de todas as equações de Emissões de NO<sub>x</sub>, MP e CO, trabalho efetuado no MATLAB 6.5, conforme Figura 60.

Polinômio do Custo Total:  $y = 8,691 x^4 - 146,8 x^3 + 727,7 x^2 - 884,6 x + 3772$  (49)

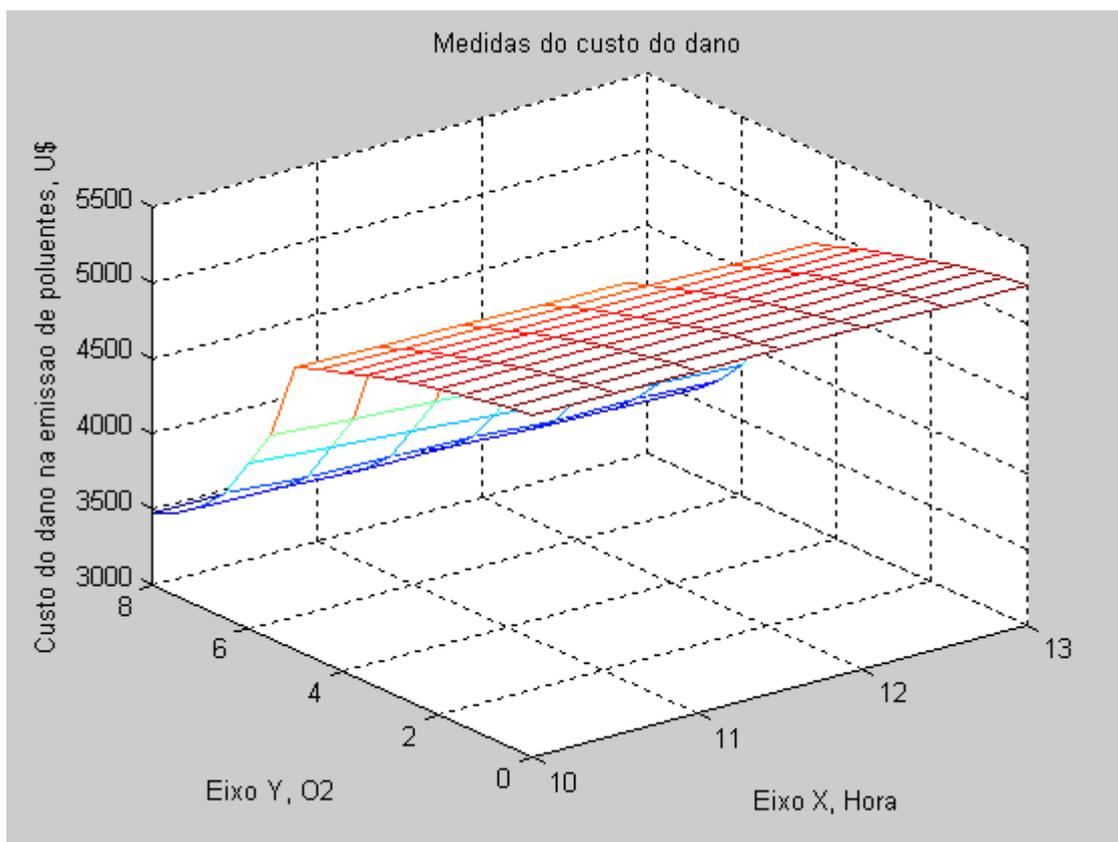


FIGURA. 60: CUSTOS DOS DANOS, FAIXA SUPERIOR.

Assim, considerando-se o custo do dano na faixa superior, e o polinômio dos dados de AZUAGA, observa-se que o melhor está na faixa de 0,7% de  $O_2$ , tendendo a diminuir à medida que se minimiza a emissão de  $NO_x$ . Entretanto, esse valor de 0,7% promove uma queima instável e produtora de CO em uma escala exponencial. Dessa forma, o custo do dano levando-se em conta o estabelecido no capítulo 4 referente ao excesso de ar ótimo e eficiência do equipamento, valor de excesso de ar na faixa menor que 1,0 não é aceitável, do mesmo modo que na faixa de excesso  $O_2$  superior a 4% é antieconômico e está diluído. O valor mais aconselhável seria estabelecer a faixa entre 2,0 e 3,0% de  $O_2$  considerando-se todos os estudos observados anteriormente.

Analisando-se o trabalho de AZUAGA (2000) pôde-se levantar a tabela 20, onde está sendo considerado o custo do dano na faixa inferior do trabalho exploratório.

TABELA 20 CUSTO TOTAL LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O CUSTO INFERIOR LEVANTADO POR AZUAGA, 2000.

O <sub>2</sub> (%)	CO (ppmv)	NOx (ppmv)	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Nox (mg/Nm <sup>3</sup> )	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	Fator	Custo U\$/kg	Custo T U/t
7,7	0	96	43	0	288	43	1,3	0,0037	353,344
7,9	0	91	44	0	273	44	3	0,558	349,454
6,1	0	105	46	0	315	46	1	4,48	381,85
4,5	0	130	47	0	390	47			428,18
3,3	0	116	49	0	348	49			413,704
1,9	0	92	50	0	276	50			378,008
1,3	10	86	54	13	258	54			385,9321
1	25	84	58	32,5	252	58			400,5763
0,7	30	82	59	39	246	59			401,7323
0,6	45	81	61	58,5	243	61			409,0905
0,5	50	73	62	65	219	62			400,2025

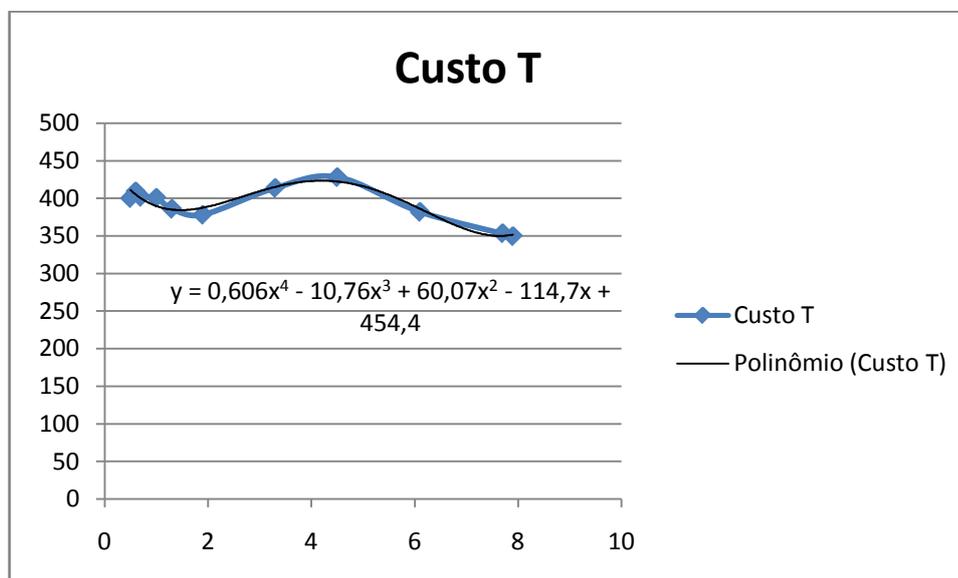


FIGURA 61: CUSTO TOTAL LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO A FAIXA INFERIOR LEVANTADO POR AZUAGA (2000).

Polinômio do Custo Total:  $y = 0,606 x^4 - 10,76 x^3 + 60,07 x^2 - 114,7 x + 454,4$  (50)

A equação 50 leva em consideração os custos inferiores, e está simulada na Figura 62, quando se inclui o período dos testes.

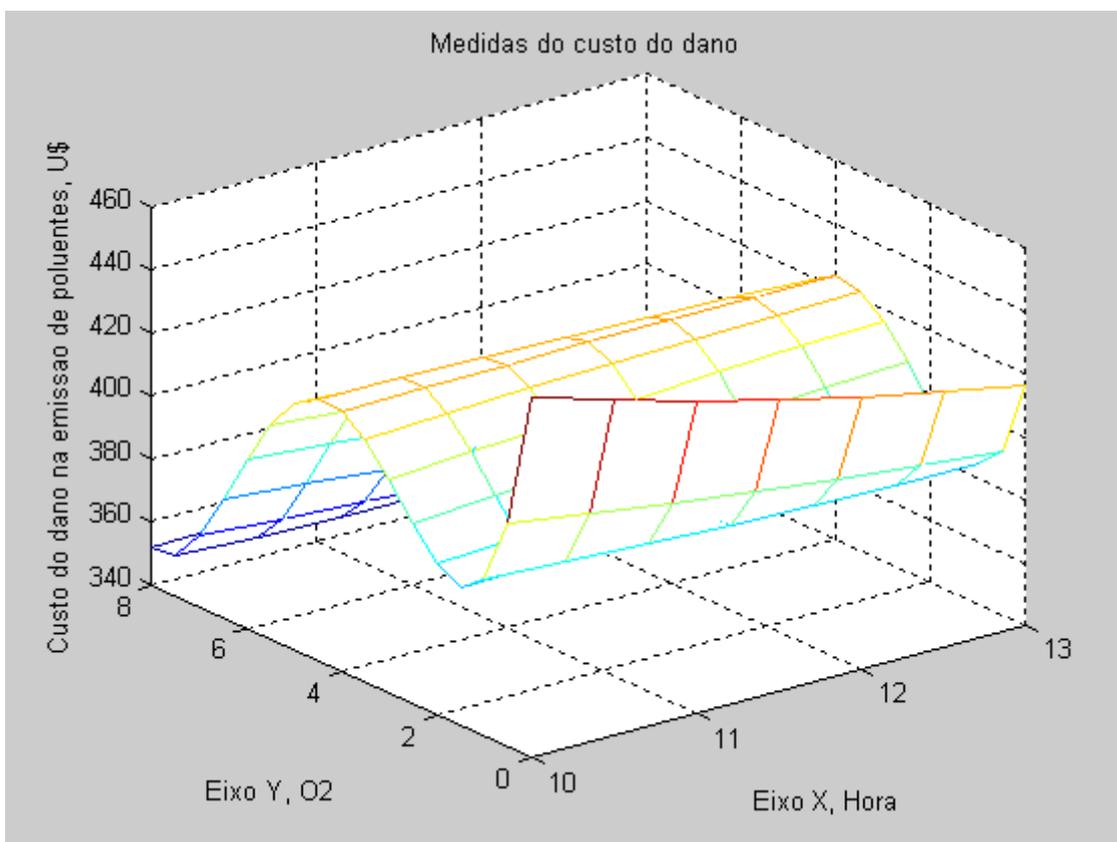


FIGURA. 62: CURVA DOS CUSTOS DOS DANOS, FAIXA INFERIOR.

Assim, considerando-se o custo do dano na faixa inferior dos dados de AZUAGA, observa-se que o melhor está na faixa de 2,1% de  $O_2$ , tendendo a estabilizar à medida que se minimiza o excesso de  $O_2$ . Dessa forma, para o melhor custo do dano, levando-se em conta o valor inferior, continua se confirmando entre 2,0 e 2,3 de excesso de  $O_2$ .

Para que se possa estabelecer um novo parâmetro, considerando-se os valores superior e inferior será criado um valor intermediário com a média dos custos inferior e superior. A tabela 20 apresenta os valores intermediários de custo.

TABELA 21 CUSTO TOTAL LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O CUSTO INTERMEDIÁRIO.

O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	MP	CO fator	Nox fator	MP fator	Fator	Custo U	Custo T
7,7	0	96	43	0	288	43	1,3	0,0037	2039,36
7,9	0	91	44	0	273	44	3	0,558	1966,49
6,1	0	105	46	0	315	46	1	4,48	2219,93
4,5	0	130	47	0	390	47			2646,06
3,3	0	116	49	0	348	49			2433,77
1,9	0	92	50	0	276	50			2044,89
1,3	10	86	54	13	258	54			1986,39
1	25	84	58	32,5	252	58			1994,47
0,7	30	82	59	39	246	59			1971,55
0,6	45	81	61	58,5	243	61			1975,68
0,5	50	73	62	65	219	62			1852,97

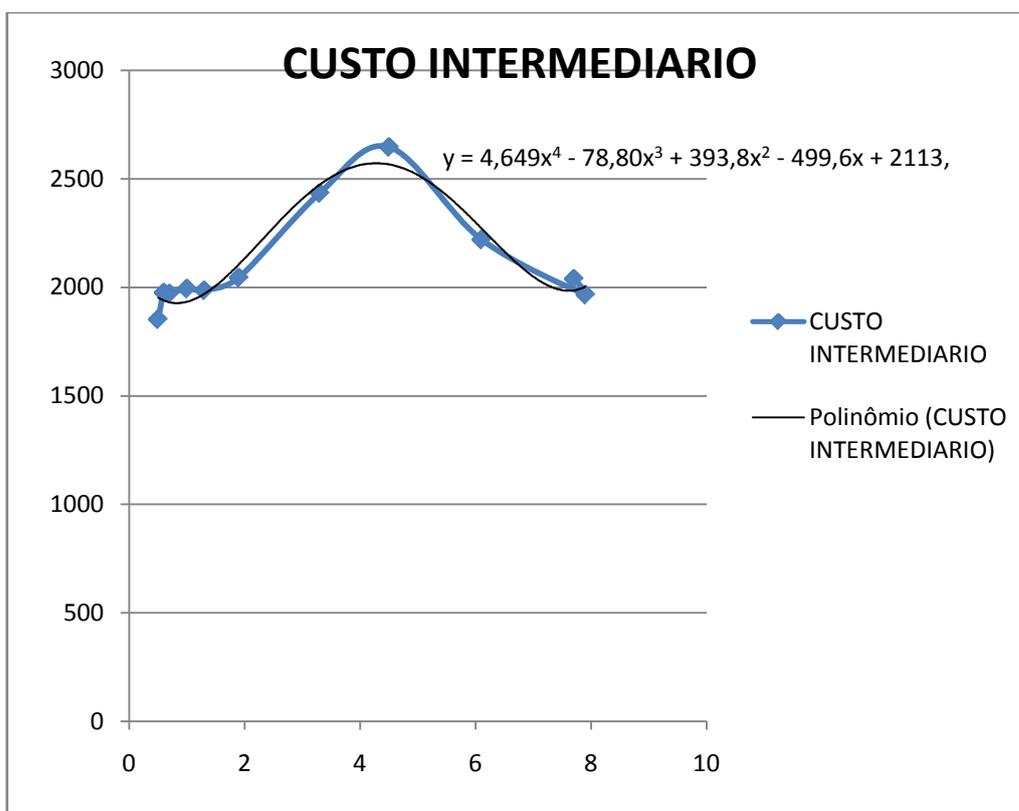


FIGURA 63: CUSTO TOTAL LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O CUSTO INTERMEDIÁRIO

$$\text{Polinômio do Custo Total: } y = 4,649 x^4 - 78,80 x^3 + 393,8 x^2 - 499,6 x + 2113 \quad (51)$$

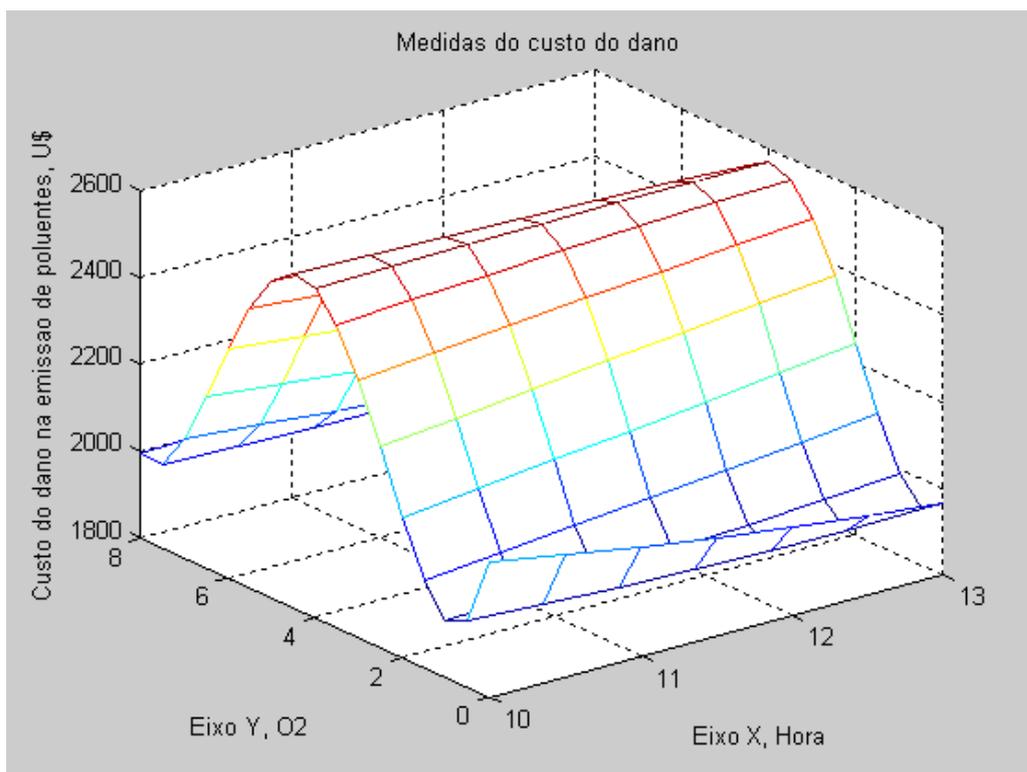


FIGURA 64: CURVA DOS CUSTOS DOS DANOS, FAIXA INTERMEDIÁRIA.

Como pode ser observado, considerando-se o custo do dano na faixa intermediária, isto é, a média aritmética dos valores superior e inferior dos dados de AZUAGA figura 64, o menor deles está na faixa de 2,0% de  $O_2$ , tendendo a se reduzir à medida que o excesso de  $O_2$  diminui à níveis possíveis apenas com queimadores Low- $NO_x$ .

Dessa forma, para um melhor custo do dano, levando-se em conta o valor inferior, continua se mantendo na faixa de 2,0 de excesso de  $O_2$ , isto é, o menor custo do dano.

## 5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS COM BASE NO CUSTO DO DANO

Em face dos valores levantados dos gráficos das figuras 57 a 64, observa-se que o melhor custo do dano pode ser encontrado na faixa de 2,0 a 2,3 % de excesso de  $O_2$ . O custo do dano em faixas muito altas de  $O_2$  não deve ser considerado em função da diluição dos valores, motivo pelo qual a CONAMA 382 estabelece no artigo 3º, inciso III, a necessidade de normalização para o referencial 3%. Em valores muito baixos de  $O_2$ , considerando os custos de Spadaro & Rabl (2002), o ideal é 1,9 % de excesso de  $O_2$ . Entretanto, ao considerarem-se os custos de AZUAGA, a faixa ideal nos valores inferiores fica em torno de 2,1% de excesso.

### 5.3 PROJETO DO SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE MANUTENÇÃO FUZZY PARA O PROCESSO DE AFERIÇÃO E LIMPEZA DO ANALISADOR DE O<sub>2</sub>.

Com base nas informações obtidas com a entrevista, cujo modelo se encontra no ANEXO III, foram elaborados os conjuntos nebulosos. A entrevista foi aplicada após o curso sobre emissões de caldeiras, ministrado a dez operadores que trabalham com o equipamento objeto de estudo. Os dados incluíram o nome, idade, tempo de empresa, escolaridade, valores de excesso de O<sub>2</sub> e valores de trabalho para vazão de ar.

O objetivo da aplicação da lógica difusa é transformar o conhecimento do especialista em uma linguagem que possa ser utilizada pelo computador.

Os valores indicaram o formato trapezoidal como o mais conveniente, pois esse modelo foi o que mais representou a lingüística dos operadores, tendo em vista que os valores se deram por faixas. Isto por que, ao se tratar os resultados das entrevistas, pôde-se verificar que a faixa de 0,7 a 1,3 foi considerada baixa, o normal seriam os valores de 1,9 a 2,5 e os valores elevados se dariam a partir de 3,5%.

Outro ponto igualmente importante é a inferência pelo antecedente, no caso o O<sub>2</sub>, onde se estabelece as regras do controle. A inferência pelo conseqüente produz outros valores igualmente importantes, no caso a saída do *flap* do ventilador.

#### “FUZZIFICAÇÃO”

Segundo SHAW E SIMÕES (1999), fuzzificação é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio *fuzzy*. Fuzzificação também representa que há atribuição de valores lingüísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada.

- CONJUNTOS NEBULOSOS

- Variável de entrada: (A) Excesso de O<sub>2</sub> registrado pelo analisador.

$\mu_A(x) \rightarrow$  tem domínio de 0 a 20%

- Valores das Variáveis de Entrada

$A = \{\text{baixo, normal, elevado}\}$

- Variável de Saída: (B) Vazão de ar

$\mu_R(x) \rightarrow$  tem domínio de 0 a 100%

Valores das Variáveis de Saída

- $F = \{\text{pouco aberto, normal, muito aberto}\}$

- RELAÇÕES FUZZY NA ENTRADA (FUZZYFICADOR)

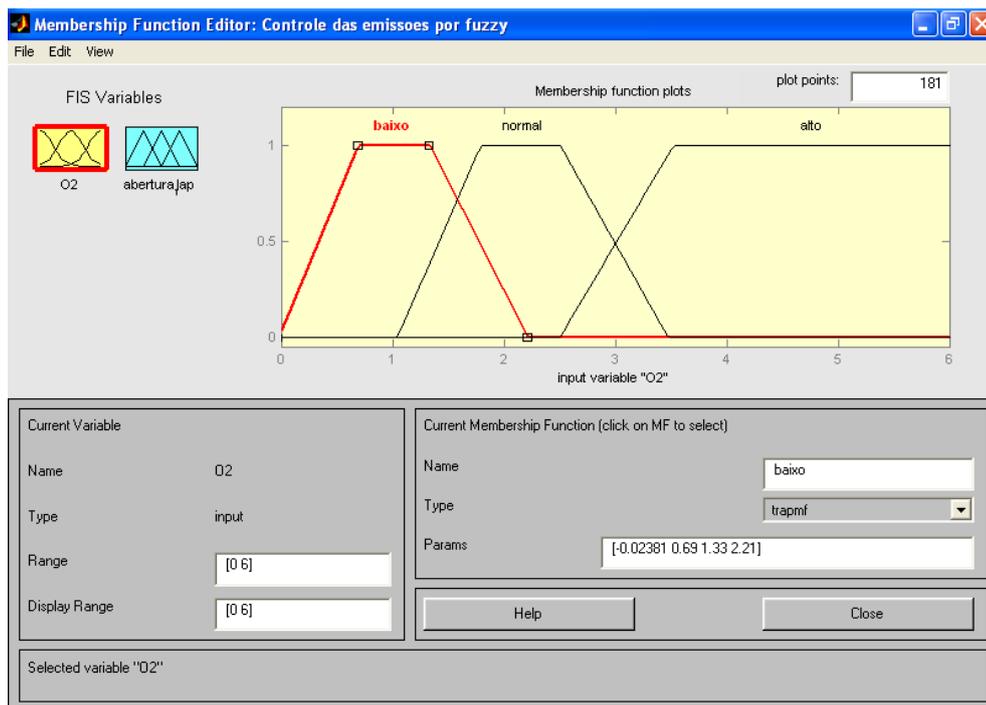
$$R_A = \mu_A = \min \mu_i(x) \quad (52)$$

- FORMATO DOS CONJUNTOS

Para todas as variáveis (entrada e saída) foram escolhidos formato trapezoidal.

Para os conjuntos *Fuzzy*, no formato trapezoidal os especialistas consideram uma faixa bem definida em que todos concordam que tenha grau de pertinência 1 e nas proximidades do primeiro e último valor ocorre uma faixa de incerteza na atuação do processo. A Figura 65 mostra a entrada do valor de excesso de O<sub>2</sub>, utilizando-se o *toolbox* de matemática difusa do programa MATLAB (versão 6.5), que se adapta de forma razoável à solução pretendida.

A figura 65 foi obtida com as faixas de excessos de O<sub>2</sub> compreendidas pelos especialistas como sendo limites para baixo, normal e alto. Alimentando o *toolbox FUZZY* do MATLAB com as faixas de entrada.

FIGURA 65: EXCESSO DE O<sub>2</sub> FONTE:

Da mesma forma, foi obtida a figura 66 com as faixas de saída de abertura do *flap* de admissão de ar do ventilador insuflador de ar, interpretadas pela semântica do especialista como estando pouco aberta, normal e muito aberta.

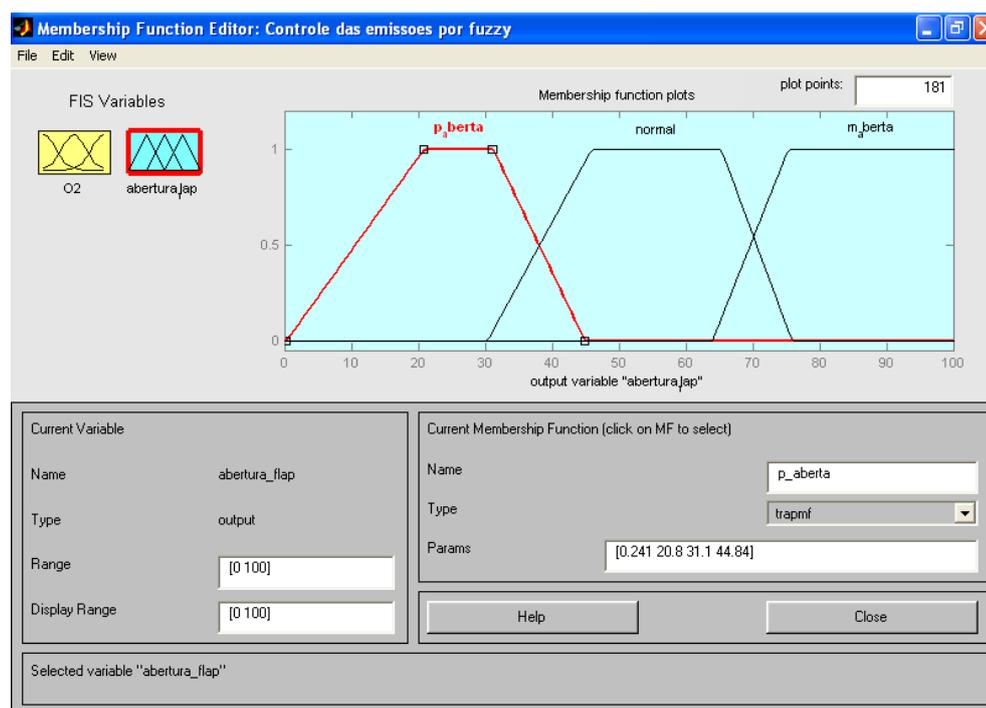


FIGURA 66: ABERTURA DO FLAP.

## REGRAS FUZZY

- INFERÊNCIA PELO ANTECEDENTE

As regras que tornam o sistema eficiente e preciso são as seguintes:

- 1- Se  $O_2$  é baixo então *abertura do flap* está pouco aberta;
- 2- Se  $O_2$  é normal então *abertura do flap* está normal;
- 3- Se  $O_2$  é alto então *abertura do flap* está muito aberta;

A figura 67 mostra a elaboração das regras funcionais obtidas com base no conhecimento tácito dos operadores. A própria ferramenta do MATLAB abre a caixa de regras.

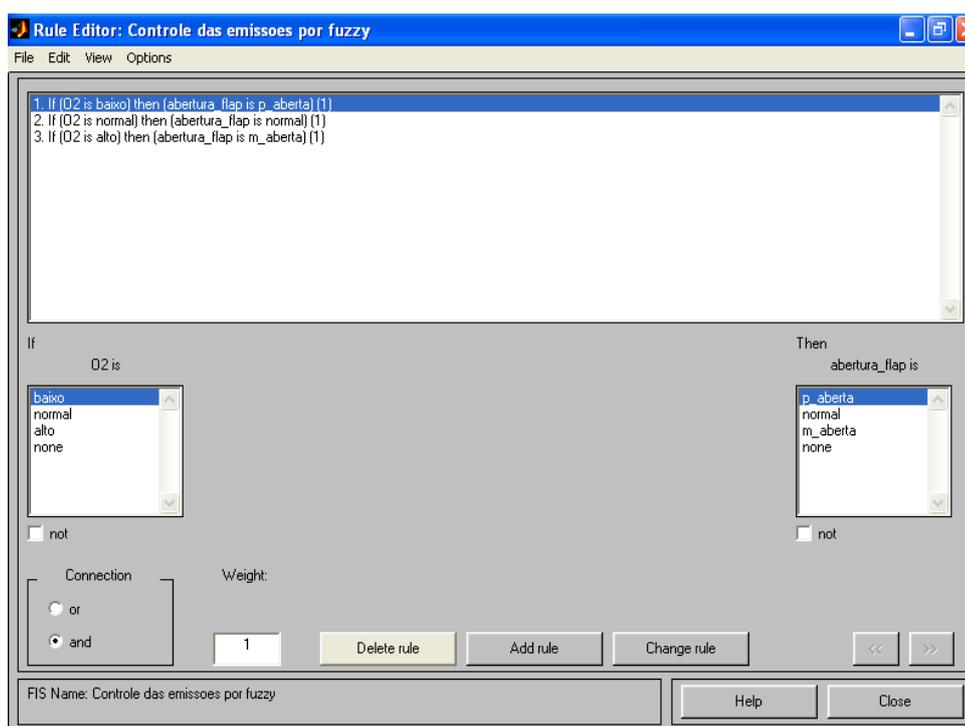


FIGURA 67: REGRAS NO MATLAB

- INFERÊNCIA PELO CONSEQÜENTE

A composição dos dados de entrada para formar o conjunto nebuloso de saída é formada pela união de todas as regras com grau de ativação diferente de zero.

- DEFUZZIFICAÇÃO

Na “defuzzificação”, o valor da variável lingüística de saída inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num valor discreto. O objetivo é obter-se um único valor numérico discreto que melhor represente os valores fuzzy inferidos da variável lingüística de saída, ou seja a distribuição de possibilidades.

O método Centro-da-Área é freqüentemente chamado do método do Centro-de-Gravidade, pois calcula o centróide da área composta que representa o termo de saída  $fuzzy(\mu_{out})$ , esse termo de saída *fuzzy* é composto pela união de todas as contribuições de regras. Este foi o método empregado no experimento.

Para se chegar ao resultado mostrado na Figura 68, gráfico de saída, utilizou-se o software *MatLab 6.5*.

#### 5.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores da Variável de Saída, mostrados na figura 68, proporcionarão um número indicativo ao operador do processo as seguintes ações de manutenção:

- A= inconsistente → **chamar a instrumentação** analítica;
- A=consistente → **reportar ao relatório** de conformidades, isto é, a situação está normal;

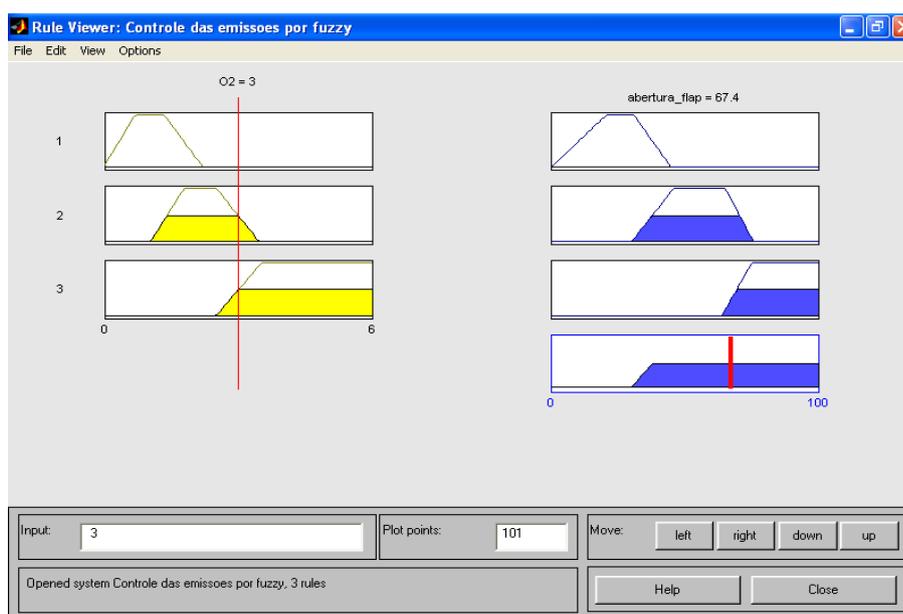


FIGURA 68: RESULTADOS DE SAÍDA.

## 5.5 INVESTIMENTOS PARA MELHOR CONTROLE DAS EMISSÕES

Os investimentos de capital nos equipamentos de controle de poluição do ar aumentam à medida que as leis se tornam mais rígidas. Nos Estados Unidos, por exemplo, os custos do controle do  $\text{NO}_x$  e CO aumentaram 45% entre 1985 e 1988 (PINHEIRO, 1995). Assim, é necessário encontrar meios criativos para controlar os custos e atingir a qualidade de ar requerida.

As normas de controle do ar da EPA do início do século 21 estabeleceram cotas de emissões para termoelétricas (tipicamente 1 ton/ano). As instalações que emitirem abaixo da cota podem negociar este excesso com outras instalações. Acredita-se que esta nova regulamentação pode reduzir o custo do controle do  $\text{SO}_2$  em mais de 25%.

O custo é um dos mais importantes critérios na escolha do dispositivo e técnica de controle. Para se reduzir a emissão de  $\text{NO}_x$  podem ser utilizados os seguintes métodos: filtragem, precipitação eletrostática, lavagem dos gases, redução química e controle e modificação na combustão (combustão em multi-estágios, recirculação de gases e operação com baixo excesso de ar).

A redução do excesso de ar possui um efeito sobre a emissão de  $\text{NO}_x$ , mas abaixo de certo limite (0,5%) a emissão de particulados pode aumentar consideravelmente.

A adição de água ou recirculação de gases também reduz a formação de  $\text{NO}_x$  térmico devido à redução da temperatura, mas influencia um pouco na emissão de  $\text{NO}_x$  combustível. Somente a combustão em multi-estágios tem influência sobre a formação do  $\text{NO}_x$  combustível, pois a formação do  $\text{NO}_x$  combustível não é dependente da temperatura da chama. A redução do preaquecimento de ar e a recirculação de gases têm influência somente no  $\text{NO}_x$  térmico.

A combustão catalítica de hidrocarbonetos pode minimizar a formação de  $\text{NO}_x$ . Sistemas catalíticos em desenvolvimento atualmente são capazes de reduzir a temperatura da chama de  $1800^\circ\text{C}$  para  $1300^\circ\text{C}$ , o que permitirá levar a emissão de  $\text{NO}_x$  de 200 ppm para menos de 1 ppm. Otimizando o queimador e a câmara de combustão, as caldeiras atuais podem atingir rendimentos de 99,8%, com uma emissão de  $\text{NO}_x$  e CO em cerca de 40 ppm.

A proposta do uso da lógica *Fuzzy* no processo decisório para fazer a gestão do controle de emissões mostra-se muito interessante, pois, com as informações obtidas dos especialistas, tem-se como variável de saída um resultado adequado que, numa visão holística, pode ser utilizado como sendo o momento para realizar a manutenção preventiva. A simulação realizada no *Fuzzy Tools* do *MatLab 6.5* comprova estes resultados.

A confiabilidade dos equipamentos e a confiabilidade humana que resultam das interações homem-trabalho ou homem-ambiente, dentro do contexto em que ele atua, que não atendam a determinados padrões esperados são afetadas por vários motivos, como é o caso do ambiente no qual estes equipamentos são acondicionados para inspeção, as condições ambientais da inspeção, os esgotamentos psicológicos do especialista, entre outros. Na análise de confiabilidade convencional, a taxa de falha humana é ajustada por especialistas baseada em critérios de julgamento de forma a considerar o efeito de muitos fatores sobre confiabilidade.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O procedimento de uso da análise de óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono como parâmetro auxiliar na gestão das emissões, introduzindo o custo do dano como fator adicional, se mostra vantajoso em relação ao método convencional, a medida que se busca como resultado, além da eficiência, a redução do impacto ambiental causado na região.

Observou-se claramente a coerência entre a redução do custo do dano e o ganho na eficiência do equipamento quando efetuada a diminuição do excesso de  $O_2$ . Em todos os testes observados, pôde-se comprovar a convergência entre os resultados de custo de dano referentes aos valores nacionais e internacionais.

Durante a pesquisa houve significativa diferença entre os valores de excesso de  $O_2$  observados no analisador compacto TELEGAN TEMPEST e o analisador de linha com eletrodos de óxido de zircônio, tal fato ficou evidente, através da análise cromatográfica—Método de ORSAT. As especificações do TEMPEST estão no ANEXO V.

Tão importante quanto manter as emissões legalmente enquadradas e caldeiras eficientes é a obtenção material de resultados que possam proporcionar melhores ganhos sociais.

A combustão em multi-estágios, como é o caso da caldeira analisada, se mostra eficiente na redução do  $NO_x$  térmico quando se efetua a regulagem do ar primário e secundário. Entretanto é necessário o uso de câmeras de TV na fornalha e treinamento adequado dos operadores de maneira a se obter uma redução significativa.

Faz-se necessária uma gestão aprimorada capaz de possibilitar a redução das emissões do  $NO_x$  térmico. O custo dessa gestão é relativamente baixo, bastando um analisador de linha ou outra metodologia, conforme a NBR 11505, de forma a se estabelecer um levantamento mais preciso, por equipamento, das emissões.

Fica evidenciada a importância de realização de manutenção periódica nos queimadores com o propósito de diminuição do impacto das emissões, pois a queima é essencial na obtenção de melhores resultados.

Outro importante ponto a ser considerado é o fato de que a queima de gás pode ser priorizada, no entanto, devido a possibilidade de escassez desse produto, o uso de um queimador de óleo com nebulização ideal é um fator importante.

É importante ressaltar a possibilidade de serem efetuados testes futuros com emprego de oxigênio puro, misturado em pequenas concentrações, na entrada do duto de ar de modo a acompanhar o grau de redução das emissões de  $\text{NO}_x$ , pois assim, poderia ser avaliada a redução do impacto e as vantagens e desvantagens desse procedimento.

Convém ressaltar a necessidade de cursos para os operadores dos equipamentos, enfatizando a importância que eles têm no alcance à redução da emissão de poluentes das caldeiras e os ganhos que a sociedade tem quando tais objetivos são atingidos. Durante os testes a conscientização dos trabalhadores da indústria, sensibilizou-os em relação a importância que possuem na melhoria da qualidade do Meio Ambiente.

Através da lógica difusa pôde-se transformar a experiência do operador em dados capazes de serem controlados por uma ferramenta computacional, e então auxiliar na gestão das emissões.

Tendo em vista o  $\text{NO}_x$  térmico ter importante participação nas emissões totais, pode-se concluir que o mais interessante seria a troca de queimadores convencionais por queimadores LOW- $\text{NO}_x$ , pois neste caso consegue-se valores mais baixos de excesso de  $\text{O}_2$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. A. F., *Psicologia aplicada à administração, uma abordagem interdisciplinar*. Editora Saraiva, 2006.
- ANP(1999), Portaria nº 80, Especifica os óleos combustíveis de origem nacional ou importada a serem comercializados em todo território nacional — 30.04.1999 — Publicação DOU: 03.05.1999.
- ARTAXO, Paulo. Poluição do ar: Das questões globais ao meio ambiente urbano. 5º Congresso Internacional de Direito Ambiental, — São Paulo, 191-192. 2001.
- AZUAGA, Denise “*Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil*”, 168 p. (COPPE/UFRJ) Planejamento Energético –Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2000.
- BABCOCK & WILCOX, *Steam*, 34ª edição, New York, New York Press 1973.
- BAIRD, COLIN. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.622 p.
- BAUKAL, CHARLES E. *Heat Transfer in Industrial Combustion*, Tulsa, OKLAHOMA, CRC Press.545 p.
- BEGA, EGÍDIO ALBERTO. *Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras*, 3. Ed.- Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- BRETSCHNEIDER, B., KURFURST,J., 1987, *Air Pollution*, San Diego, Academic Press Inc.
- CALDEIRA5, Programa
- CARVALHO JUNIOR, JOÃO DE ANDRADE DE; PEDRO TEIXEIRA LACAVAL. *Emissões em processos de combustão*. São Paulo: Editora UNESP, 2003.135 p.
- CAVALCANTI, P.M.S., , *Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica*. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, UFRJ. 2003

- CBC- Manual de Operação de Caldeira de Alta Pressão (600#) com Queimadores Convencionais. São Paulo. 1975.
- CETESB-Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, 2002. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo -2001. São Paulo.
- COMINO, RAFAEL M.; LACERDA, MILTON V. *Fornos*. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1991. P 168.
- CONAMA, Resolução CONAMA nº 05, Dispõe sobre o Programa Nacional da Poluição do Ar — PRONAR — Data da Legislação: 15/06/89 — Publicação DOU: 25/08/89
- CONAMA (1990a), Resolução CONAMA nº 03, Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no — PRONAR — Data da Legislação: 28/06/90 — Publicação DOU: 22/08/1990.
- CONAMA (1990b), Resolução CONAMA nº 8, Dispõe sobre padrões de emissão para instalação de novas fontes de combustão externa do ar, previstos no — PRONAR — Data da Legislação: 28/06/90 — Publicação DOU: 22/08/90.
- CONAMA (1997), Resolução CONAMA 237, Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecido na Política Nacional de Meio Ambiente — Data Publicação: 22/12/1997 — Publicação DOU: 22/12/1997.
- CONAMA (2006), Resolução CONAMA 382, Estabelece limites máximos para emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Esta resolução fixa os limites por poluente e por tipologia de fonte, definindo a capacidade de suporte, o controle de emissões, as emissões, o equipamento de controle, a fonte fixa de emissão, os limites de emissão (LME) e a prevenção à geração da poluição — Publicação DOU 26/12/2006.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 1980. *Manual de Racionalização do Uso de Combustíveis*, 108 p. IDEG, Rio de Janeiro, RJ.

- COSTA, WALDO VIEIRA. “*O uso da lógica fuzzy como ferramenta de processo decisório para o aumento da confiabilidade no processo de manutenção dos filtros de celulose da REDUC*”, 112 p .Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2007
- DALBEN, P.; *Modelos Fuzzy – Sistemas de Inferência*. 2004. Disponível em: [http://geocities.yahoo.com.br/pablo\\_dalbem/lf4.htm](http://geocities.yahoo.com.br/pablo_dalbem/lf4.htm). Acessado em: 17 ago. 2004.
- DELUCCHI, M. A. e McCUBBIN, D.R., 1996, *The Contribution of Motor Vehicles and Other Sources to Ambient Air Pollution*. Report UCD-ITS-RR(^-3(16) (AUG), Davis, CA: University of California, Institute of Transportation Studies. Citado em DeCICCO e THOMAS (1998).
- DERÍSIO, JOSÉ CARLOS, 2007, *Introdução ao controle da poluição ambiental*; 3 ed, São Paulo: Signus Editora, 2007.
- DORST, J., 1973, *Antes que a natureza morra: por uma ecologia política*. São Paulo. Edgar Blucher.
- DUARTE, Daisy Lucid “*Avaliação das Emissões Atmosféricas Causadas por Motocicletas no Estado do Rio de Janeiro e Benefícios Ambientais do Uso da Tração Elétrica Nestes Veículos*”, 126 p. (FEN/UERJ) Mestrado Engenharia Ambiental. Área Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2006.
- EARL COX, *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner’s Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*, AP Professional, 1994.
- ENGELS, F., 1986, *A Situação da Classe Trabalhadora na Inglaterra*. São Paulo: Global Editora, Originalmente publicado em 1845.

- EPA, 1997b, U.S. Environmental Protection Agency, Emission Inventory Improvement Program . Volume II : *Introduce to the Stacionary Point Souce Emission Inventory Development*, July, 1997.
- ESTADO DO RIO DE JANEIRO, (Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia, Consórcio de Universidades, PUC-RIO, UERJ, UFF, UFRJ). Relatório Final de Avaliação das condições de funcionamento do Complexo Industrial REDUC/DTSE, sob o ponto de vista de suas implicações ambientais., RIO DE JANEIRO: SECT, 2000.
- ESTADO DO PARANÁ, (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto Ambiental do Paraná). Resumo do Relatório Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba, PARANÁ: SEMA, 2003.
- FEEMA, 2004, *Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*.
- FEEMA, 1995 *Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*.
- FREITAS, Henrique (et al). Informação e decisão: sistemas de apoio e seu impacto. Porto Alegre: Ortiz, 1997.
- FUZZY LOGIC TOOLBOX for use with MATLAB (1995).
- GARCIA, ROBERTO, *Combustíveis e combustão industrial*, Rio de Janeiro: Interciência, 2002.
- HINSLIFF, GABY. *Um desastre de trilhões: Aquecimento Global e déficit na economia mundial*. Carta Capital, 2006 novembro 11; pp 8-13.
- INDIO, NILO in *Fornos*, 2005. Programa de Formação Petrobrás.
- KEMP, D.D., 1994, *Global Environment Issues – A Climatological Approach*. 2 ed. USA, Routledge.
- KOSKO, B. *Pensamento Borroso. La nueva ciência de La lógica borrosa*. Trad. Juan Pedro Campos. Barcelona: Grijaldo Mondadori, 1995

- LAFRAIA, J. RICARDO BARUSSO. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro. Petrobrás. 2005.
- LIFSCHITZ, EDGARD A. *Calderas Conceptos y control básico*, Cuadernos Profesionales, vol. 1, N°2, 1993.
- LIMA JR., OSIAS DE SOUZA. *Análise de Pontos por Função Fuzzy*. Janeiro de 2002. Dissertação de Mestrado — Faculdade de Ciência da Computação, Universidade de Fortaleza.
- LEWIS, E.E. *Introduction to reliability engineering*. New York: John Wiley, 1996.
- MANAHAN, S.E., *Environmental Chemistry*, 7 ed, New York, CRC Press LLC, 2000.
- MARIANO, JACQUELINE BARBOZA, 1971- *Impactos ambientais do refino de petróleo*, Rio de Janeiro: Interciência, 2005.
- MEKLER & UNGAR, Pet. Ref, Jun 56 in *Fornos*, 2005. Programa de Formação Petrobrás. Rio de Janeiro: PETROBRAS.
- MENDEL J.M. , *Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial, Proc. Of the IEEE*, vol 83, N° 3, March 1995.
- MITSUBISHI, *Low NO<sub>x</sub> Firing System* , PM and MACT System, 2002.
- MONTEIRO, OCYR DE LIMA JUNIOR, *Emissões Gasosas em Caldeiras Aquatubulares: Métodos de Controle Aplicáveis às Indústrias da Baixada Fluminense (Estudo de Caso)*, 24° Congresso da ABES, 2007.
- NETO, F. L.; MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J. A. *Análise de sobrevivência e confiabilidade*. Col. Monografias Del IMCA. Lima: IMCA Pontificia Universidad Católica Del Peru, 2002.
- OLIVEIRA JÚNIOR, H. A e. *Lógica Difusa: Aspectos práticos e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.

- ONOFRE, REGINALDO DE MATTOS. CALDEIRAS, COMO GERAR VAPOR COM ECONOMIA. *Mecatrônica Atual*, nº 12 , p.34-37, outubro -2003.
- OLIVEIRA, J.L.F., 1997, *Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas de Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, UFRJ.
- OLIVEIRA, KELLY REJANE DE. *AdeQuaS: Ferramentas Fuzzy para Avaliação da Qualidade de Software*. Junho de 2002. Dissertação de Mestrado — Faculdade de Ciência da Computação, Universidade de Fortaleza, Fortaleza.
- PAYNE, F. WILLIAM, 1924- *Efficient Boiler Operations Sourcebook*, 2 ed, New York, The Fairmont Press, Inc, USA.
- PENNA M.L. ; DUCHIADE M. P. *Air Pollution and infant mortality from pneumonia in the Rio de Janeiro metropolitan area*. *Bull Pan Am Health Organ* 1991; 25(1): 47-54.
- PECORELLI PERES<sup>c</sup>, Luiz A.; HORTA, Luiz A. N.; LAMBERT-TORRES, Germano. *Air Pollution Impacts of Diesel Power Generation on Rural Areas in Brazil and Effective Opportunities for Renewable Sources*. Proceedings of the International Association of Science and Technology for Development IASTED, Editor: M. H. Hamza, IASTED /ACTA Press, 2000, ISBN: 0-88986-300-8 / ISSN: 1482-7891
- PINHEIRO, PAULO CESAR DA COSTA.; VALE, RAMON MOLINA. Controle de Combustão: Otimização do Excesso de Ar, 1995. II Congresso de Automação da Indústria Química e Petroquímica, 1995, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PINHO, M. de O. de. *Sobre a aplicação de sistemas de equações diferenciais parciais e ordinárias de primeira ordem à confiabilidade de sistemas de segurança sob envelhecimento*, Tese de D. Sc., COPPE/PEN, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
- PUC — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2002. Memórias do Seminário sobre Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias. Rio de Janeiro: PUC
- RIBEIRO, S.K; COSTA, C.V.; DAVID, E.G.; REAL, M.V.; DÁGOSTO, M.A. 2000. *Transporte e Mudanças Climáticas*. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, Mauad.

- SALDIVA, P.H.N. et al. *Air pollution and mortality in elderly people; a time-series study in São Paulo*. São Paulo. Arch. Environ. Health. 50: 159-163, 1995.
- SALEH, J.H.; MARAIS, K. “Highlights from the early ( and pre-) history of reliability engineering”. In: *Reliability engineering & system safety XX*, pp.1 – 8, 2005.
- SALTORATO, PATRÍCIA , CINTRA CAIO T. *Implantação de Um Programa de Manutenção Produtiva Total em Uma Indústria Calçadista de Franca*. Trabalho publicado no 19º Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro,1999. Anais Enegep 99 .
- SEMINÁRIO DE CONFIABILIDADE DA PETROBRAS : Rio de Janeiro. 2003
- SHAW, I. S, M. G. *Controle e Modelagem. Fuzzy*. São Paulo, FAPESP, 1999.
- SIQUEIRA, IONY PATRIOTA DE. *Manutenção Centrada em Confiabilidade-Manual de Implementação*. Rio de Janeiro. Qualitymark. Petrobras. 2001.
- SOUZA, E.J.J. *Implantação de laboratório de combustão em escala industrial para avaliação de emissões e combustíveis*. Congresso Rio Oil & Gas, Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro. 1998.
- SOUZA, E.J.J. et al. *Cost effective evaluation techniques for FCC feed nozzles* . American Chemical Society-ACS. Boston. 1998.
- SOUZA, E.J.J. et al. *Advanced Excess Oxygen and Emission Control System for Fired Heaters Burning Shale Fuel Oil*. INFUB. Lisbon-Portugal, 2002.
- SOUZA, E.J.J; VLASSOV D.I.; PONTE MJJS. *Evaluation of a Twin-fluid Atomizer for FCC Feeding System with Atomizing Medium under Transonic Flow*. Sorrento-Italy. 2003.

- SPADARO, J.V.; RABL, A. , COUSSY, P. , JOURDAIN, E., 1998, *Coûts Externes de la Pollution de L’Air: Étude de Cas et Resultats pou le Trajet Paris-Lyon, in Tentative D’Evaluation Monétaire des Coûts Externes Liés à la Pollution Automobile — Difficultés Méthologiques et Étude de Cas*. Artigo 2, École de Petrolé et dès Moteurs, Centre Économie et Gestion. Citado em SALA (1999).
- SPIEGEL ONLINE, Ozon fördert Allergien und Asthma; edição de 20 junho de 2001.
- STERN, A.C.; BOUBEL, R.W.; TURNER, D.B.; FOX,D.L., 1984, *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press, Inc., Orlando, Florida.
- VANDERLEI FILHO, Domingos. *Uma Proposta Fuzzy na Avaliação de Desempenho de Bibliotecas Universitárias Brasileiras*. 2002. Disponível em:  
<[www.sibi.ufrj.br/snbu/snbu2002/gen1.htm](http://www.sibi.ufrj.br/snbu/snbu2002/gen1.htm)> Acessado em: 17 ago. 2004.(material fuzzy)
- WALDIR A. BIZZO. *Geração, Distribuição e Geração de Vapor*. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Disponível em:  
<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP0.pdf>. Acesso em 10 JAN 008.
- ZADEH, L. A. *Fuzzy Logic Toolbox User’s Guide*. Berkeley, CA, 1995.

ANEXO I

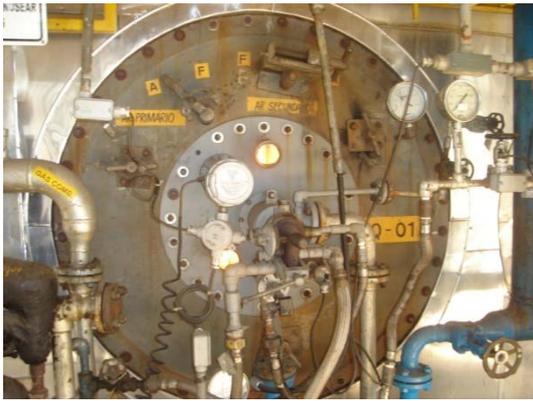


FOTO 1



FOTO 2



FOTO 3



FOTO 4



FOTO 5



FOTO 6



FOTO 7



FOTO 8



FOTO 9



FOTO 10



FOTO 11

FOTO 12



FOTO 13



FOTO 14



FOTO 15



FOTO 16



FOTO 17

FOTO 18



FOTO 19

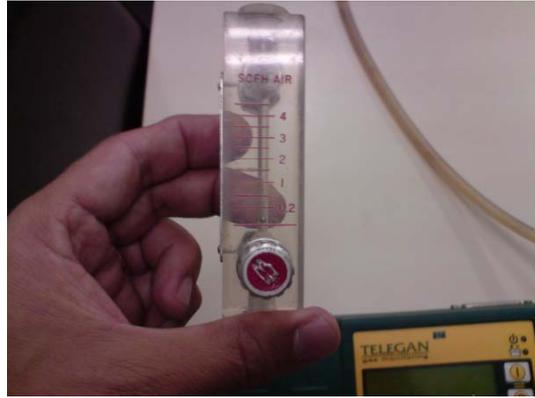


FOTO 20

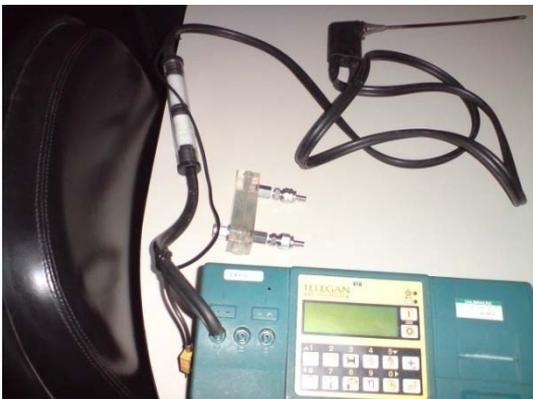


FOTO 21



FOTO 22



FOTO23



FOTO 24



FOTO 25



FOTO 26

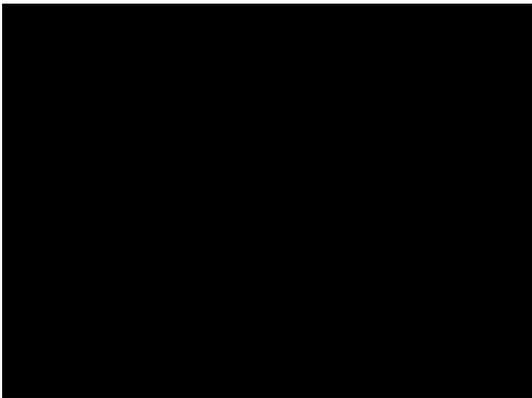


FOTO 27



FOTO 28



FOTO 29



FOTO 30

## ANEXO II

### CONSIDERAÇÕES LEGAIS

Pode-se considerar que a legislação ambiental referente a atividades que envolvem a produção e consumo de petróleo se dividem em duas categorias: a primeira, que se refere à redução dos impactos ambientais das unidades produtoras, isto é, as refinarias de petróleo, e a segunda que se refere às especificações da composição dos produtos que as unidades produzem, e que operam no sentido de estabelecer a qualidade de tais produtos, a fim de que o uso de combustíveis fósseis afetem menos o meio ambiente.

Este capítulo descreve as leis ambientais que afetam os produtores e consumidores de combustíveis de origem fóssil. De certa forma, o que se observa é que a existência de exigências ambientais demandam significativas alterações nos processos e nos equipamentos, o que requer investimentos consideráveis. À medida em que os derivados produzidos têm a sua composição especificada, os refinadores e consumidores precisam se adequar, o que, na maioria das vezes também significa alterações substanciais nos processos produtivos, assim como a necessidade de investimentos grandiosos.

Nos países desenvolvidos, o que mais se observa é que a legislação ambiental que afeta mais significativamente as empresas sob o ponto de vista econômico é aquela que regulamenta a formulação dos derivados, principalmente dos combustíveis primários(gás natural, óleo diesel, óleo combustível), de modo a reduzir a emissão de poluentes quando utilizados pelos consumidores.

Entretanto, as indústrias devem se propor a reduzir suas emissões dentro das exigências legais e ir mais além, de modo a possibilitar inclusive o aumento do seu parque produtivo, sem afetar mais o meio ambiente.

## Legislação Ambiental Brasileira

Pode-se dizer que a história da legislação ambiental brasileira teve seu começo no dia 31 de agosto de 1981, com a criação da Lei 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.

Antes dessa lei entrar em vigor, não havia no direito brasileiro dispositivo que demonstrasse preocupação com a defesa do meio ambiente de forma tão efetiva.

Em nível federal, o SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente, é constituído pelos órgãos e entidades da união e pelas fundações mantidas e instituídas pelo poder público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental. Os órgãos ambientais que tomam parte na gestão ambiental das atividades industriais nesse nível são:

- MMA - Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - É o órgão central do Sistema Nacional de Meio Ambiente e tem como competência o planejamento, coordenação, supervisão e controle; formulação e execução da política nacional de meio ambiente; preservação, conservação e uso racional dos recursos e implementação de acordos internacionais.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - O CONAMA é um órgão consultivo e deliberativo, que tem como finalidade assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida. O CONAMA faz parte do MMA. (segundo a Lei ns 6.938, de 21 de agosto de 1981).
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - O IBAMA é o órgão executor, que tem como finalidade executar e fazer executar, como órgão federal, a política e diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente, (segundo a Lei n2 6.938, de 21 de agosto de 1981).

Em nível federal, o CONAMA, através da publicação das suas resoluções, dispõe sobre a maneira como as atividades industriais em geral poderão ser conduzidas em obediência à política ambiental vigente no Brasil.

#### A Legislação Ambiental Federal

A legislação ambiental para as atividades industriais está é comentada a seguir.

- Constituição Federal, promulgada em 05/10/1988 - Art. 228 - "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público o dever de defendê-lo e à co-letividade o de preservá-lo para presentes e futuras gerações."
- Decreto-Lei no 1.413 de 14/08/1975 - Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. Art. 1 - 'As indústrias instaladas ou a se instalarem em território nacional são obrigadas a promover as medidas necessárias a prevenir ou corrigir os inconvenientes e prejuízos da poluição e da contaminação do meio ambiente."
- Portaria MINTER no 231, de 27/04/1976 - Estabelece padrões de qualidade do ar e dá outras providências. XV- "Todos os estabelecimentos industriais que causem ou possam causar poluição do ar devem comunicar, anualmente, sob pena de sanções cabíveis, o tipo de suas emissões gasosas ou particuladas e o equipamento antipoluidor existente ao órgão poluidor competente, (...)"
- Lei no 6938, de 31.08.1981 - Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Entre outros assuntos, "visará à imposição ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados, e ao usuário, da contribuição pela utilização dos recursos ambientais com fins económicos."
- Decreto-lei n° 88.351, de 01/06/1983 - Regulamenta a Lei n° 6.938, de 31/08/1981.

- Resolução CONAMA 001 de 23/01/1986 - Dispõe sobre a Avaliação de Impactos Ambientais. Esta resolução estabelece os critérios básicos e as diretrizes gerais para a elaboração do RIMA - Relatório de Impacto Ambiental.
- Resolução CONAMA 020 de 18/06/1986 - Estabelece a classificação das águas doces salobras e salinas, segundo o seu uso preponderante e estabelece padrões de emissão para efluentes hídricos. Também estabelece, para cada caso, os teores máximos de substâncias potencialmente prejudiciais, além de cor, turbidez, pH, entre outros.
- Resolução CONAMA 006 de 15/06/1988 - Dispõe sobre o licenciamento ambiental de atividades industriais geradoras de resíduos perigosos. Nesta Resolução são determinadas quais indústrias deverão apresentar ao órgão ambiental competente, informações sobre a geração, características e destino final de seus resíduos. Entre elas estão incluídas as refinarias de petróleo.
- Resolução CONAMA 005 de 15/06/1989 - Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR e dá outras providências. Esta Resolução institui o PRONAR como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental, e limita os níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica. Determina limites máximos de emissão e Padrões de Qualidade do Ar, entre outros instrumentos.
- Resolução CONAMA 001 de 08/03/1990 - Dispõe sobre a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais e outras. Determina critérios e diretrizes para a emissão de ruídos decorrentes, entre outras, das atividades industriais. Tal diretriz obedece aos níveis de ruído considerados aceitáveis pela norma técnica 10.152, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Resolução CONAMA 002 de 08/03/1990 - Institui o Programa Silêncio. O Programa Silêncio, tem, entre outros objetivos, incentivar o uso de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído, quando da sua utilização na indústria.

- Resolução CONAMA 003 de 28/06/1990 - Esta resolução amplia o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no país, e estabelece novos padrões de qualidade do ar. Dá a definição legal dos conceitos de Poluente, Qualidade do Ar, Padrão Primário de Qualidade do Ar e Padrão Secundário de Qualidade do Ar. Também fornece os valores estabelecidos para tais padrões, para os seguintes poluentes atmosféricos: Partículas Totais em Suspensão, Fumaça, Dióxido de Enxofre, Monóxido de Carbono e Dióxido de Nitrogênio. Estabelece quais métodos de amostragem e de análise deverão ser utilizados, e fixa as condições de referência em 25°C e 1 atm. Atribui o monitoramento da qualidade do ar aos estados e estabelece os Níveis da Qualidade do Ar para a elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, entre outras disposições.
- Resolução CONAMA 006 de 17/10/1990 - Dispõe sobre a obrigatoriedade de registro e de prévia avaliação pelo IBAMA, dos dispersantes químicos empregados nas ações de combate aos derrames de petróleo. Tal Resolução se aplica às refinarias pois estas podem ocasionar derrames durante o transporte de petróleo e derivados nos dutos.
- Resolução CONAMA 008 de 06/12/1990 - Estabelece limites máximos de emissão de poluentes do ar em nível nacional. Os limites fixados são para os seguintes poluentes: partículas totais e dióxido de enxofre para processos de combustão externa em novas fontes fixas de poluição com potências nominais de até 70 MW e superiores.
- Resolução CONAMA 237 de 19/12/1997 - Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental. Esta resolução define o Licenciamento Ambiental como sendo procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, levando-se em consideração as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso. Também define os empreendimentos e as atividades que estarão sujeitas ao Licenciamento Ambiental. O refino de petróleo está entre tais atividades.

- Resolução CONAMA 235 de 07/01/1998 - Dispõe sobre a classificação de resíduos sólidos. Esta resolução descreve os tipos de resíduos sólidos, e classifica-os em três classes, a saber: Classe I -Resíduos Perigosos de Importação Proibida, Classe II - Resíduos Não Inertes Controlados pelo IBAMA e Classe III - Resíduos Inertes de Importação Proibida.
- Resolução CONAMA 382 de 26/12/2006 – Estabelece limites máximos para emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Esta resolução fixa os limites por poluente e por tipologia de fonte, definindo a capacidade de suporte, o controle de emissões, as emissões, o equipamento de controle, a fonte fixa de emissão, os limites de emissão (LME) e a prevenção à geração da poluição. Uma das características dessa resolução é a conversão das concentrações medidas de poluentes à condição referencial de oxigênio, devendo os resultados da medição de poluentes serem expressos em mg/Nm<sup>3</sup> em base seca e excessos de ar de 3% para queima de gás natural e óleo combustível (caso do estudo de caso objeto da dissertação apresentada), 8% para queima de bagaço de cana, derivados de madeira, 15% para turbinas à gas para geração de energia elétrica, 3% para fornos e caldeiras queimando gás de refinaria e 8% para processos de fabricação de celulose.
- Lei 9.605 de 20.02.1998 - Esta Lei dispõe sobre os crimes ambientais, caracterizando-os, assim como sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. É caracterizado como crime ambiental "causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora". Também são considerados crimes ambientais "causar poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas, ou que cause danos diretos à saúde da população", "causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade" e "ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos" (Artigo 54). Os eventos anteriormente descritos são todos passíveis de ocorrer na atividade de refino de petróleo.

- Normas Técnicas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
  - NBR 10004/87 — Classificação de resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais resíduos devem ter manuseio e destino rigidamente controlados.
  - NBR 10152
- Normas Regulamentadoras da ABPA - Associação Brasileira de Prevenção de Acidentes
  - NR-05 - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes;
  - NR-06 - Equipamento de Proteção Individual, EPI;
  - NR-09 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais;
  - NR-13 - Caldeiras e vasos de pressão;
  - NR-24 - Condições Sanitárias dos Locais de Trabalho;
  - NR-25 - Resíduos Industriais.

## A Legislação Ambiental do Estado do Rio de Janeiro

Segundo a legislação federal vigente, "os Estados, na esfera das suas competências, e nas áreas de sua jurisdição, elaborarão normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que forem estabelecidos pelo CONAMA' (Lei nº 6.938). Isto significa que os estados podem ser apenas igualmente ou mais rigorosos do que a federação.

Em nível estadual vários órgãos tomam parte da gestão ambiental das atividades industriais (entre as quais se inclui a atividade de refino de petróleo), cada um com determinada atribuição. São eles:

- CECA - Comissão Estadual de Controle Ambiental - A CECA é um órgão ambiental colegiado, integrante da estrutura básica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Tem por finalidade exercer a supervisão e o controle da utilização racional do meio ambiente no território do estado do Rio de Janeiro, competindo-lhe:
  - I exercer o poder de polícia inerente ao controle da poluição e à proteção ambiental;
  - II proceder ao licenciamento ambiental das atividades real ou potencialmente poluidoras;
  - III regulamentar o funcionamento do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras, mediante a edição de Deliberações aprovando as necessárias instruções, Normas e Diretrizes, bem com outros atos complementares que se fizerem necessários;
  - IV - aprovar e propor ao Secretário de Estado de Meio Ambiente as medidas necessárias ao controle da poluição e à proteção ambiental, que extrapolem seu âmbito de competência;
  - V - funcionar como órgão consultivo da Secretaria de Estado de Meio Ambiente nas matérias que lhe forem submetidas pelo secretário de Estado(segundo a Resolução SEMA nº 101, de 21 de março de 1995, Capítulo I, artigo 1º).

- CONEMA - Conselho Estadual de Meio Ambiente - O CONEMA é um órgão ambiental deliberativo e normativo encarregado de estabelecer as diretrizes da Política Estadual de Controle Ambiental e de orientar o Governo do Estado na defesa do meio ambiente, na preservação dos bens naturais e na formulação de providências para a melhoria da qualidade de vida da população. A CECA, em suas deliberações deve atender às diretrizes gerais determinadas pelo CONEMA. (segundo o Decreto n-9.991, de 05 de junho de 1987).
- Deliberação CECA nº2.555, de 26.11.91 - Estabelece as auditorias como parte do licenciamento de atividades poluidoras sujeitas ao EIA-RIMA. Esta deliberação regulamenta a realização das audiências públicas como parte do processo de licenciamento das atividades poluidoras sujeitas à apresentação de EIA - RIMA e dá outras providências.
- Deliberação CECA nº3.427, de 14.11.95 - Fornece a diretriz para a realização da auditoria. Essa deliberação tem como objetivo estabelecer a abrangência, as responsabilidades, os procedimentos e os critérios técnicos para a realização das Auditorias Ambientais, como instrumento do Sistema de Licenciamento das Atividades Poluidoras - SLAP.
- Lei nº-1.346, de 03.10.1988 - Dispõe sobre os procedimentos para a elaboração, análise e aprovação dos Estudos de Impacto Ambiental. Esta Lei determina todos os empreendimentos que dependerão da elaboração e aprovação do EIA - RIMA, a fim de obterem o seu licenciamento de implantação e/ou ampliação, e dá outras providências.

- Deliberação CECA nº1.078, de 25.06.1987 - Dispõe sobre a implantação do EIA - RIMA. Esta deliberação determina a abrangência, os procedimentos e os critérios para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP, assim como para planos e programas de ação, não sujeitos a esse sistema.
- Deliberação CECA nº1.173, de 19.10.1987 - Dispõe sobre a participação e acompanhamento da comunidade na avaliação de impacto. Esta deliberação estabelece os procedimentos para a participação e o acompanhamento da comunidade do processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) da atividade sujeita a licenciamento.
- Deliberação CECA nº 2.117, de 21.11.1990 - Dispõe sobre a implantação do EIA - RIMA. Esta deliberação fornece as definições dos conceitos de Avaliação de Impacto Ambiental, Impactos Ambientais e dá outras providências.
- Deliberação CECA/CN nº 3.329, de 29.11.1994 - Dispõe sobre o pedido, recebimento e análise do EIA - RIMA. Esta deliberação estabelece os procedimentos internos à FEEMA, para pedido, recebimento e análise de estudos e relatórios de impacto ambiental, conforme estabelecido na legislação em vigor, como parte integrante do SLAP.
- Deliberação CECA/CN nº 3.426, de 14.11.1995 - Dispõe sobre a realização do EIA. Esta deliberação fornece as diretrizes para a elaboração do EIA e de seu respectivo RIMA.
- Deliberação CECA/CN nº3.663, de 28.08.1997 - Dispõe sobre a realização do EIA. Aprova e manda publicar a diretriz para a implementação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).
- Decreto-Lei nº134, de 16.07.1975 - Dispõe sobre o controle e a prevenção da poluição. Este decreto define o conceito de poluição, institui a Política Estadual de Controle Ambiental, dá as atribuições dos órgãos de prevenção e controle da poluição, estabelece critérios para a instalação de atividades poluidoras no estado, institui penalidades como instrumento de política ambiental, entre outras providências.

- Decreto nº1.633, de 21.12.1977 - Cria o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP. Este decreto também determina os seus objetivos, e sua forma de implantação. Determina como instrumentos de controle do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras a Licença Prévia (LP), a Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO).
- Deliberação CECA nº03, de 28.12.1977 - Dispõe sobre o SLAP, instituindo-o.
- Decreto-Lei nº 134, de 16.07.1975 - Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição e institui penalidades como instrumento de política ambiental.
- Decreto nº 8.974, de 15.05.1986 - Regulamenta as penalidades previstas no Decreto-Lei nº 134. Este Decreto estabelece os critérios para a aplicação das penalidades de multa e interdição, determina os valores de tais multas e dá outras providências.
- Deliberação CECA/CN nº 3-425, de 14.11.1995-Dispõe sobre a suspensão de atividade real ou potencialmente causadora de dano ambiental. Esta deliberação regulamenta a suspensão da atividade que possa causar risco de significativa poluição ou de outra forma de dano ou degradação ambiental grave.
- Deliberação CECA nº39, de 23-11.1978 - Dispõe sobre a implantação do PROCON - Programa de autocontrole. Esta deliberação tem por objetivo estabelecer as diretrizes gerais para a implantação do Programa de Autocontrole - PROCON, no qual os responsáveis pelas atividades poluidoras informam regularmente à FEEMA, por intermédio do relatório de Acompanhamento de Efluentes, as características qualitativas e quantitativas de seus efluentes, como parte integrante do SLAE.
- Lei nº 1.476, de 23.10.1967 - Dispõe sobre o despejo de óleo e lixo na Baía de Guanabara. Esta lei proíbe o despejo de óleo, lixo e outros detritos na Baía da Guanabara e estabelece penalidades na forma de multas.
- Decreto nº 779, de 30.01.1967 - Dispõe sobre o controle da poluição atmosférica. Esta Lei aprova o Regulamento do Controle da Poluição Atmosférica no Estado e fornece o seu regulamento.

- Deliberação CECA nº 1.079, de 25.06.1987 - Dispõe sobre o controle dos efluentes líquidos industriais. Esta deliberação tem por objetivo definir a filosofia de controle de efluentes líquidos industriais que orienta o estabelecimento de padrões por tipo-logia e as ações de controle da FEEMA e da CECA, como parte integrante do SLAP.
- Deliberação CECA nº 2.491, de 24.10.1991 - Aprova e manda publicar o documento DZ-205.R-5 - Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de Origem Industrial. Esta diretriz determina que as atividades poluidoras com carga de DBO igual ou superior a 100 Kg/dia deverão atingir remoção de DBO de no mínimo 90%, e que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos d'água desde que obedeçam aos limites de Demanda Química de Oxigênio.
- Lei nº 2.011, de 10.07.1992 - Dispõe sobre a implementação do Programa de Redução de Resíduos. Esta lei estabelece a obrigatoriedade da implantação deste programa e define os conceitos de Resíduos e de Redução de Resíduos.
- Lei nº 1.361, de 06.10.1988 - Dispõe sobre a estocagem, processamento e disposição final de resíduos industriais tóxicos. Esta Lei proíbe a estocagem, o processamento e a disposição final de resíduos industriais perigosos ou tóxicos provenientes de outros países, exceto aqueles que serão utilizados como matérias-primas.
- Deliberação CECA nº 307, de 17.07.1982 - Dispõe sobre a implantação de bolsas de resíduos. Esta deliberação tem por objetivo estabelecer a metodologia para participação de atividades poluidoras em programa de reciclagem de rejeitos sob a forma de uma "Bolsa de Resíduos", a ser administrada pela FEEMA, como parte integrante do SLAP.
- Deliberação CECA nº 673, de 27.06.1985 - Dispõe sobre a implantação do sistema de manifesto de resíduos industriais. Esta deliberação tem por objetivo estabelecer a metodologia do Sistema de Manifesto de Resíduos Industriais, implantado pela FEEMA, e que contribui para o controle dos resíduos industriais gerados no Estado, desde a sua origem até a sua destinação final, como parte integrante do SLAP.

- Deliberação CECA nº 3-327, de 29.11.1994 - Dispõe sobre a destinação de resíduos e dá diretrizes. Aprova e manda publicar a Diretriz de Destinação de Resíduos.
- Lei nº 2.389, de 04.04.1995 - Dispõe sobre a proibição de combustíveis derivados de petróleo com a adição de chumbo, em todo o território do Estado do Rio de Janeiro. Esta Lei é muito importante no que concerne às refinarias cariocas, que a partir de sua publicação precisam parar de utilizar o chumbo-tetraetila como aditivo anti-detonante.
- Lei nº 2.803, de 07.10.1997 - Dispõe sobre a proibição de depósitos subterrâneos e tubulações metálicas para armazenamento ou transporte de combustíveis ou substâncias perigosas, sem proteção contra a corrosão. Esta Lei também define o conceito de proteção efetiva contra corrosão, estabelece penalidades no caso de não cumprimento e estabelece prazos para a adequação das instalações.
- Lei nº 466, de 21.10.1981 - Dispõe sobre o zoneamento industrial no Rio de Janeiro. Esta Lei estabelece as atividades industriais que podem ser implantadas em cada uma das zonas anteriormente definidas.
- Lei nº 1.804, de 26.03.1991 - Dispõe sobre a sinalização das indústrias do Estado do Rio de Janeiro - Esta Lei determina que as indústrias sediadas no Estado do Rio de Janeiro afixem, em locais visíveis, placas que indiquem a natureza dos produtos ali produzidos e dá outras providências.

### ANEXO III

Prezado Operador:

O seguinte questionário forma parte de uma pesquisa a fim de saber como cada um trabalha com as variáveis em questão. Esta pesquisa não tem finalidade administrativa e sim científica. A qualidade da pesquisa depende do nível de transparência das opiniões fornecidas pelos operadores, neste caso, especialistas na operação da estação de tratamento de condensado. Para isso peço que suas opiniões sejam transparentes. Diante do resultado, será usada a Lógica fuzzy, criando um modelo matemático para as proposições.

Nome

Idade

Tempo na Empresa

Escolaridade

Valores de trabalho p/Excesso de O:

Baixo:

Normal:

Elevado:

Valores de trabalho p/ Vazão de Ar:

Baixo:

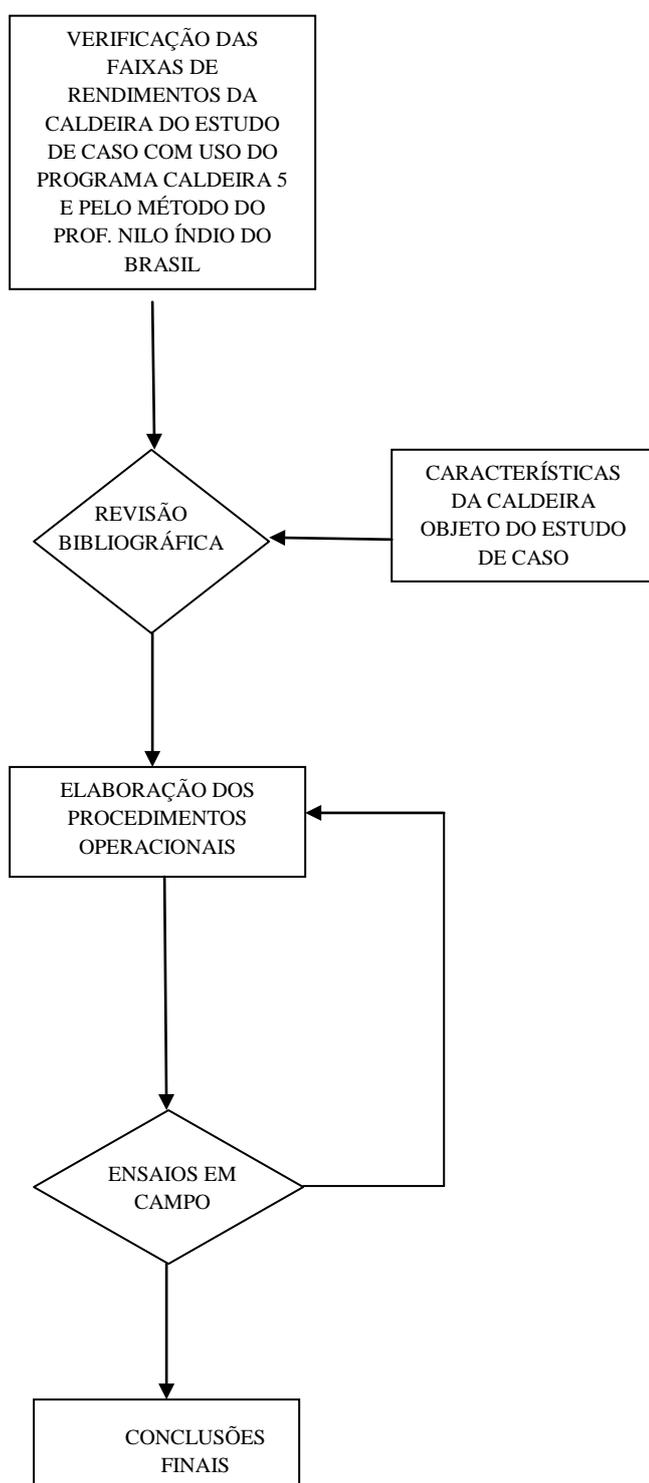
Normal:

Elevado:

## ANEXO IV

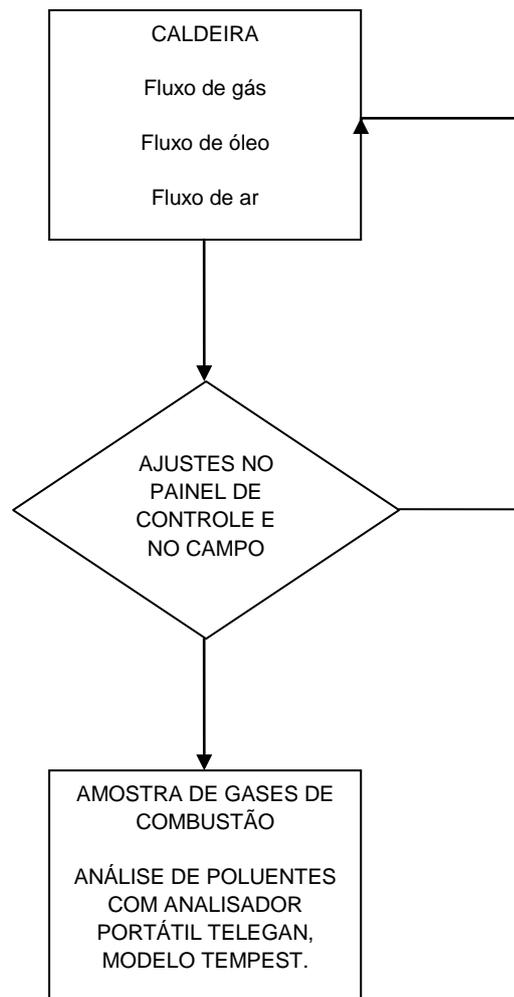
### 1. Elaboração do trabalho.

fluxograma do processo de análise e sequência dos procedimentos executados.



## Fluxograma 1: Elaboração própria.

Ensaio de campo:



## PROCEDIMENTO 1

### TESTES NA CALDEIRA NA SG

#### Caldeira

Nesta caldeira poderá ser efetuado teste queimando gás e Óleo combustível, alterando as posições dos queimadores, isto é, posicionando no 1º momento os queimadores de OCR na parte superior e no 2º momento os queimadores de OCR na parte inferior, desta forma poderá ser alterada a temperatura em diferentes pontos da fornalha. A alteração de carga sugerida poderá variar de 30 a 100 t/h modificando a pressão dos queimadores e a abertura dos FLAPS de ar primário e secundário—fig.1— em ambos os casos será observado o excesso de ar e a variação de NOx através do analisador compacto. Durante o teste poderá ser bloqueado o PAV para observar a influência da diminuição da temperatura de ar na queima sobre a emissão de NOx na caldeira.

Com a carga fixa em 60 t/h, passar seu controle para manual e iniciar o fechamento do flap de admissão do ar insuflado desde a posição inicial a ser verificada até o mínimo, com reduções de 5% de flap a cada 30 minutos para posterior retirada de amostra.

#### Coleta da amostra de óleo combustível:

- Confirmou-se que o frasco de vidro estava limpo.
- Colocou-se a tomada de amostra em condição de receber o óleo do tanque que estava alimentando a caldeira com óleo.
- Posicionou-se a garrafa junto ao ponto de coleta de óleo. Abriu-se parcialmente a válvula da tomada de amostragem, na linha de retorno do processo (junto ao tanque a ser amostrado)
- Encheu-se a garrafa com o volume para análise.
- Fechou-se a válvula da tomada de amostra.
- Fechou-se a garrafa e limpou-se a superfície externa.
- A amostra foi identificada.

#### Coleta da amostra de gás combustível:

- Confirmou-se que o balão de amostragem estava com vácuo.
- Confirmou-se a inexistência de fonte de ignição nas proximidades da tomada de amostra.
- Após enchimento do balão fixou-se novamente o grampo de vedação.
- A amostra foi identificada e levada para o analisador.

Após a verificação da composição dos combustíveis iniciou-se o processo de simulação utilizando-se como alimentação as vazões típicas dos combustíveis e o excesso de ar recomendável para tal situação.

As Tabela 1 e 2 contém as principais características dos combustíveis utilizados para queima.

**Tabela 1: Características do óleo combustível utilizado.**

Nome	H(%)	C(%)	O(%)	N(%)	S(%)	PCS	Cp	Tipo
OCR	10	90	0	0	0,74	40 MJ/Kg	1 kJ/kgK	4B

**Tabela 2: Característica do gás combustível utilizado.**

CARACTERÍSTICA	% Volume
HIDROGENIO	9,2
1,3- BUTADIENO	<0,01
OXIGÊNIO	<0,31
METANO	58,48
CO	0,74
CO <sub>2</sub>	0,47
H <sub>2</sub> S	<0,01
ETENO	3,89
ETANO	8,67
PROPENO	3,47
PROPANO	7,62
C5+	<0,01
BUTENO-1	0,09
ISO-BUTENO	0,14
TRANS-BUTENO-2	0,09
CIS-BUTENO-2	0,07
ISO-BUTANO	1,82
N-BUTANO	1,84
ISO-PENTANO	0,10
N-PENTANO	<0,01
NITROGÊNIO	3,00

## AMOSTRAS DE GASES DE CHAMINÉ

Nas amostragens de gases de chaminé, proceder da seguinte maneira:

- 1) Confirmar que o balão esteja com vácuo.
- 2) Confirmar que não estejam soltas as conexões.
- 3) Amostrar com auxílio de bomba manual, abrir a válvula da tomada da amostra e conectar a mangueira do lado da aspiração da bomba no “*tubing*” da tomada (bico de saída do gás).
- 4) Quando o balão estiver cheio, dobrar a mangueira e fixar bem o grampo de vedação.
- 5) Remover a mangueira do balão de sua conexão no sistema de amostragem e confirmar que não estejam vazando gases
- 6) Bloquear a válvula da tomada de amostra.
- 7) Identificar a amostra com a etiqueta e contactar o técnico solicitando seu recolhimento.

Os gases de chaminé são coletados em balão inflável de borracha, fornecido pelo laboratório em vácuo. O ar deve ser removido do balão pela bomba de vácuo do laboratório. Não se deve utilizar um balão cuja remoção do ar seja realizada manualmente.

O principal problema no processo de amostragem dos gases de chaminé é a infiltração de ar na amostra, sobretudo nos dutos em cuja tomada de amostragem há pressão negativa. O ar pode estar infiltrado previamente no balão ou pode infiltrar-se no momento da amostragem se o grampo que veda a mangueira do balão for removido antes da mangueira ser conectada na tomada, através de folgas nas conexões da tomada ou se o ar presente nela não for removido antes de se conectar a mangueira. Neste caso, o balão deve ser devolvido ao laboratório.

**EFICIÊNCIA DE CALDEIRAS PELO MÉTODO DAS PERDAS**  
**MÉTODO DE CALCULO :**

**PLANILHA 1**

DADOS DE OPERACAO	
TEMPERATURAS	°C
Gases combustão	212,4
Ar de combustão	61,9
Ar bulbo úmido	22,0
Ar bulbo seco	30,0

Perdas de calor pelas paredes  
2,0 %

RESULTADOS DAS ANÁLISES

COMPOSIÇÃO DOS GASES DE COMBUSTAO (CALCULO EM BASE SECA)

	% vol
RELAÇÃO MÁSSICA H/C	0,18
TEOR DE O2 (%)	5,5
TEOR DE CO2 (%)	10,81
TEOR DE N2 (%)	83,7
EXCESSO DE AR (%)	32,8

ANÁLISE DOS GASES DE COMBUSTÃO (BASE SECA)

	% vol
CO <sub>2</sub>	10,81
CO	0,0
N <sub>2</sub>	83,7
O <sub>2</sub>	5,5
SO <sub>2</sub>	0,0

CÁLCULOS PRELIMINARES

RELAÇÃO MÁSSICA HIDROGÊNIO/CARBONO H/C = 0,184

COMBUSTÍVEL TOTAL EQUIVALENTE

Elemento	(% massa)
Carbono	84,49
Hidrogenio	15,51

ESTIMATIVA DO PCI

Estimativa do Calor de Formação

% de H do Combustível kcal/kg  
 0 < %H < 14,306 472,71  
 14,306 < %H < 16,679 446,87  
 16,679 < %H 437,59

PCI sem correção = 11063,2 kcal/kg  
 PCI Corrigido = 10616,4 kcal/kg

#### ESTEQUIOMETRIA DA COMBUSTÃO E CÁLCULO DA EFICIÊNCIA

##### CÁLCULOS DAS QUANTIDADES DE AR E GASES

ARTEO = 14,95 kg ar / kg comb  
 ARREAL = 19,88 kg ar / kg comb  
 EXCAR = 32,81 %  
 GASREAL = 19,49 kg gas / kg comb

EFICIÊNCIA ( BASEADA NO PCI )

88,45 %

##### CÁLCULO DAS PERDAS

	kcal/kg comb	%
PERDA NOS GASES EM BASE SECA	890,4	71,4
PERDA NOS GASES DEVIDO A ÁGUA	140,7	11,3
PERDAS DE CALOR PELAS PAREDES	215,9	17,3
TOTAL DE PERDAS	1247,0	100,0

##### CÁLCULO DOS CRÉDITOS

	kcal/kg comb	%
DEVIDO AO AR DE COMBUSTÃO	176,6	97,6
DEVIDO A UMIDADE DO AR	4,4	2,4
TOTAL DE CRÉDITOS	181,0	100,0

**PLANILHA 2**

## DADOS DE OPERAÇÃO

TEMPERATURAS	°C
Gases combustão	212,4
Ar de combustão	61,9
Ar bulbo úmido	22,0
Ar bulbo seco	30,0

Perdas de calor pelas paredes
2,0 %

## RESULTADOS DAS ANÁLISES

## COMPOSIÇÃO DOS GASES DE COMBUSTÃO (CÁLCULO EM BASE SECA)

	% vol
RELAÇÃO MÁSSICA H/C	0,18
TEOR DE O <sub>2</sub> (%)	2,5
TEOR DE CO <sub>2</sub> (%)	12,90
TEOR DE N <sub>2</sub> (%)	84,6
EXCESSO DE AR (%)	12,5

## ANÁLISE DOS GASES DE COMBUSTÃO (BASE SECA)

	% vol		
CO <sub>2</sub>	12,90	CO	0,0
N <sub>2</sub>	84,6		
O <sub>2</sub>	2,5		
SO <sub>2</sub>	0,0		

## CÁLCULOS PRELIMINARES

RELAÇÃO MÁSSICA HIDROGÊNIO/CARBONO H/C = 0,184

## COMBUSTÍVEL TOTAL EQUIVALENTE

Elemento	(% massa)
Carbono	84,49
Hidrogenio	15,51

## ESTIMATIVA DO PCI

## Estimativa do Calor de Formação

% de H do Combustível	kcal/kg
0 < %H < 14,306	472,71
14,306 < %H < 16,679	446,87

16,679 < %H      437,59

PCI sem correção =    11063,2      kcal/kg

PCI Corrigido    =    10616,4      kcal/kg

ESTEQUIOMETRIA DA COMBUSTÃO E CÁLCULO DA EFICIÊNCIA

CÁLCULOS DAS QUANTIDADES DE AR E GASES

ARTEO    =      14,95      kg ar / kg comb

AR REAL    =      16,84      kg ar / kg comb

EXCAR    =      12,51      %

GASREAL    =      16,45      kg gas / kg comb

EFICIÊNCIA ( BASEADA NO PCI )      89,75      %

CÁLCULO DAS PERDAS

		kcal/kg comb	%
PERDA NOS GASES EM BASE SECA	751,5	68,1	
PERDA NOS GASES DEVIDO A ÁGUA	137,2	12,4	
PERDAS DE CALOR PELAS PAREDES	215,4	19,5	
TOTAL DE PERDAS			1104,1      100,0

CÁLCULO DOS CRÉDITOS

		kcal/kg comb	%
DEVIDO AO AR DE COMBUSTÃO	149,6	97,6	
DEVIDO A UMIDADE DO AR		3,7	2,4
TOTAL DE CRÉDITOS		153,4	100,0

## ANEXO V

### ESPECIFICAÇÕES DO TELEGAN TEMPEST 100

#### Especificações

Parâmetros medidos	Range	Resolução	Precisão
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 - 25%	0,1%	+/- 0,2%
Monóxido de carbono (CO)	0 - 10.000 ppm	1 ppm	<100 ppm: +/- 5 ppm >100 ppm: +/- 5%fsd
CO alto*	0 - 10,0%	0,01%	<0,10%: +/- 0,01% >0,10%: +/- 5%fsd
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	0 - 2000 ppm	1 ppm	<100 ppm: +/- 5 ppm >100 ppm: +/- 5%fsd
Óxido de Nitrogênio (NO)	0 - 1000 ppm	1 ppm	<100 ppm: +/- 5 ppm >100 ppm: +/- 5%fsd
NO <sub>2</sub> *	0 - 200 ppm	1 ppm	< 20 ppm: +/- 5 ppm > 20 ppm: +/- 5% fsd
H <sub>2</sub> S*	0 - 200 ppm	1 ppm	+/- 1 ppm
HCl*	0 - 100 ppm	1 ppm	+/- 1 ppm
Temperatura dos gases	até 800 °C	1 °C	+/- 0,3%
Temperatura ambiente	até + 60 °C	1 °C	+/- 0,3%
Pressão/Tiragem*	+/- 150 mbar	0,01mbar	+/- 0,5% fsd
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) calculado	0 - 99,9%	0,1%	
Relação CO/CO <sub>2</sub>	0 - 0.9999		
Eficiência de combustão	0 - 99,9%	0,1%	
Excesso de ar	0 - 2000%		
Perdas por CO	0 - 99,9%		
Perdas nos gases úmidos	0 - 99,9%		
Temperatura Diferencial	0 - 800 °C		
Temp. do ar combustão*	0 - 600 °C		