



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

**ESTUDO PARA CONVERSÃO DE PARTES POLUENTES
DOS GASES DE COMBUSTÃO DE TERMOELÉTRICA
A ÓLEO EM MATÉRIA PRIMA PARA FERTILIZANTE**

OMAR FERNANDES ALY

Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:
Dra. Dora de Castro Rubio Poli

**São Paulo
2001**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**ESTUDO PARA CONVERSÃO DE PARTES POLUENTES DOS GASES DE
COMBUSTÃO DE TERMOELÉTRICA A ÓLEO EM MATÉRIA PRIMA PARA
FERTILIZANTE.**

OMAR FERNANDES ALY



**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do grau
de Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear Básica**

Orientadora : Dra. Dora de Castro Rubio Poli

SÃO PAULO

2001

DEDICATÓRIA

**A meus pais ,
À minha família,
A meu País.**

AMOR OMNIA VINCIT

**Aos meus amigos e
mestres: Henrique Graciano
Murachco, Maria José de
Carvalho (in memoriam),
Olívio Tavares de Araújo e Saulo
Pereira de Mello.**

AGRADECIMENTOS

À Dra. Dora de Castro R. Poli, minha dedicada orientadora.

Ao Dr. Moyses Szajnbok, pelas sugestões sempre oportunas e pela especial amizade e consideração.

Ao Dr. Nelson Leon Meldonian, pelas sugestões sempre oportunas e pela especial amizade e consideração.

Ao eng^o José Maria Anson Anson, grande amigo, colega e chefe excepcional.

Ao prof. Wanderley de Lima, Coordenador do Centro de Laboratórios de Ciclotrons.

A todos os colegas e professores do IPEN por sua dedicação e competência sem as quais seria difícil a elaboração deste trabalho. Menção especial ao eng^o Hylton Matsuda e a Luiz Carlos do Amaral Sumiya do Centro de Laboratórios de Ciclotrons.

Ao CNPq pela bolsa e atenção dispensada ao meu trabalho.

Ao IPEN-CNEN/SP pela oportunidade de poder ter realizado este trabalho.

ESTUDO PARA CONVERSÃO DE PARTES POLUENTES DOS GASES DE COMBUSTÃO DE TERMOELÉTRICA A ÓLEO EM MATÉRIA PRIMA PARA FERTILIZANTE.

Omar Fernandes Aly

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o estudo e a aplicação do processo de tratamento simultâneo por feixe de elétrons dos gases tóxicos: dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x), provenientes de queima em usina termoeletrica a óleo combustível. Esse óleo tem baixo teor de enxofre (<1%), mas o estudo considera a utilização de óleo com até 3% de enxofre, óleo mais barato, que poderá ser utilizado em substituição ao atual para amortizar o investimento nesse processo. Essa Usina, chamada Termoeletrica Piratininga, está situada no município de São Paulo – SP, tendo 470 MW de capacidade total de geração (2x 100 MW construídas em 1954 e 2x135 MW construídas em 1960). A aplicação visa reduzir os níveis de emissão desses poluentes na atmosfera bem como atender à legislação ambiental em vigor, além de atender à expectativa de uma futura regulamentação referente ao controle da emissão de NO_x . Como vantagem adicional, esse processo gera subprodutos aproveitáveis para a indústria de fertilizantes agrícolas—sulfato e nitrato de amônio—que poderão ser economicamente interessantes para a usina e para o Brasil, país onde a agricultura é relevante na sua economia.

O processo consiste na irradiação dos gases provenientes da queima de óleo combustível, com feixe de elétrons de alta energia (a partir de 0,8 MeV), na presença de amônia, induzindo reações químicas entre os componentes dos gases e a amônia. Como subprodutos da reação, formam-se sulfato e nitrato de amônio, que são coletados na forma de pó seco, através de precipitador eletrostático.

O estudo foi elaborado para a instalação de uma planta piloto para tratar 370000 Nm^3/h de gases provenientes da queima de óleo para gerar 135MW elétricos na Usina Termoeletrica Piratininga. Ele permite o levantamento de dados para o aprimoramento e desenvolvimento do processo, e a avaliação de custos de operação e manutenção no País. Após a sua implementação, também permitirá o treinamento de pessoal, visando a ampliação para toda a Usina e a transferência da tecnologia para outras plantas, tais como: termoeletricas a carvão, siderúrgicas, incineradores e indústrias químicas em geral.

v

**AIR POLLUTANTS CONVERSION STUDY OF COMBUSTION GAS
GENERATING BY OIL FUELED THERMOELECTRIC POWER PLANT TO
FERTILIZER BYPRODUCT**

Omar Fernandes Aly

ABSTRACT

This study concerns the development and application of a SO₂ and NO_x simultaneous gas treatment through a 135 MW electron beam flue gas treatment demonstration plant at Piratininga Power Plant located at São Paulo, the biggest city in Brazil, around 16 million inhabitants, with serious problems concerning air pollution. This power plant belongs to a service electric utility necessary for the supply of energy to more than 5,800,000 customers, covering an area of 21,168 km² where approximately 20,2 million people live. This plant is a 470MW, 2x100MW built in 1954 and 2x135MW erected in 1960, oil fueled (at full load, 2,800 ton per day). The oil is low sulfur content (<1%), but the study considers the mode of operation and another option for the fuel supply, with a sulfur content till 3.0%. It was estimated to use a flue gas rate of 370,000 Nm³/h for 135MW generated by the plant.

This process aims to reduce SO₂ and NO_x gas pollutant emissions attending the Brazilian environmental laws including the expecting future law for NO_x levels.

The process consists in high energy electron beam irradiation (above 0,8 MeV) of burning gas from the plant at ammonia presence forming as reaction product ammonium sulfate and nitrate that are collecting as dry dust at an electrostatic precipitator.

This is economically useful to the plant and to Brazil, a mainly agricultural country.

The Feasibility Study for a 135 MW pilot plant installation at Piratininga Power Plant allows the data collection to optimize and to develop this process, the operation and maintenance costs evaluation for the country. After the process implementation, the human resources training aiming the all plant extension of this process and also the technology know how transfer to another industrial process plants like coal fired thermoelectrical power plants, siderurgical, incinerators and chemical industries.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. <i>Considerações gerais</i> | 1 |
| 1.2. <i>Emissões de SO₂</i> | 2 |
| 1.3. <i>Emissões de NO_x</i> | 3 |
| 1.4. <i>Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis(VOC)</i> | 3 |
| 1.5. <i>Emissões de particulados</i> | 3 |
| 1.6. <i>Efeitos da poluição à saúde</i> | 3 |
| 1.7. <i>Efeitos da poluição à vegetação e outros;</i> | 5 |
| 1.8. <i>Mecanismos da chuva ácida</i> | 7 |
| 1.9. <i>Resumo do problema no Brasil</i> | 8 |
| 1.10. <i>Resumo do problema na cidade de São Paulo</i> | 8 |
| 1.11. <i>Objetivos</i> | 9 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 10 |
| 2.1. <i>Mecanismos de transformação de poluentes na atmosfera</i> | 10 |
| 2.2. <i>Processo de feixe de elétrons</i> | 13 |
| 2.2.1. <i>Interação entre os elétrons e o gás</i> | 13 |
| 2.2.2. <i>Radiólise de gases</i> | 16 |
| 2.2.3. <i>Reações de remoção dos óxidos de nitrogênio</i> | 19 |
| 2.2.4. <i>Reações de remoção do dióxido de enxofre</i> | 20 |
| 2.2.5. <i>Reações do NO_x e SO₂ com amônia</i> | 24 |
| 2.2.6. <i>Reações com outros agentes neutralizantes</i> | 28 |
| 2.2.7. <i>Formação de N₂O</i> | 28 |
| 2.2.8. <i>Redução de compostos orgânicos voláteis</i> | 30 |
| 2.2.9. <i>Processo de dessulfurização por amônia líquida</i> | 34 |
| 2.2.10. <i>Princípio do processo de feixe de elétrons</i> | 35 |
| 2.2.11. <i>Resumo do mecanismo do processo</i> | 36 |
| 3. INSTALAÇÕES EXISTENTES | 38 |
| 3.1. <i>Instalações de laboratório e piloto</i> | 38 |
| 3.1.1. <i>Instalação de laboratório no INCT, Polônia</i> | 38 |
| 3.1.2. <i>Planta piloto da EPS Kawęczyn, Polônia</i> | 42 |
| 3.1.3. <i>Planta piloto na Chubu EPC, Japão</i> | 53 |
| 3.1.4. <i>Plantas piloto prévias</i> | 56 |
| 3.1.5. <i>Comparação de soluções aplicadas em diferentes plantas piloto</i> | 60 |
| 3.1.6. <i>Aplicações dos subprodutos</i> | 65 |
| 3.2. <i>Projetos industriais</i> | 67 |
| 3.2.1. <i>Projeto industrial na China</i> | 67 |
| 3.2.2. <i>Projeto industrial no Japão</i> | 68 |
| 3.2.3. <i>Projeto industrial na Polônia</i> | 68 |
| 4. USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA | 70 |
| 4.1. <i>Características técnicas principais e localização</i> | 70 |
| 4.2. <i>Poluição do ar causada pela Usina</i> | 73 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.3. | <i>Detalhamento do processo de feixe de elétrons à Usina Termoeletrica Piratininga</i> | 74 |
| 4.4. | <i>Discussão do processo de feixe de elétrons</i> | 79 |
| 4.4.1. | <i>Concentração de particulados e SO₂</i> | 79 |
| 4.4.2. | <i>Consumíveis e subprodutos</i> | 80 |
| 5. | COMPARAÇÃO COM PROCESSOS CONVENCIONAIS | 81 |
| 5.1. | <i>Tecnologia de controle do SO₂</i> | 83 |
| 5.2. | <i>Tecnologia de controle do NO_x</i> | 88 |
| 5.2.1. | <i>Remoção do NO_x por modificação na combustão</i> | 88 |
| 5.2.2. | <i>Tecnologia de tratamento do gás de combustão</i> | 90 |
| 6. | RESUMO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA E MONITORAÇÃO DO AR | 93 |
| 6.1. | <i>Sistema de proteção ambiental</i> | 93 |
| 6.1.1. | <i>Legislação federal</i> | 95 |
| 6.1.2. | <i>Legislação do Estado de São Paulo</i> | 97 |
| 6.2. | <i>Padrões de qualidade do ar e limites de emissão</i> | 98 |
| 6.3. | <i>Sistema de monitoração e medição da poluição do ar</i> | 100 |
| 6.4. | <i>Estações automáticas de monitoração do ar</i> | 101 |
| 6.5. | <i>Particulados aéreos</i> | 101 |
| 6.6. | <i>Métodos de amostragem</i> | 101 |
| 6.7. | <i>Acidez de precipitações</i> | 102 |
| 6.8. | <i>Valores estimados de emissões dos principais poluentes</i> | 102 |
| 7. | CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR NOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS .. | 104 |
| 7.1. | <i>Padrões de qualidade do ar</i> | 104 |
| 7.2. | <i>Regulamentação dos limites de emissão</i> | 105 |
| 7.2.1. | <i>Regulamentação dos limites de emissão de SO₂ no Japão</i> | 105 |
| 7.2.2. | <i>Regulamentação dos limites de emissão de SO₂ nos EUA</i> | 105 |
| 7.2.3. | <i>Regulamentação dos limites de emissão de SO₂ na Europa</i> | 107 |
| 7.2.4. | <i>Regulamentação dos limites de emissão de NO_x no Japão</i> | 111 |
| 7.2.5. | <i>Regulamentação dos limites de emissão nos EUA</i> | 112 |
| 8. | AGRICULTURA BRASILEIRA E FERTILIZANTES | 114 |
| 8.1. | <i>Panorama da agricultura brasileira</i> | 114 |
| 8.2. | <i>A indústria brasileira de fertilizantes e amônia</i> | 117 |
| 8.3. | <i>Regulamentação brasileira para fertilizantes agrícolas</i> | 121 |
| 8.4. | <i>Demanda de fertilizantes</i> | 122 |
| 8.5. | <i>Tendência de demanda de fertilizantes</i> | 124 |
| 8.6. | <i>Suprimento de fertilizantes</i> | 126 |
| 8.7. | <i>Suprimento de amônia</i> | 128 |
| 9. | RESULTADOS DO ESTUDO DE VIABILIDADE NA USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA | 129 |
| 9.1. | <i>Estudo preliminar</i> | 129 |
| 9.2. | <i>Estudo de viabilidade</i> | 133 |
| 9.3. | <i>Principais resultados do Estudo de Viabilidade</i> | 135 |
| 9.3.1. | <i>Custo total do projeto</i> | 135 |

| | |
|---|------------|
| 9.3.2. Condições de financiamento | 136 |
| 9.3.3. Avaliação econômica do projeto | 137 |
| 9.3.4. Efeito da instalação do sistema proposto..... | 144 |
| 9.3.5. Efeito na economia e na indústria | 145 |
| 9.3.6. Operação e manutenção do sistema proposto..... | 146 |
| 9.3.7. Lista dos equipamentos a serem instalados | 148 |
| 9.3.8. Cronograma preliminar de instalação | 150 |
| 9.3.9. Arranjo físico e fluxograma do processo | 151 |
| 10. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 152 |
| 10.1. <i>Principais vantagens</i> | 153 |
| 10.2. <i>Principais problemas do processo na Usina T. Piratininga</i> | 153 |
| 10.3. <i>Tópicos a serem verificados para aperfeiçoamento do estudo</i> | 155 |
| 11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 157 |
| 12. APÊNDICE | 162 |
| 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 181 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabela 1. Consumo mundial de combustíveis fósseis..... | 1 |
| Tabela 2. Poluentes produzidos por tipos de combustível | 2 |
| Tabela 3. Efeitos à saúde de emissões de enxofre..... | 4 |
| Tabela 4. Fontes, caracter. e efeitos dos principais poluentes na atmosfera | 6 |
| Tabela 5. Reações fotoquímicas no ar atmosférico | 10 |
| Tabela 6. Caminhos de oxidação do dióxido de enxofre..... | 11 |
| Tabela 7. Reações de transformação do NO | 13 |
| Tabela 8. Dissipação de energia produzida pela irradiação por feixe de elétrons..... | 17 |
| Tabela 9. Reações de transformação do NO induzidas por radiação..... | 20 |
| Tabela 10. Reações dos principais radicais concernentes à transformação do SO ₂ | 22 |
| Tabela 11. Reações de radicais em presença de amônia..... | 24 |
| Tabela 12. Formação de ozônio na troposfera..... | 30 |
| Tabela 13. Mecanismo do tratamento de comp. cloroorgânicos por f.el. | 31 |
| Tabela 14. Composição dos subprodutos (caldeiras queimando carvão)..... | 65 |
| Tabela 15. Consumo de óleo combustível na Usina Termoel. Piratininga | 73 |
| Tabela 16. Nível de emissão e limites para a Usina Termoel. Piratininga | 74 |
| Tabela 17. Consumo de utilidades para dessulfurização de 80% de SO ₂ | 80 |
| Tabela 18. Comparação entre os principais processos FGD | 84 |
| Tabela 19. Comparação entre os processos FGD(secos) | 88 |
| Tabela 20. Concentração de NO _x no gás de combustão..... | 89 |
| Tabela 21. Princípios e métodos de remoção de NO _x | 89 |
| Tabela 22. Comparação de processos De- NO _x | 91 |
| Tabela 23. Comparação de processos De- NO _x (processos secos)..... | 92 |
| Tabela 24. Padrões de qualidade do ar | 98 |
| Tabela 25. Critérios para episódios agudos de poluição do ar | 99 |
| Tabela 26. Níveis máximos de poluentes do ar em fontes fixas..... | 99 |
| Tabela 27. Métodos de monitoração de gases em fase de testes | 100 |
| Tabela 28. Estimativa de poluentes gasosos em São Paulo-1990 | 102 |
| Tabela 29. Estimativa de poluentes gasosos em Cubatão- 1990 | 103 |
| Tabela 30. Padrões de qualidade do ar no mundo | 104 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 31. Padrões de emissão para o SO ₂ nos EUA | 106 |
| Tabela 32. Metas de emissão para grandes plantas na Comunidade Européia | 108 |
| Tabela 33. Padrões de emissão para o SO ₂ na ex- Rep. Fed. Alemanha..... | 109 |
| Tabela 34. Padrões de emissão para o SO ₂ na Bélgica, Itália e Holanda | 110 |
| Tabela 35. Padrões de emissão para o NO _x no Japão..... | 111 |
| Tabela 36. Regulamentação do NO _x e emissões para caldeiras de potência. | 112 |
| Tabela 37. Padrões de emissão para o NO _x nos EUA | 113 |
| Tabela 38. Produção brasileira de agro-vegetais..... | 114 |
| Tabela 39. Área colhida nacional agro-vegetal | 115 |
| Tabela 40. Produtividade brasileira de agro-vegetais..... | 115 |
| Tabela 41. Desempenho da produção nacional agro-vegetal..... | 116 |
| Tabela 42. Capacidade instalada de produção de fertilizantes/matérias primas | 118 |
| Tabela 43. Mat. bruto nitrogenado e indústria brasileira de fertilizantes..... | 119 |
| Tabela 44. Gesso produzido em plantas de ácido fosfórico-1994 | 121 |
| Tabela 45. Balanço de nutrientes-1999..... | 122 |
| Tabela 46. Demanda de nutrientes por região | 123 |
| Tabela 47. Mercado brasileiro de fertilizantes nitrogenados..... | 125 |
| Tabela 48. Importação de matéria prima e fertilizante intermediário-1999 | 127 |
| Tabela 49. Condições de saída planta piloto para tratar gases de 50MW..... | 130 |
| Tabela 50. Custo estimado para planta piloto para tratar gases de 50MW | 132 |
| Tabela 51. Custo de projeto para trat. gases de 135MW da U. T. Piratininga. | 135 |
| Tabela 52. Custo total do projeto para duas modalidades de financiamento.. | 137 |
| Tabela 53. Cálculo da amortização anual | 139 |
| Tabela 54. Avaliação econômica do sistema básico EBARA-Caso A | 141 |
| Tabela 55. Avaliação econômica do sistema básico EBARA-Caso B | 143 |
| Tabela 56. Redução esperada na poluição do ar da Usina Termoelétrica Piratininga..... | 144 |
| Tabela 57. Quantidade estimada de SO ₂ para plena carga da Usina Termoelétrica Piratininga..... | 145 |
| Tabela 58. Equipe de operação necessária ao sistema (de feixe de elétrons a ser implantado na Usina Termoelétrica Piratininga).... | 147 |
| Tabela 59. Intervalos de manutenção para acelerador de elétrons | 148 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Esquema de formação da chuva ácida..... | 7 |
| Figura 2. Trilhas dos elétrons num gás de combustão tratado..... | 15 |
| Figura 3. Dissipação de energia numa descarga em ar seco..... | 18 |
| Figura 4. Dependência da dose com a concentração de SO ₂ | 19 |
| Figura 5. Curvas de concentração vs. dose para SO ₂ | 23 |
| Figura 6. Remoção de SO ₂ e NO _x na presença de amônia, no processo de feixe de elétrons..... | 25 |
| Figura 7. Ponto de orvalho do ác.sulf. vs. conc. SO ₃ e umidade..... | 26 |
| Figura 8. Dependência da temperatura da reação de SO ₂ com a amônia | 27 |
| Figura 9. Dependência com a temperatura da reação termoquímica..... | 28 |
| Figura 10. Energia necessária para destruição de diferentes compostos orgânicos | 33 |
| Figura 11. Dependência da destruição do tolueno e freon 13 com a dose. | 33 |
| Figura 12. Unidade de laboratório para tratamento de gases por feixe de elétrons..... | 39 |
| Figura 13. Eficiência de remoção de SO ₂ para gases com alta concentração..... | 40 |
| Figura 14. Eficiência de remoção de benzeno | 41 |
| Figura 15. Planta industrial piloto para tratamento de gases | 43 |
| Figura 16. Vaso de processo aplicado à planta piloto..... | 44 |
| Figura 17. Distribuição de tamanho de partículas de aerossol..... | 45 |
| Figura 18. Sistema de controle e monitoramento da planta piloto..... | 46 |
| Figura 19. Parâmetros da planta piloto durante operação contínua..... | 47 |
| Figura 20. Eficiências de remoção de SO ₂ e NO _x para diferentes doses | 48 |
| Figura 21. Dependência de dose das eficiências de remoção de SO ₂ e NO _x | 48 |
| Figura 22. Influência da energia dos elétrons na eficiência de remoção do NO _x | 49 |
| Figura 23. Fotografia ilustrando faixa de penetração dos elétrons | 50 |
| Figura 24. Fluxograma da planta piloto da Chubu Electric Co. | 54 |
| Figura 25. Eficiência de remoção de SO ₂ | 55 |
| Figura 26. Eficiência de remoção de NO _x | 55 |
| Figura 27. Planta piloto da Indianapolis Power and Light Co.(EUA) | 56 |
| Figura 28. Corte do edifício do acelerador de elétrons | 57 |
| Figura 29. Planta piloto de Reihafen(Alemanha)..... | 59 |

| | |
|---|-----|
| Figura 30. Planta piloto da TVA..... | 60 |
| Figura 31. Geometrias do vaso de processo para diferentes plantas piloto..... | 61 |
| Figura 32. Distribuição de dose em vaso de processo- Kawęczyn(Polônia) | 61 |
| Figura 33. Distribuição de dose em vaso de processo- Nagoya(Japão) | 62 |
| Figura 34. Eficiência de rem.de NO _x para irradiação de ambos os lados | 62 |
| Figura 35. Eficiência de rem.de NO _x para diferentes plantas piloto | 63 |
| Figura 36. Eficiência de rem.de SO _x para diferentes plantas piloto | 64 |
| Figura 37. Influência da concentração de SO ₂ na eficiência de remoção de NO _x | 64 |
| Figura 38. Deficiência de enxofre em folhas de <i>Brassica</i> ,observada na Alemanha..... | 66 |
| Figura 39. Esquema da planta de demonstração Ebara ,Sichuan,China | 67 |
| Figura 40. Esquema de planta industrial EPS Pomorzany,Polônia | 69 |
| Figura 41. Localização da Usina Termoelétrica Piratininga | 71 |
| Figura 42. Esquema de funcionamento simplificado da Usina Termoelétrica Piratininga..... | 72 |
| Figura 43. Fluxograma do processo de tratamento de gases da Ebara para a Usina Termoelétrica Piratininga | 76 |
| Figura 44. Esquema de instalação convencional (FGD+ SCR)..... | 81 |
| Figura 45. Fluxograma do processo de dessulfurização dos gases(1/2) | 85 |
| Figura 46. Fluxograma do processo de dessulfurização dos gases(2/2) | 86 |
| Figura 47. Organização envolvida no controle da poluição..... | 94 |
| Figura 48. Localização das indústrias de amônia e sulfato de amônio | 120 |
| Figura 49. Cronograma preliminar de instalação..... | 151 |

LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

| | |
|----------------------|--|
| A | símbolo para radical. |
| B | símbolo para radical. |
| C | símbolo para radical. |
| DNC | Departamento Nacional de Combustíveis. |
| ESP | Precipitador eletrostático (Electrostatic Precipitator). |
| FGD | Dessulfurização de Gases de Combustão (Flue Gas Dessulfurization). |
| G | Número de eventos/fenômenos por 100 eV de energia absorvida na matéria. |
| GGH | Trocador de calor gás-gás (Gas – Gas Heater) |
| h | constante de Planck. |
| INCT | Institute of Nuclear Chemistry and Technology (Varsóvia, Polônia). |
| JAERI | Japan Atomic Energy Research Institute |
| JCI | Japan Consulting Institute |
| J | joule. |
| J_e | ionização específica[mol/J]. |

| | |
|-------------------|---|
| j | potencial de ionização [eV] |
| kGy | quilogrey (unidade de medição de dose absorvida). |
| M | símbolo para radical. |
| v | frequência[1/s]. |
| R | símbolo para radical. |
| SCR | Redução Catalítica Seletiva (Selective Catalytic Reduction). |
| SNCR | Redução Não Catalítica Seletiva (Selective No Catalytic Reduction). |
| s | potência de freamento. |
| TCE | tricloroetileno. |
| VOC Compounds) | Compostos Orgânicos Voláteis (Volatile Organic |
| ω | energia média para formar um par de íons [eV] |

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

A poluição causada pela combustão em processos industriais é atualmente um sério problema ambiental.

Os óxidos de enxofre são formados e emitidos para a atmosfera quando combustíveis fósseis que contêm enxofre, como o carvão e o óleo combustível, são queimados^[20].

Os óxidos de nitrogênio são formados e emitidos quando ocorre combustão do nitrogênio a alta temperatura. Eles são duas vezes mais tóxicos que os óxidos de enxofre.

De acordo com dados do 5th World Congress of Chemical Engineering, San Diego USA, 15-18 July 1996 [Wolk, H.R.: Electric power supplies- the next 25 years], o consumo mundial de combustíveis fósseis está crescendo. Temos a seguinte situação / previsão:^[5]

Tabela 1. Consumo mundial de combustíveis fósseis^[5].

| Ano | Potência instalada a carvão(GW) | Potência instalada a óleo combustível(GW) | Potência instalada total(GW) |
|------|---------------------------------|---|------------------------------|
| 1995 | 870 | 435 | 2900 |
| 2020 | 1836 | 648 | 5400 |

A queima de combustíveis fósseis produz poluentes como particulados, SO₂, NO_x compostos orgânicos voláteis (VOC, "volatile organic compounds"). Exemplos dessas composições gasosas são apresentadas na Tabela 2 a seguir. Esses dados dão uma idéia concernente às possíveis concentrações de poluentes. Elas variam de um combustível para outro, p.ex. para a linhita, são observadas altas emissões de SO₂ como 2700 ppm. Mesmo quando a

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

A poluição causada pela combustão em processos industriais é atualmente um sério problema ambiental.

Os óxidos de enxofre são formados e emitidos para a atmosfera quando combustíveis fósseis que contêm enxofre, como o carvão e o óleo combustível, são queimados^[20].

Os óxidos de nitrogênio são formados e emitidos quando ocorre combustão do nitrogênio a alta temperatura. Eles são duas vezes mais tóxicos que os óxidos de enxofre.

De acordo com dados do 5th World Congress of Chemical Engineering, San Diego USA, 15-18 July 1996 [Wolk, H.R.: Electric power supplies- the next 25 years], o consumo mundial de combustíveis fósseis está crescendo. Temos a seguinte situação / previsão:^[5]

Tabela 1. Consumo mundial de combustíveis fósseis^[5].

| Ano | Potência instalada a carvão(GW) | Potência instalada a óleo combustível(GW) | Potência instalada total(GW) |
|------|---------------------------------|---|------------------------------|
| 1995 | 870 | 435 | 2900 |
| 2020 | 1836 | 648 | 5400 |

A queima de combustíveis fósseis produz poluentes como particulados, SO₂, NO_x compostos orgânicos voláteis (VOC, "volatile organic compounds"). Exemplos dessas composições gasosas são apresentadas na Tabela 2 a seguir. Esses dados dão uma idéia concernente às possíveis concentrações de poluentes. Elas variam de um combustível para outro, p.ex. para a linhita, são observadas altas emissões de SO₂ como 2700 ppm. Mesmo quando a

concentração de poluentes é baixa, a emissão global é muito alta por volume de gases emitidos^[5].

Tabela 2. Poluentes produzidos por tipos de combustível^[5].

| | Óleo combustível*3A (3%S) | Carvão mineral** | Gás natural*** | Linhita** | Lixo municipal** |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| Poluentes | | | ppm | | |
| SO ₂ | | 350-1700 | 0 | 100-2700 | 190-290 |
| SO ₃ /SO _x | 2040 | ~0,01 | 0 | ~0,01 | - |
| NO ₂ | | 200-1600 | | 100-500 | 50-210 |
| NO ₂ /NO _x | 160 | ~0,05 | 120 | ~0,05 | - |
| HCl | | 30-125 | --- | 12-60 | 750 |
| HF | | 5-60 | --- | 0,3-2,6 | 11 |
| CO | | 300-680 | | - | 40-90 |
| VOC(mg/m ³) | | - | --- | - | <20 |
| Partículas (mg/m ³) | 400 | 500-35000 | --- | 1500- 25000 | 2000- 10000 |
| Gás de queima | | | % vol | | |
| N ₂ | Balanço | 70-80 | | 60-78 | 70-71 |
| CO ₂ | 14,0(b.s.) | 11-15 | 10 | 11-15 | 6-12 |
| O ₂ | 2,4 | 4-7 | | 4-7 | 7-14 |
| H ₂ O | 10 | 3-8 | | 8-24 | 10-18 |

* Dado de referência do Japão- ref.[23]

**Dados de referência da Polônia- ref.[5]

*** Dados coletados/estimados pelo autor

1.2. Emissões de SO₂

As emissões mundiais de SO₂ pelas usinas termoelétricas a carvão atingem anualmente cerca de 55 milhões de toneladas métricas: 17,5 nos EUA, 7 na China, 6,6 nos países da antiga comunidade soviética, 3,6 na Alemanha, 1,9 na Polônia, 2,2 na Bulgária e 1,3 na Turquia. A essas devem ser acrescentadas as emissões de fornalhas industriais e outras que utilizem carvão como combustível. Por essa razão, o total de emissões é muito maior, por exemplo no caso da China, cerca de 22 Mt/ano^[5].

1.3. *Emissões de NO_x*

A emissão de NO_x (recalculada como nitrogênio) provocada por combustão fóssil incluindo veículos é de 21 milhões de toneladas (N) por ano.^[5]

1.4. *Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis(VOC)*

As emissões de VOC da combustão não incluindo tráfego de veículos atingem quase 0,2 milhão de toneladas anual somente nos EUA (que têm a maior frota mundial de veículos). A emissão total desse poluente atingiu 1,8 milhão e 2 milhões de toneladas na Grã Bretanha e na França respectivamente em 1989^[5].

1.5. *Emissões de particulados*

A poluição causada por material particulado, SO₂ e NO_x, afeta diretamente o meio ambiente por contaminação das águas e do solo levando à sua degradação. A deposição de poluentes inorgânicos leva à acidificação do meio ambiente^[5].

1.6. *Efeitos da poluição à saúde*

Esses fenômenos prejudicam a saúde da população: já em 1952, em Londres, fumaça negra com concentração estimada em 4460 µg/m³ no pico, mas que chegou a atingir 10000 µg/m³ em nuvens poluentes subsequentes, causou

mais de 4000 mortes além das normalmente esperadas, entre os idosos e entre aqueles que já apresentavam deficiências respiratórias^[27].

No Município de São Paulo, os efeitos da poluição na saúde, vêm sendo estudados pelo Laboratório de Poluição do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Os estudos têm mostrado aumento da mortalidade em crianças e idosos (Saldiva et al, 1994 e 1995); aumento das admissões hospitalares de emergência de crianças por doenças respiratórias (Lin, 1997); aumento da mortalidade intra – uterina (Pereira, 1998) e aumento de internação por doenças respiratórias em crianças (Braga, 1998). Rumel et al (1993), associaram a poluição com infarto do miocárdio e Gouveia (1997) associou a poluição com a mortalidade geral de idosos, bem como de mortes por doenças do aparelho respiratório e cardiovascular^[28].

A Tabela 3 é de uma pesquisa feita em 1975 pela Academia Nacional de Ciências dos EUA .Nela consta a estimativa anual dos efeitos adversos à saúde causados por poluentes à base de enxofre, oriundos de uma usina de 620MW, queimando carvão com 3% de S, sem dessulfurização dos gases de chaminé e emitindo 213 toneladas de enxofre por dia.

Tabela 3. Efeitos à saúde de emissões de enxofre^[28].

| | Localização distanciada(1) | Localização urbana (2) |
|--|-------------------------------|------------------------|
| Casos de doença respiratória crônica | 25600 | 75000 |
| Agravamento de sintomas de doença cardiopulmonar (homens -dia) | 265000 | 755000 |
| Ataques de asma | 53000 | 156000 |
| Casos de doenças respiratórias em crianças | 6200 | 18400 |
| Óbitos precoces | 14 | 42 |

(1) Usina localizada a 230 milhas de New York, no sentido do vento.

(2) New York.

1.7. *Efeitos da poluição à vegetação e outros; resumo dos efeitos*

Os poluentes também aumentam a corrosão de metais em geral e monumentos feitos de materiais como o mármore, destroem o solo cultivado e as florestas. A maioria das plantas, especialmente as coníferas, não são resistentes ao efeito dos óxidos de enxofre e de nitrogênio. Depois de exposições mais longas, as folhas começam a amarelar e cair. Foram reportados grandes danos em florestas na maior parte dos países do Centro e do Leste europeu, bem como no Nordeste dos EUA e do Canadá. Muitas plantas cultivadas não são resistentes a esses poluentes, especialmente nos períodos iniciais de vegetação^[5].

Resumiremos as fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera na Tabela 4 (não estão inclusos os aldeídos):

Tabela 4. Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.^[32]

| POLUENTE | CARACTERÍSTICAS | FONTES PRINCIPAIS | EFEITOS GERAIS SOBRE A SAÚDE | EFEITOS GERAIS AO AMBIENTE |
|--|--|---|---|--|
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Tamanho < 100 µm. | Processos industriais, exaustão de veículos motorizados, Poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa, fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo. | Quanto menor o tamanho da partícula, pior para a saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo |
| Partículas inaláveis (MP10) e fumaça | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Tamanho < 10 µm. | Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário formado na atmosfera. | Aumento da necessidade de atendimentos hospitalares e ocorrência de mortes prematuras. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo |
| Dióxido Enxofre (SO ₂) | Gás incolor, com forte odor semelhante ao gás produzido na queima de paletos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ que na presença de vapor d'água passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis. | Processos que utilizam queima de óleo combustível, carvão, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel. | Desconforto na respiração, agrava doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ . | Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão dos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas. |
| Dióxido de nitrogênio (NO ₂) | Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos. | Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações. | Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixa a resistência às infecções respiratórias. | Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e colheitas. |
| Monóxido de carbono (CO) | Gás incolor, inodoro e insípido. | Combustão incompleta em veículos automotores e algumas indústrias. | Altos níveis de CO estão associados a ataques cardíacos, prejuízos dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado de trabalho e visual. | |
| Ozônio (O ₃) | Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica. | Não é emitido diretamente à atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (VOC). | Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. | Aumento de danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas e plantas ornamentais. |

1.8. Mecanismo da chuva ácida

As emissões e as reações de SO_2 e NO_x na atmosfera poluem o ambiente e causam a "chuva ácida", cujo esquema de formação é apresentado na Figura 1.

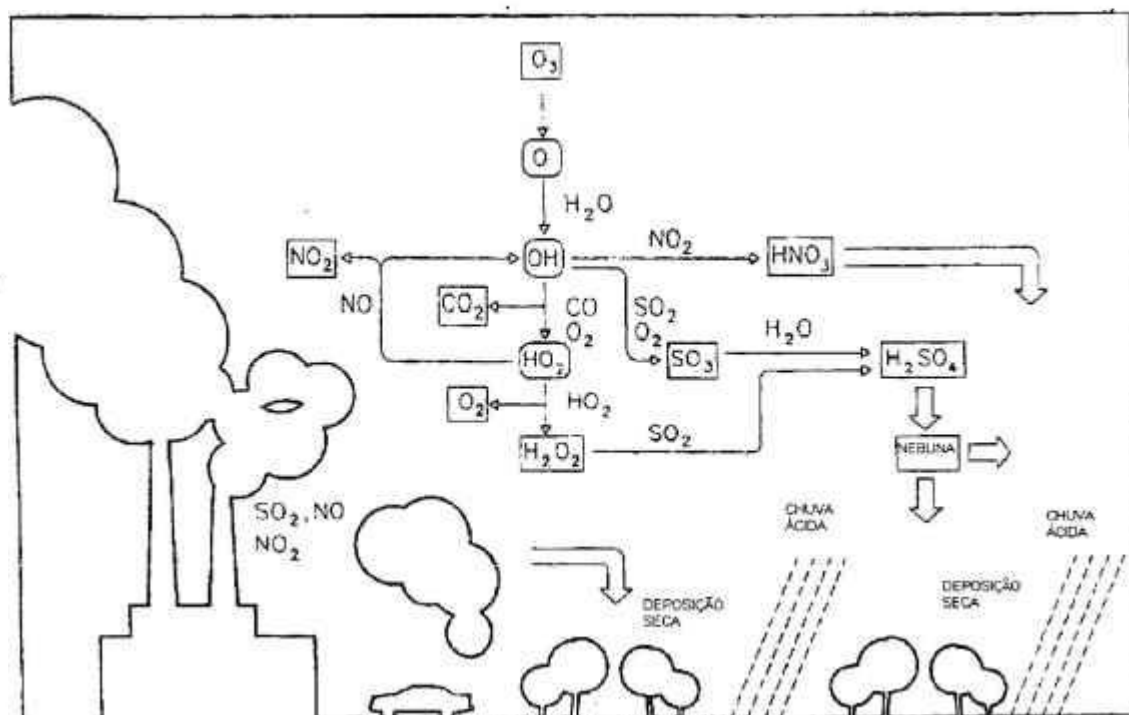


Figura 1. Esquema de formação de chuva ácida.^[5]

A distância do transporte de poluentes antes da precipitação ácida ocorrer, é da ordem de centenas ou milhares de quilômetros. Em muitos casos, os poluentes são depositados no território não do próprio país onde está localizada a sua fonte emissora, mas em outro. Conseqüentemente, esse é um problema global e passível de tratados internacionais^[5].

Por isso, estão sendo estabelecidos mundialmente limites de emissão mais rígidos.

1.9. *Resumo do problema no Brasil*

No Brasil, pela Resolução Conama número 008 de 06/12/90^[21], foram estabelecidos limites máximos de emissão de poluentes no ar, sendo especificado o do dióxido de enxofre. A resolução afetou fontes estacionárias que queimam óleo ou carvão, incineradores, usinas termoeletricas, etc. Em vista da legislação ambiental existente, é imprescindível o desenvolvimento de processos de dessulfurização de gases de combustão e num futuro próximo também de denitrificação, principalmente em atenção às diretrizes estabelecidas pela "Agenda 21", adotada no Rio de Janeiro em 1992, para a conservação do meio ambiente. Para demais informações, vide Capítulo 6.

1.10. *Resumo do problema na cidade de São Paulo e solução proposta*

A Usina Termoeletrica Piratininga está situada no centro urbano de São Paulo, cidade com sérios problemas de poluição atmosférica. A Usina está sob a fiscalização da CETESB, já que é a principal emissora de SO₂ nessa cidade quando operando a plena carga e por isso teve dificuldades para entrar em operação em 1986, a fim de atender as necessidades do Setor Elétrico^[13]. Esta situação está se repetindo atualmente e tende a se manter durante os próximos anos face à demanda energética das regiões sul e sudeste.

Os métodos convencionais de tratamento de gases não retiram simultaneamente os óxidos de enxofre e nitrogênio e produzem subprodutos de baixo ou nenhum valor comercial. Além disso, produzem grandes volumes de rejeito aquoso / pastoso.

O sistema proposto neste trabalho, tratamento de gases por feixe de elétrons, está sendo testado em vários países e oferece a vantagem de retirar com alta eficiência simultaneamente os óxidos de enxofre e nitrogênio em um processo seco: o subproduto é constituído de mistura de sulfato e nitrato de amônio que é utilizada como fertilizante^{[7],[8],[15]}.

1.11. Objetivos

Os objetivos deste estudo são:

- Analisar a viabilidade técnica e econômica da utilização do processo de feixe de elétrons para reduzir a poluição atmosférica decorrente da operação de uma unidade que gera 135 MW elétricos da Usina Termoelétrica Piratininga, ou seja 28% da atual instalação total da Usina (470 MW): a instalação para o processo de feixe de elétrons consumirá um total de 2,5 MW de potência, ou seja 1,85% da potência elétrica gerada pela unidade de 135 MW;
- Determinar a eficiência de remoção de SO_2 e NO_x para a queima de óleo combustível com até 3% de enxofre, utilizando os resultados do estudo técnico da planta de demonstração de 135MW elétricos;
- Verificar os resultados da formação de subprodutos utilizáveis gerados no processo que apresentem parcela de contribuição para a sociedade;
- Levantar os dados para estender esse processo para outras plantas que queimam óleo;
- Demonstrar a viabilidade deste processo aos demais usuários (além das usinas termoelétricas, siderúrgicas, indústrias químicas, indústrias de papel e celulose e incineradores).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Mecanismos de transformação de poluentes na atmosfera

Os mecanismos de transformação de poluentes na atmosfera são descritos sob o aspecto químico, pela química ambiental. Os processos são razoavelmente complexos, alguns deles não são muito claros, de modo que os esquemas de reações diferem de fonte para fonte. Os caminhos de reação dependem de diversas condições (p.exemplo, escuridão, aurora, umidade do ar ou presença de poeira ou gotículas de água, presença de outros poluentes). Existe uma similaridade bastante grande entre as reações que ocorrem na atmosfera e no gás irradiado, algumas delas são discutidas a seguir.

A fotoquímica desempenha papel importante no mecanismo do processo. Essas reações se referem a moléculas que absorvem luz de alta energia na faixa de 300-700 nm. A Tabela 5 abaixo mostra um esquema simplificado dessas reações.

Tabela 5. Reações fotoquímicas no ar atmosférico.^[5]

| | | |
|---|---|---------------|
| $A \xrightarrow{h\nu} A^*$ | $SO_2 \xrightarrow{<300nm} SO_2^*$ | Ativação |
| $A^* \longrightarrow A + h\nu$ | | Fluorescência |
| $A^* + M \longrightarrow A + M$ | | Desativação |
| $A^* \longrightarrow B + C$ | $NO_2 \xrightarrow{290-430\text{ nm}} NO^* + O^*$ | Dissociação |
| $A^* + B \longrightarrow C + \dots$ | $O_2 \xrightarrow{<242\text{ nm}} O^* + O^*$ | Reação direta |
| A,B,C : simbologia genérica para radicais | | |

Tabela 6. Caminhos de oxidação do dióxido de enxofre.^[5]

| Fase gasosa | Fase líquida(gotículas, nuvens, camada adsorvente) |
|--|--|
| Direto | Água pura |
| 1. $2SO_2 + O_2 \xrightarrow{h\nu} 2SO_3$ 2. reação em cadeia $SO_2 \xrightarrow{<300nm, h\nu} SO_2^{\cdot}$ $SO_2^{\cdot} + SO_2 \rightarrow SO_3 + SO$ $SO_2^{\cdot} + O_2 \rightarrow SO_3 + O$ $SO_2 + O \rightarrow SO_3$ $O_2 + O \rightarrow O_3$ $SO + O_2 \rightarrow SO_3$ fim | Reação em cadeia $SO_2 + H_2O \rightarrow SO_2 \cdot H_2O$ $SO_2 \cdot H_2O \rightarrow HSO_3^- + H^+$ $HSO_3^- \xrightarrow{h\nu} HSO_3$ $HSO_3 + O_2 \rightarrow HSO_5$ $HSO_5 + HSO_3^- \rightarrow HSO_3 + HSO_5^-$ $HSO_5^- + HSO_3^- \rightarrow 2 HSO_4^-$ $HSO_5 + HSO_3 \rightarrow fim$ |
| Radical | Catalisador(Mn ,Fe ,Cu) |
| $SO_2 + OH + M \rightarrow HOSO_2 + M$ $SO_2 + HO_2 \rightarrow OH + SO_2$ $SO_2 + RO_2 \rightarrow RO + SO_3$ | $xSO_2 + Mn^{2+} \rightarrow [Mn(SO_2)_x]^{2+}$ $HSO_3^- \xrightarrow{h\nu} HSO_3$ $HSO_5 + HSO_3 \rightarrow fim$ |

M,R : simbologia genérica para radicais

Conforme se vê na Tabela 6, a fotoxidação direta é insignificante no caso da conversão do SO₂ no ar: mais importante é a oxidação através de radicais formados fotoquimicamente.

A reação mais importante é aquela com radicais OH. O radical hidroxila é produzido através de diferentes reações fotoquímicas secundárias:



O radical HO₂ desempenha um papel importante no processo de oxidação do SO₂ e pode ser formado nas reações:



Na fase líquida, esse radical pode ser produzido por uma reação do tipo Fenton (íon metálico / H₂O₂).

A conversão do SO₂ dentro das gotículas d'água, p.ex. neblina, nuvem, neve ou camada d'água adsorvida, desempenha um papel muito mais importante que a previamente descrita reação "seca". A primeira etapa física é a dissolução do SO₂ em água. A solubilidade é dependente da temperatura e no equilíbrio depende da pressão parcial de SO₂.

A oxidação do SO₂ em solução de água é acelerada por um catalisador, por exemplo, magnésio, ferro, íons de cobre que estão sempre presentes em concentrações de traços.

Outro poluente, o NO emitido, é oxidado e transformado em ácido nítrico pelas reações mostradas na Tabela 7. A primeira reação é de pequena importância e o NO na atmosfera é principalmente oxidado pelo ozônio.

As reações listadas acima são mais complexas quando hidrocarbonetos ou diferentes poluentes estão presentes no ar. A presença de NO_x e hidrocarbonetos aumenta a oxidação do SO₂.

O principal problema discutido aqui, relacionado com atividades humanas, é a emissão compostos orgânicos voláteis na atmosfera. As principais fontes são: escapamento de veículos, vapores de petróleo, uso de solventes, processos industriais, refinação de óleos, aterros sanitários, manufatura de alimentos, combustão de combustíveis fósseis e resíduos de agricultura (biomassa). Essas emissões causam depleção do ozônio da estratosfera, formação fotoquímica de ozônio a nível do solo, efeitos tóxicos ou carcinogênicos à saúde humana, aumentam o efeito estufa global bem como sua persistência e acumulação no meio ambiente.

Tabela 7. Reações de transformação do NO.^[5]

| Oxidação | |
|---|----------------------------|
| $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow$ | NO_2 |
| $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow$ | $\text{NO}_2 + \text{O}_2$ |
| Dissociação | |
| $\text{NO}_2 \xrightarrow{-h\nu} \rightarrow$ | $\text{NO} + \text{O}$ |
| $\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow$ | $\text{O}_3 + \text{M}$ |
| $\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow$ | $\text{NO}_2 + \text{O}$ |
| Formação de ácido | |
| $\text{O}_3 + \text{NO}_2 \rightarrow$ | $\text{NO}_3 + \text{O}_2$ |
| $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 \rightarrow$ | N_2O_5 |
| $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ | 2HNO_3 |

Outro problema discutido recentemente é a combustão de lixo sólido municipal. A incineração desses resíduos leva à redução de peso e volume, destruição de alguns componentes e de compostos tóxicos de outros, destruição de componentes biodegradáveis que emitem metano para a atmosfera de maneira descontrolada, recuperação de energia de componentes orgânicos com poder calorífico adequado que leva à redução do consumo de combustíveis fósseis.

O problema que sofre controle da opinião pública é a identificação das dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos nas emissões dos incineradores. Essas emissões são observadas quando ocorre a combustão incompleta, no caso em que esses equipamentos são imprópriamente operados, por exemplo, operação a temperaturas excessivamente baixas (menores que 800°C) ou sobrecarga da instalação. Para maiores detalhes sobre reações observadas nesse processo, ver referência [5].

2.2. Processo de feixe de elétrons

São descritas a seguir as principais etapas da atuação sobre o gás pelo feixe de elétrons :

2.2.1. Interação entre os elétrons e o gás

Os elétrons rápidos têm uma faixa de penetração limitada na matéria mas são um bom agente de processamento de gases de baixa densidade (três ordens de magnitude menor que as densidades de líquidos ou sólidos). Durante o movimento dos elétrons através de um meio que consiste principalmente de núcleos leves, sua energia é dissipada principalmente através de interações com os elétrons orbitais. Esses são deslocados das suas posições originais e ocorre então ionização ou excitação. A energia média para a formação de um par de íons (ω) no material gasoso é em torno de 25 a 40eV. Os potenciais de ionização j dos gases são menores que os valores de ω e o restante de energia $\omega - j$ é utilizado para excitação. Para o ar ω é igual a 34eV, o potencial de ionização $j = 15\text{eV}$, de modo que $\omega - j = 19\text{eV}$. As diferenças para os componentes do ar não são muito grandes, $\omega = 34,9$, para o N_2 , 30,8 para o O_2 e 32,8 para o CO_2 . Desde que as energias de excitação por átomo são $\leq 5\text{ eV}$, vários átomos excitados são formados por cada par de íons. Ao longo do caminho dos elétrons, conforme se vê na Figura 2, são formadas moléculas excitadas e ionizadas e são liberados elétrons secundários. A faixa de penetração dos elétrons depende da sua energia isto é no ar para 1 MeV, é igual a 405 cm, para 3 MeV – 1400cm e para 10 MeV – 4200cm. A perda de energia específica é chamada potência de freamento s

$$s = \Delta E_{\text{perda}} / \Delta x \text{ [J/m]} \quad (3)$$

e é determinada pela composição atômica da matéria, sendo função da velocidade do elétron.

A ionização específica é definida por

$$J_e = dN_i / dx \text{ [pares de íons/m]} \quad (4)$$

$$s = \omega J_e \text{ [J/m]} \quad (5)$$

onde ω é a energia média por par de íon formado.

A energia transferida para componentes de massa unitária é denominada dose absorvida. A energia absorvida pode ser representada em eV/g ou nas unidades SI, Grey [J/g] ($1\text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-12}\text{ erg}$; a unidade original utilizada para dose absorvida era rad; $1\text{ eV/g} = 1,602 \cdot 10^{-14}\text{ rad}$; $1\text{ Gy} = 100\text{ rad}$). O número de eventos ou fenômenos que ocorrem como resultado de 100 eV de energia absorvida na matéria (átomos e moléculas produzidos ou oriundos de reações), é representado pelo valor G, ganho ou rendimento radiolítico. A maioria das reações têm valores $G < 10$.

No sistema SI a unidade de G é mol/J. O fator de conversão entre as 2 unidades é $1 \text{ mol/J} = 9,649 \cdot 10^6$ moléculas por 100eV.

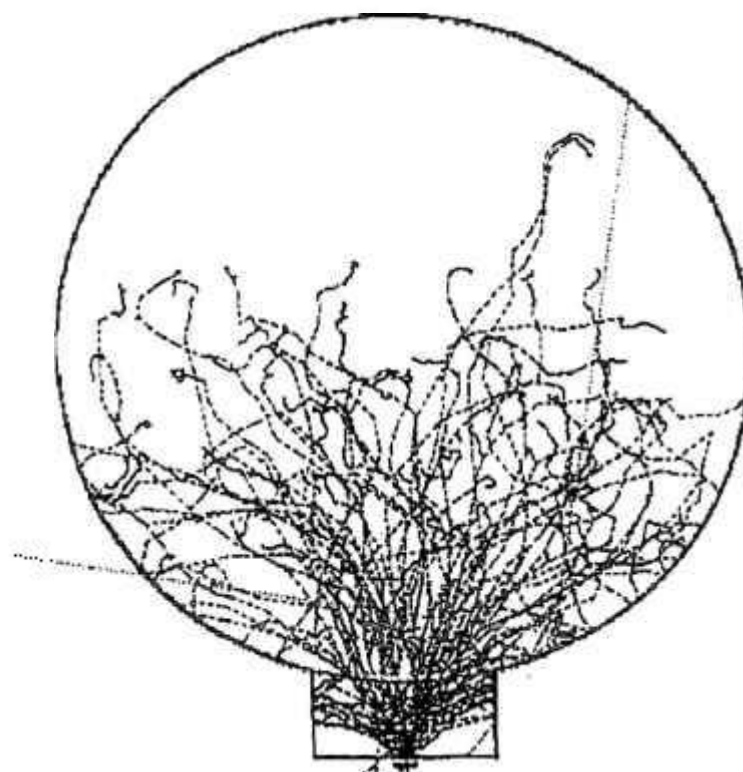
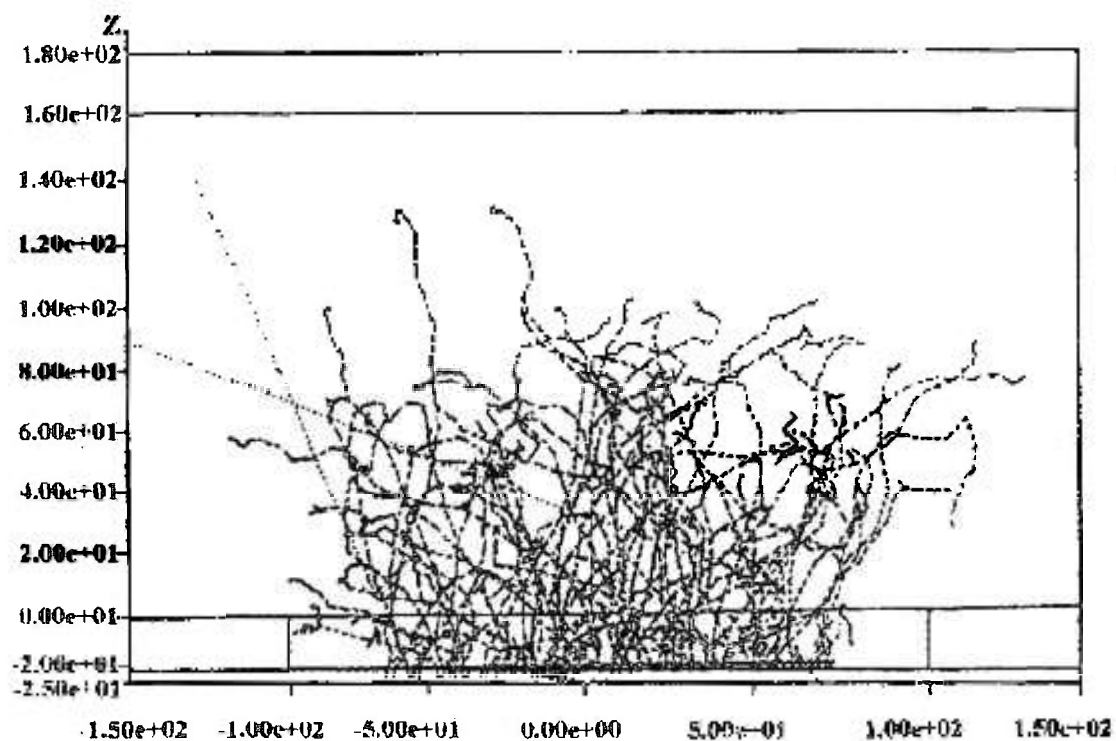


Figura 2. Trilhas dos elétrons num gás de combustão tratado (cálculos Monte Carlo para irradiação na planta piloto de EPS Kawęczyn).^[5]

Nota: A posição do vaso de processo está revertida 180° na Figura.

Na ausência de reações químicas, os íons se recombinaem, as espécies excitadas retornam aos seus estados fundamentais e a energia aparecerá como energia térmica (calor) que provocará aumento de temperatura. Sua medição deu origem a um método dosimétrico muito útil, frequentemente aplicado em pesquisa de sistemas de tratamento de gases.

Em casos raros, que têm pequena probabilidade por causa de pequenos diâmetros de núcleos e que são fortemente localizados (em comparação com os elétrons deslocados nos orbitais), o elétron pode interagir com campo eletromagnético de um núcleo que é conectado com emissão de quantum de energia ("Bremsstrahlung") ou colisão elástica. Essa última, devido à grande diferença entre massas, ocorre sem mudança de energia e o elétron apenas muda de direção. A primeira depende do número atômico e pode ser desprezada para átomos muito leves como no caso de misturas gasosas de componentes. No caso de processamento de misturas gasosas que é realizado num vaso de irradiação, alguns elétrons podem atingir as paredes metálicas do vaso. Essa é uma fonte de emissão "Bremsstrahlung" de baixa energia e o equipamento deve ser blindado.

Não há possibilidade de reações fotonucleares que possam induzir radioatividade em materiais, por fótons com energia abaixo de 10 MeV. Praticamente, no caso de aceleradores de tratamento de fluxo de gases, são aplicados feixe de elétrons com energia menor que 1 MeV, de modo que esses fenômenos não ocorrem. Aceleradores com energia do feixe de elétrons até 10 MeV são utilizados comercialmente para processamentos por radiação, esterilização e irradiação de alimentos.

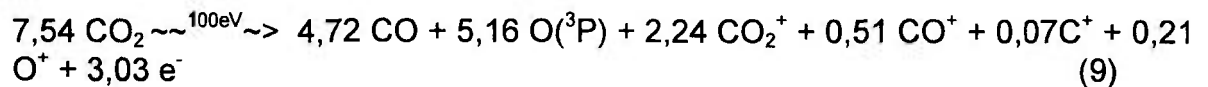
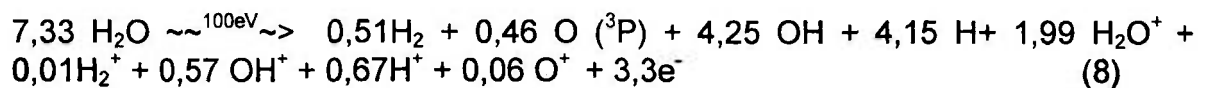
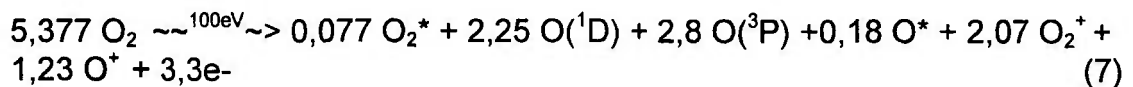
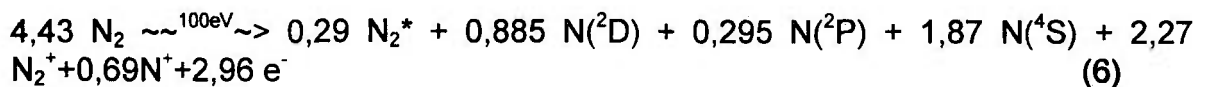
2.2.2. Radiólise de gases

A energia dos elétrons é absorvida pelos componentes da mistura gasosa proporcionalmente à sua fração em massa. No caso do ar ou de fluxo de gases, existe uma matriz constituída de nitrogênio, oxigênio, água e dióxido de carbono. No caso da irradiação por feixe de elétrons, somente 6% ou menos da energia absorvida é dissipada em excitação vibracional das moléculas. A maioria dela é consumida em dissociação e ionização de moléculas, ilustrada pelos dados fornecidos na Tabela 8. A dependência dos modos de dissipação de energia com o campo elétrico (energia dos elétrons primários), no ar seco é apresentada na Figura 3. Como pode ser observado das curvas para baixos campos elétricos (por exemplo, descargas elétricas), o incremento de energia é consumido predominantemente pela excitação vibracional do N₂. Essas informações são importantes para a seleção de métodos econômicos para o processamento de gás: através das curvas da Figura 3 pode-se determinar a potência ideal para o processo em função das curvas de energia absorvidas pelas moléculas do gás.

Tabela 8. Dissipação de energia no plasma produzido pela irradiação por feixe de elétrons de ar seco (80% N₂ + 20% O₂).^[5]

| Processo | Dissipação de energia (% de incremento de potência) |
|---|---|
| N ₂ vibracional | 5,3 |
| N ₂ (A ³ Σ _u ⁺) | 1,1 |
| N ₂ (B ³ Π _g) | 1,8 |
| N ₂ dissociação | 24,0 |
| N ₂ ionização dissociativa | 13,9 |
| N ₂ ionização molecular | 28,3 |
| O ₂ vibracional | 0,6 |
| O ₂ (a ¹ Δ _g) | 0,7 |
| O ₂ dissociação | 8,3 |
| O ₂ ionização dissociativa | 2,9 |
| O ₂ ionização molecular | 2,8 |
| Outros | 10,3 |

As reações radiolíticas de espécies primárias reativas são dadas na literatura^[5] :



Os valores de G para as reações apresentadas nas equações (6-9) são 6 ± 2 que correspondem à radiólise de 25 ± 10 ppm de moléculas de gás por kGy de energia absorvida .

Algumas das moléculas excitadas reagem rapidamente com as moléculas já existentes produzindo dissociação adicional. Por exemplo, átomos excitados de oxigênio O(¹D) reagem rapidamente com H₂O para formar radicais OH adicionais.

Íons reagem com H_2O para decompô-lo através de transferência de carga



Elétrons reagem principalmente com O_2 para produzir O_2^- ou seus íons difusos M ("cluster ions").



Esses íons neutralizam-se para formar HO_2



Consequentemente, um par de íons produz um radical OH e um HO_2 .

Os radicais produzidos inicialmente através de processos diretos de decomposição iônica são OH, N, H_2O , O e H.

Esses radicais reagem com o NO e o SO_2 que são bons radicais vasculhadores ("scavengers").

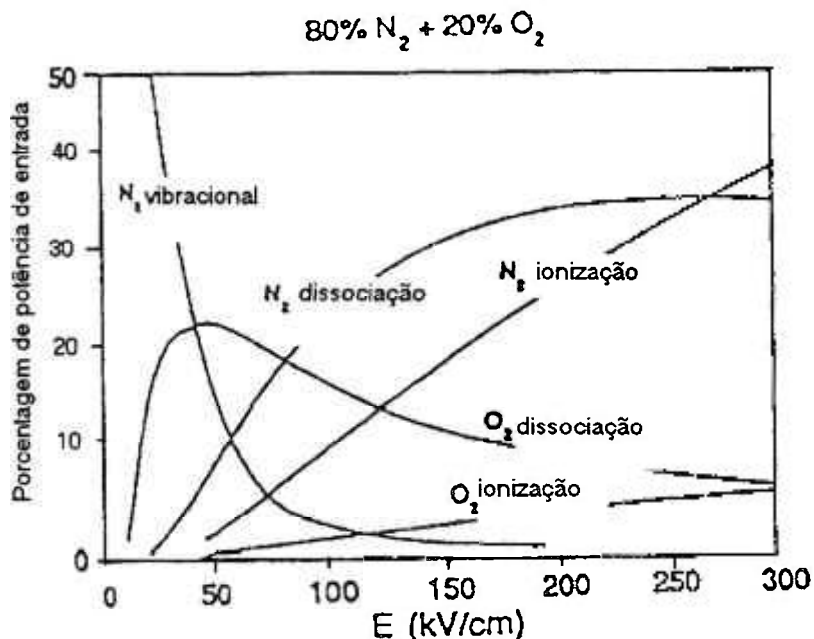


Figura 3. Dissipação de energia numa descarga de ar seco, mostrando a porcentagem de potência de entrada consumida em processos com impacto de elétrons levando a excitação vibracional, dissociação e ionização de N_2 e O_2 .^[5]

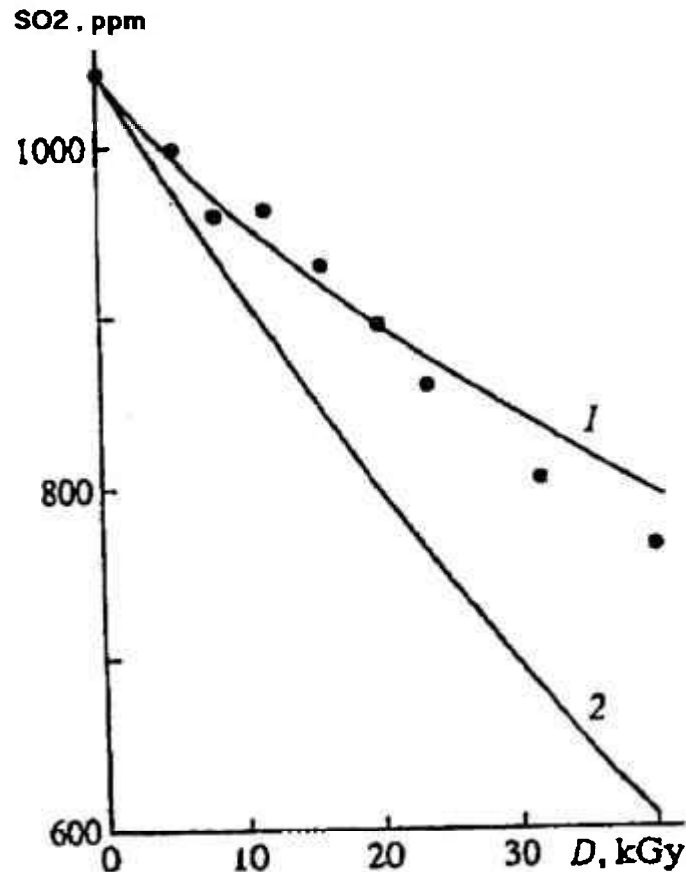


Figura 4. Dependência de dose com a concentração de SO_2 sobre a oxidação em fase gasosa do SO_2 como calculada de acordo com o esquema cinético (1) e (2). Os pontos experimentais são de TOKUNAGA, O;SUZUKI, N.: Radiation Chemical reactions on NO_x and SO_2 removals from flue gas. *Radiat. Phys.Chem.*, v.24, n.1,p. 146-165, 1984.^[5]

2.2.3. Reações de remoção dos óxidos de nitrogênio

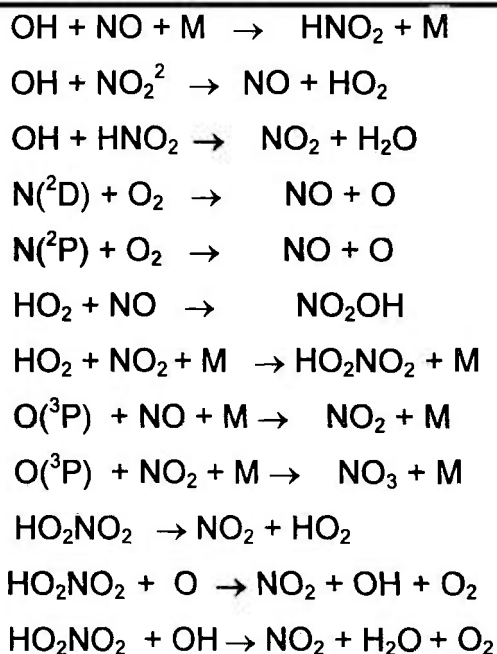
No capítulo Introdução, descrevemos diferentes fontes emissoras de óxidos de nitrogênio. A maior quantidade desses óxidos é emitida por usinas térmicas que queimam carvão. Nesse caso, 95% dos óxidos são monóxidos (NO) e NO_2 o restante. NO é insolúvel, pouco reativo. Em consequência na maioria dos casos é necessário oxidá-lo a NO_2 antes da remoção ou redução a nitrogênio gasoso, como no caso da reação catalítica seletiva (SCR - eq. 54a, capítulo 5).

No caso do tratamento por feixe de elétrons, o caminho de remoção mais efetivo é conforme abaixo:



As outras reações possíveis são dadas na Tabela 9 e discutidas por Busi F.et. al. ^[5].

Tabela 9. Reações de transformação do NO induzidas por radiação. ^[5]



2.2.4. Reações de remoção do dióxido de enxofre

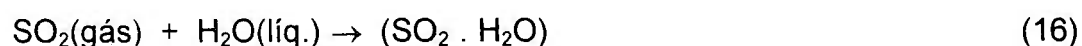
A remoção do SO_2 ocorre por dois modos diferentes: oxidação termoquímica e reação induzida por radiação.

A oxidação do SO_2 na fase gasosa é possível através de fotoxidação direta ou oxidação através de componentes formados (isto é, radicais). Mesmo na

ausência de luz, o SO₂ no ar é oxidado na presença de vários óxidos metálicos (alumínio, cálcio e ferro).

No entanto, a conversão do SO₂ dentro das gotículas líquidas, orvalho e em superfícies de partículas sólidas é de especial significado para a oxidação do SO₂. Essa é uma oxidação heterogênea. O processo é baseado em ab(ad)sorção em duas etapas e oxidação química.

A solução de SO₂ em água depende da pressão parcial e da solubilidade que é dependente da temperatura:

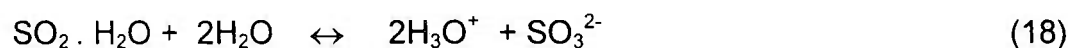


Dependendo do valor do pH da água, o hidrato de SO₂ dissocia-se em sulfito de hidrogênio (HSO₃⁻) num meio ácido ou em sulfito (SO₃²⁻) num meio alcalino. São emitidos prótons (H⁺), que estão presentes na água como íons hidrônio (H₃O⁺):

Num meio levemente ácido:



Num meio alcalino :



Para pequenas gotículas e valores de pH abaixo de 6, o equilíbrio entre o SO₂ na fase gasosa e o sulfito de hidrogênio ou hidrato na fase líquida é rapidamente atingido. Com o decréscimo dos valores de pH isso muda a favor da fase gasosa. O fator determinante da transformação do SO₂ é o estágio de oxidação e não a absorção de SO₂ em água.

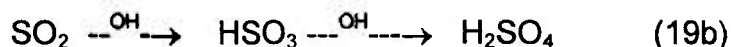
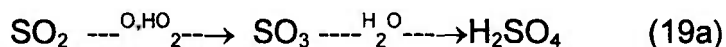
O processo de oxidação do SO₂ em gotículas depende de muitos fatores diferentes e não é plenamente conhecido. A oxidação do SO₂ pelo O₂ pode ser acelerada no ar poluído por catalisadores, particularmente por íons de ferro e magnésio.

No caso do tratamento por feixe de elétrons, as reações dos radicais levam à oxidação do SO₂ e elas são listadas na Tabela 10.

Tabela 10. Reações dos principais radicais concernentes à transformação do SO_2 ^[5].

| |
|--|
| $\text{OH} + \text{SO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HSO}_3 + \text{M}$ |
| $\text{OH} + \text{HSO}_3 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{HO}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{OH}$ |
| $\text{OH} + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{HSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{HSO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ |
| $\text{SO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HOSO}_2$ |
| $\text{HOSO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ |
| $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ |

O mecanismo de oxidação do SO_2 é simples e pode ser representado pela seguinte seqüência:



A reação com radicais OH desempenha o papel mais importante na transformação do SO_2 . O equilíbrio da primeira reação (com OH) depende da temperatura, pressão e conteúdo de vapor d'água.

A oxidação da fase gasosa do SO_2 é apresentada na Figura 4 (acima) onde os dados experimentais obtidos por Tokunaga e Suzuki são comparados com os cálculos do modelo apresentado por Gerasimov et al^[5].

Foram obtidos resultados similares por Nichipor et al.^[5] e são apresentados dados para diferentes concentrações iniciais na Figura 5.

Foi observado também um sensível aumento na eficiência do processo no ar úmido ou com gotículas d'água. O decréscimo da umidade absoluta inicial de 7 para 2% causa um aumento na energia de oxidação de 2 para 15 eV/molécula.

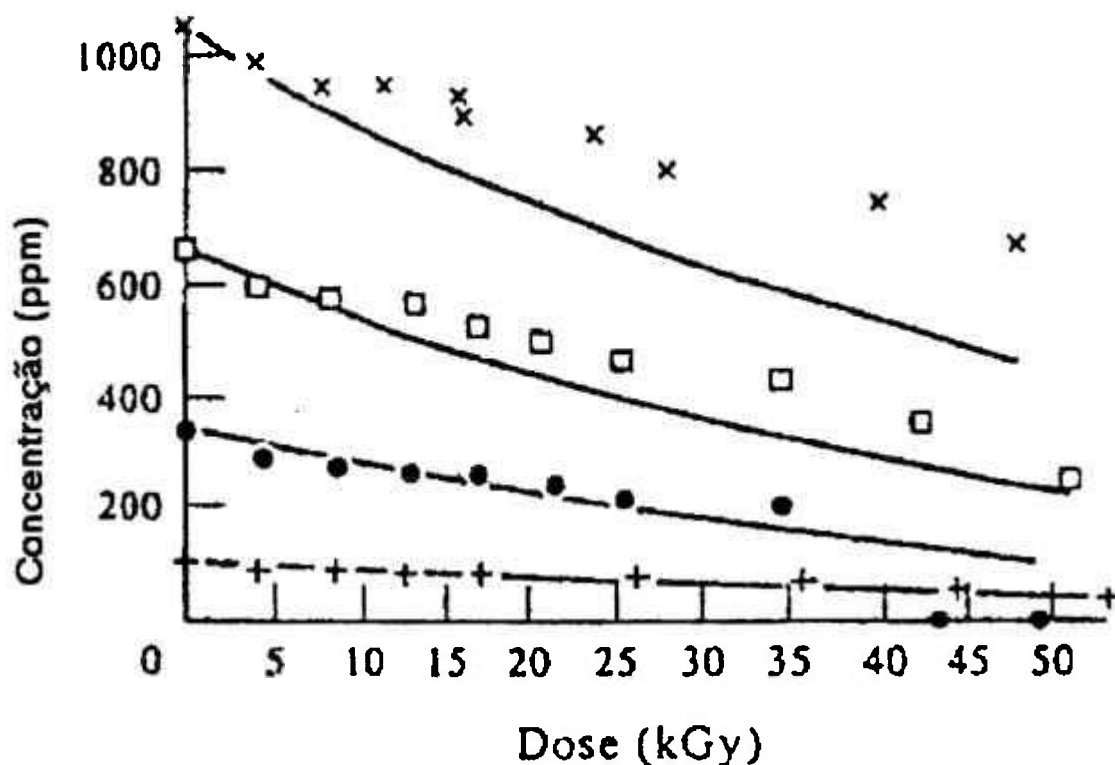


Figura 5. Curvas de dose vs. concentração para diferentes concentrações iniciais de SO_2 ^[5].

No caso do "spray" de gotículas d'água presente na região de irradiação, a reação em cadeia observada na fase líquida leva a uma significativa redução no consumo de energia para remoção do SO_2 num fluxo de ar heterofásico. Primeiro, isto é relacionado com um mecanismo bem conhecido da química ambiental, uma cadeia de fase líquida e segundo com uma cadeia especialmente proposta de oxidação iônica numa nuvem ("cluster"). Esse fenômeno é discutido por Baranchicov et al.^[5].

2.2.5. Reações do NO_x e SO_2 com amônia

Devem ser consideradas reações adicionais na presença de amônia. No caso do NO , as reações dos radicais estão listadas na Tabela 11. O processo de oxidação leva à formação de nitrato de amônio, o NO é parcialmente reduzido através de reação com o radical nitrogênio no estado fundamental(^4S) ou o radical NH_2 a nitrogênio elementar e em uma menor porção, a monóxido de dinitrogênio^[5].

Tabela 11. Reações de radicais em presença de amônia^[5].

| | | |
|-----------------|---------------|---------------|
| $N(^2D) + NH_3$ | \rightarrow | $NH + NH_2$ |
| $N(^1P) + NH_3$ | \rightarrow | $NH + NH_2$ |
| $NH_2 + NO$ | \rightarrow | $N_2 + H_2O$ |
| $NH_2 + NO_2$ | \rightarrow | $N_2O + H_2O$ |
| $NH_2 + NO$ | \rightarrow | $N_2H + OH$ |
| $NH + NO$ | \rightarrow | $N_2 + OH$ |
| $NH + NO_2$ | \rightarrow | $N_2O + OH$ |

O SO_2 é convertido em ácido sulfúrico que reage com amônia para formar sulfato de amônio. As reações do NO_x e SO_2 são apresentadas na Figura 6.

Deve ser notado que o SO_2 , ao lado das reações com radicais, é removido via uma reação termoquímica. O mecanismo da segunda reação não é inteiramente conhecido, algumas diferenças foram constatadas por diferentes pesquisadores.

De acordo com as observações da química ambiental^[5], a presença de amônia no ar poluído por SO_2 , não leva à formação de partículas. Mas foi observado que as partículas aéreas fofolíticas, enriquecidas no SO_2 , são de maior tamanho quando é adicionado o NH_3 . O SO_2 dissolvido nas gotículas d'água da atmosfera, forma H_2SO_3 que então é oxidado pelo oxigênio dissolvido nas gotículas a ácido sulfúrico.

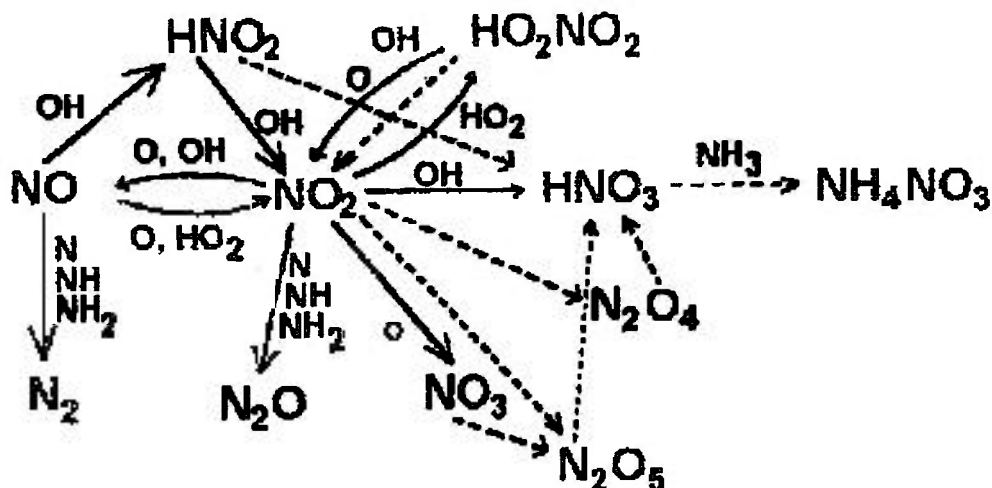
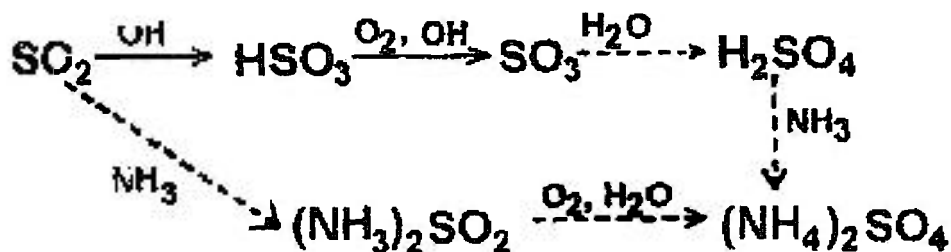
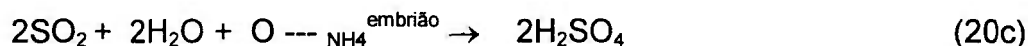
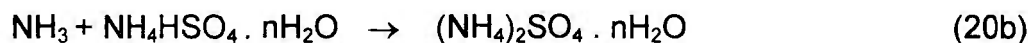
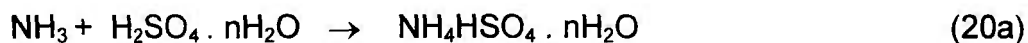
Remoção de NO_x Remoção de SO_2 

Figura 6. Esquema simplificado dos caminhos de remoção de SO_2 e NO_x por feixe de elétrons na presença de amônia^[5].

A ação oxidante diminui na proporção do aumento da acidez. Os embriões são formados:



Os produtos das primeiras duas reações são embriões salinos, um meio resultante na oxidação catalítica do SO_2 . O desenvolvimento das partículas continua à medida que o NH_3 é fixado e é capaz de neutralizar o ácido formado pela oxidação catalítica enquanto o SO_2 é fixado pela partícula.

Quando um feixe de elétrons é aplicado, a oxidação do SO_2 é muito mais rápida devido às reações com radicais discutidas anteriormente. O SO_3 formado condensa na presença de vapor d'água mesmo a altas temperaturas. A dependência do ponto de orvalho do ácido sulfúrico na concentração de SO_3 e H_2O é apresentada na Figura 7. Na presença de amônia, as reações do tipo ilustrado pelas equações (20 a-c) desempenham um papel muito importante na eficiência da remoção global de SO_2 .

A reação da amônia com SO_2 foi estudada por diversos pesquisadores em experiências de laboratório. O papel do vapor d'água foi comprovado^[5], como pode ser notado dos dados apresentados na Figura 8 a reação praticamente pára a temperaturas abaixo do ponto de orvalho. Foi também observado o papel positivo na eficiência de remoção, do aumento da concentração de oxigênio e de óxidos de nitrogênio^[5]. No entanto, foram estudadas nessas investigações misturas de gás contendo puro SO_2 e a temperatura do ponto de orvalho é característica para um dado conteúdo de vapor d'água. Isso representa uma simplificação, porque nos gases de uma usina térmica o SO_3 está quase sempre presente.

A temperatura de ponto de orvalho é igualmente alta (Figura 7): assim a condensação de ácido sulfúrico ocorre e as reações heterogêneas/catalíticas discutidas anteriormente também ocorrem.

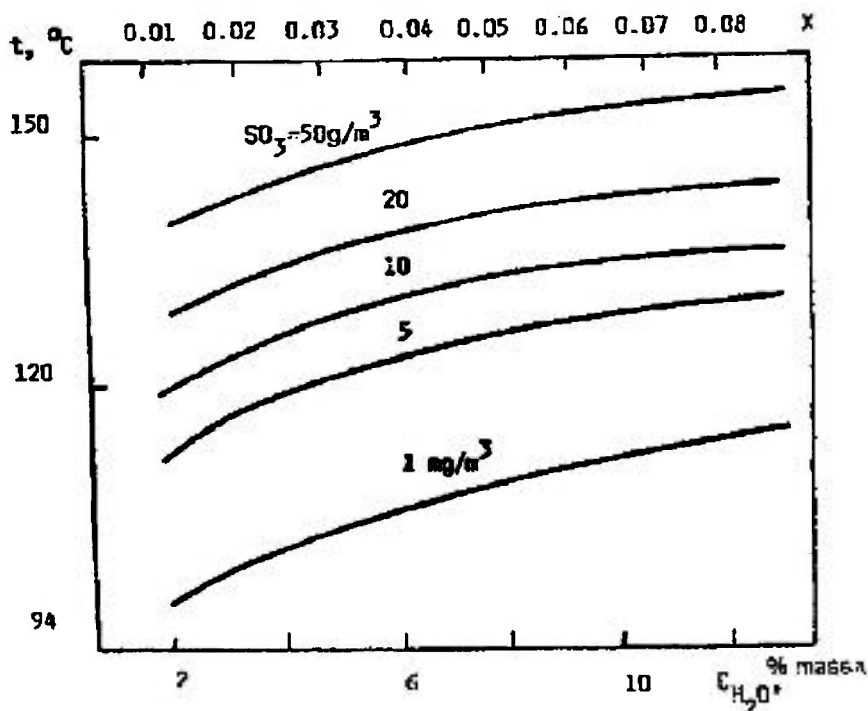


Figura 7. Ponto de orvalho do ácido sulfúrico como função da concentração de SO_3 e da umidade^[5].

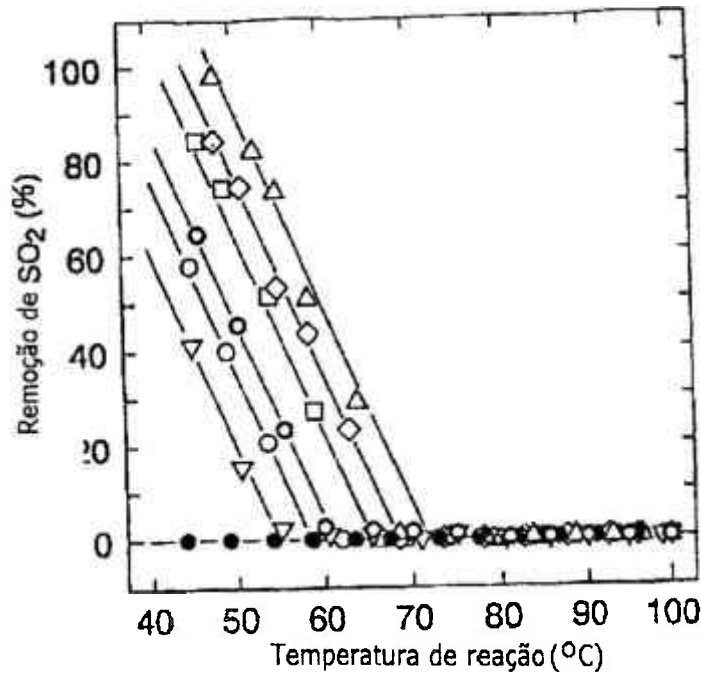


Figura 8. Dependência da temperatura da reação de SO_2 com amônia (gases simulados). Concentração inicial com água : 0% (\bullet), 3% (∇), 5% (\circ), 7% (\odot), 10% (\square), 15% (\diamond), 20% (Δ). Concentrações iniciais : SO_2 (600 ppm), NH_3 (1200 ppm), NO (225 ppm), O_2 (10 %) e N_2 (balanço) ^[5].

A dependência da temperatura da reação termoquímica nas reais condições de queima de carvão na usina térmica , é apresentada na Figura 9.

A reação é irreversível e é de primeira ordem com respeito ao SO_2 e ao NH_3 :

$$d[\text{SO}_2]/dt = -k_t[\text{SO}_2] [\text{NH}_3] \quad (21)$$

O estágio de razão- limite é a reação $\text{NH}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{NH}_3 \cdot \text{SO}_2$ tendo uma constante $k_t = 7,3 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^3/\text{s}$ a 23°C . Reações adicionais levam à condensação e a oxidação do produto ocorre antes rapidamente. A dependência com a temperatura da constante de reação pode ser apresentada pela equação:^[5]

$$k_t = 4,55 \cdot 10^{-29} \exp (9000/T) \quad (22)$$

O entendimento do mecanismo físico-químico do processo permite a otimização do processo de remoção para se atingir a mais alta eficiência de SO_2 com o menor consumo de energia do feixe.

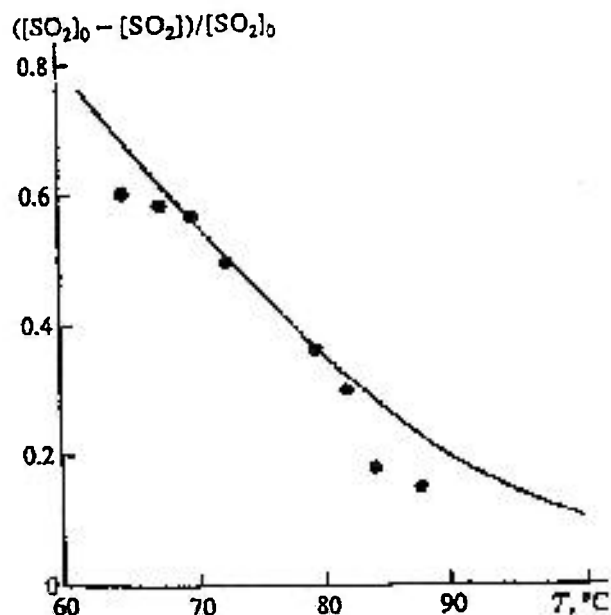


Figura 9. Dependência da reação termoquímica para gases de combustão reais (usina termoeletrica a carvão)^[5].

2.2.6. Reações com outros agentes neutralizantes

Os ácidos sulfúrico e nítrico formados durante o tratamento do fluxo de gases facilmente reagem com agentes neutralizantes de amônia, além de outros produtos. Podem ser utilizados $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH ou NaOH . Sulfatos e nitratos são os produtos dessas reações. Foram realizados testes com o uso desses reagentes que serão discutidos adiante.

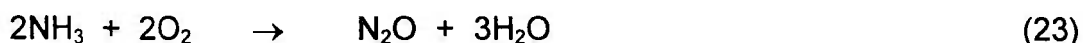
2.2.7. Formação de N_2O

O óxido nítrico (N_2O) ocorre na troposfera com uma concentração de fundo de cerca de 300ppb e medidas executadas nas últimas duas décadas

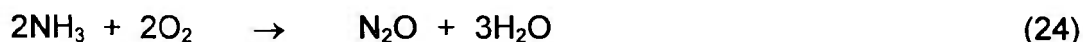
mostraram que a sua concentração vem subindo numa taxa de cerca de 0,2-0,4% por ano. As moléculas, sendo quimicamente estáveis na troposfera (com tempo de vida de aproximadamente 150 anos) se transportadas à estratosfera, sofrem conversão a NO que subseqüentemente reage com o O₃. Assim um aumento na emissão de N₂O é seguido por uma depleção adicional de O₃ na estratosfera.

Estima-se que as fontes antropogênicas incluindo a denitrificação de fertilizantes químicos e a combustão de combustíveis fósseis, sejam responsáveis por um terço do N₂O total produzido. O óxido nitroso também é emitido de diferentes processos tecnológicos, por exemplo, das tecnologias de-NO_x. Nesses processos que utilizam o NH₃ para redução do óxido de nitrogênio, são observadas as seguintes reações secundárias indesejáveis:

(a) Para a redução catalítica seletiva(SCR):



(b) Para redução seletiva não catalítica (SNCR):



(c) Para tratamento de gases por feixe de elétrons:



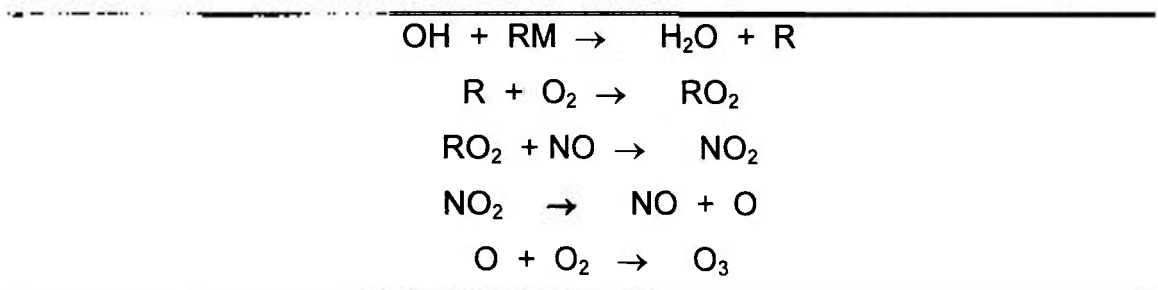
No caso do sistema SNCR (especialmente os baseados em uréia), a decomposição da amônia resulta na emissão de N₂O, 10-15% dos óxidos de nitrogênio processados. Se um sistema SNCR reduz reduz as emissões de NO_x em 50%, a redução líquida de NO_x, considerando a emissão de N₂O é de apenas 35-40%. O sistema SCR converte menos de 1% do NO_x em N₂O^[5], mas essa quantidade aumenta se a atividade do catalisador decresce durante o tempo de operação. Um novo problema surge quando é introduzida a combustão em leito fluidizado de carvão. Nesse processo é observada uma concentração muito maior de N₂O nos gases de queima, em comparação processo convencional de combustão^[5]. Observa-se emissão do N₂O no processo por feixe de elétrons que resulta em até 10% da redução de NO_x no caso de processo de irradiação de um

estágio. Essa foi uma das tarefas no estudo de otimização da planta piloto de Kawęczyn na Polônia^[5]. No entanto, o pesquisador deve ser muito cuidadoso nas amostras e análises do gás de combustão. Pode ser formada uma quantidade significativa de N₂O dentro do recipiente de amostra, na presença simultânea de NO_x, SO₂ e umidade. O método da análise de N₂O é dado na referência [5].

2.2.8.Redução de compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (VOC) são substâncias tóxicas que afetam em sua maioria, o homem ou o meio ambiente, como precursor do ozônio ou diretamente . O ozônio é formado como produto da reação do VOC com NO_x. As reações que levam à formação do ozônio, são dadas na Tabela 9. O VOC reage na troposfera com os radicais hidroxila formando radicais orgânicos que, através da reação com oxigênio, formam radicais peróxido oxidando o NO. O ozônio é formado como resultado de reações fotoquimicamente induzidas do NO₂ com o oxigênio.

Tabela 12. Formação de ozônio na troposfera ^[5]

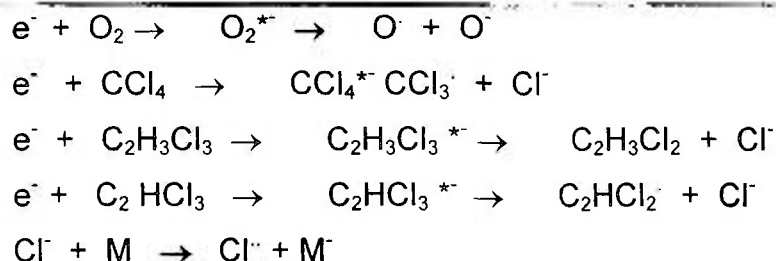


Diferentes processos foram introduzidos para eliminação do VOC dos gases industriais: adsorção, combustão térmica catalítica e não catalítica, biofiltração, etc. A combustão térmica para baixas concentrações de VOC não é muito econômica porque todo fluxo de gás deve ser aquecido.

A aplicação do feixe de elétrons para a destruição do VOC tem a vantagem devida ao fato de que a energia é dirigida preferencialmente às moléculas poluentes que agem como vasculhadoras (“scavengers”) dos radicais formados. O gás portador é levemente aquecido. Um elétron rápido cria até 3000 elétrons secundários que se termalizam rapidamente a espécies neutras de energia 0,025 – 1eV.

O mecanismo de transferência de energia no exemplo da destruição dos compostos clororgânicos é dado na Tabela 13.

Tabela 13. Mecanismo do tratamento de compostos cloroorgânicos, onde * indica espécies ativadas e instáveis e M é qualquer espécie no reator. [5]



O oxigênio e os radicais de cloro reagem com outras moléculas de VOC. Mesmo a concentração de compostos orgânicos halogenados sendo baixa se comparada com o nitrogênio ou o oxigênio, a ligação com os elétrons termalizados a eles é muito mais provável.

O radical OH desempenha um importante papel no caso da degradação de hidrocarbonetos [5].



As reações de radicais OH com hidrocarbonetos aromáticos ocorrem via adição de radicais OH ao anel aromático (a temperaturas abaixo de 320 °K). Duas possíveis cadeias de reação, nominalmente a abstração do hidrogênio e a oxidação podem ser consideradas para reações dos radicais intermediários com oxigênio. A reação de oxidação pode dar uma quebra no anel, que leva à produção de vários compostos orgânicos através de reações com NO e/ou oxigênio. Os produtos predominantes das reações de abertura de cadeias são simples aldeídos sob condições de reações troposféricas. Essas reações de abertura são de menor importância comparadas com a formação de aerossóis. A formação de aerossóis procede via retenção da estrutura aromática que é favorável do ponto de vista energético. Essas cadeias podem ser uma combinação de oxidação e de reações de substituição que podem conduzir a xilenos, toluenos e benzenos substituídos de baixa pressão de vapor. Paralelamente a essas reações, pode surgir coagulação das moléculas para a produção de partículas poliméricas. Não são possíveis reações comparáveis com hidrocarbonetos alifáticos como o butilacetato, uma vez que hidrocarbonetos aromáticos como o xileno são muito mais favoráveis à formação de aerossóis sob tratamento com feixe de elétrons [5].

O plasma gerado por elétrons é utilizado para decompor diferentes hidrocarbonetos clorados. Os componentes com mais moléculas de cloro são mais facilmente decompostos.

A seção de choque de captura de elétrons é a medida de quão prontamente a molécula captura um elétron secundário lento. As moléculas que têm elementos eletronegativos como cloro ou flúor são mais propensas a se ligarem a elétrons livres e essas moléculas têm altas seções de choque para a captura de elétrons. Consequentemente, suas constantes para as reações de dissociação são mais altas.

Por exemplo, o CCl_4 que tem quatro átomos de cloro por um átomo de carbono, tem a seção de choque de captura de elétrons mais alta entre todas as moléculas cloradas. Consequentemente, sua constante de dissociação para a ligação com elétron é alta e como resultado, a molécula se decomporá mais facilmente no plasma do que um VOC com um mecanismo similar de decomposição mas com uma seção de choque de captura de elétrons inferior.

A eficiência de energia para o CCl_4 é grande com a temperatura do gás no mínimo até $300\text{ }^\circ\text{C}$.

O mecanismo do processo é discutido por Vitale et al ^[5]. As reações em cadeia também podem desempenhar um papel na decomposição dos VOC (por exemplo o tricloroetileno (TCE)). Os mecanismos da maioria das reações ainda não são muito conhecidos. No caso dos compostos discutidos em Vitale et al ^[5], a decomposição dos primeiros compostos de tolueno e freon 13, o grupo de saída é um hidrogênio do grupo metil e no segundo caso, o grupo de saída é possivelmente um átomo de cloro.

As energias de ligação desses compostos estão listadas no artigo publicado por Vitale et al ^[5]. A destruição dependente da dose do tolueno e do freon 13 é dada na Figura 10 e as energias requeridas para diferentes compostos são dadas na Figura 11.

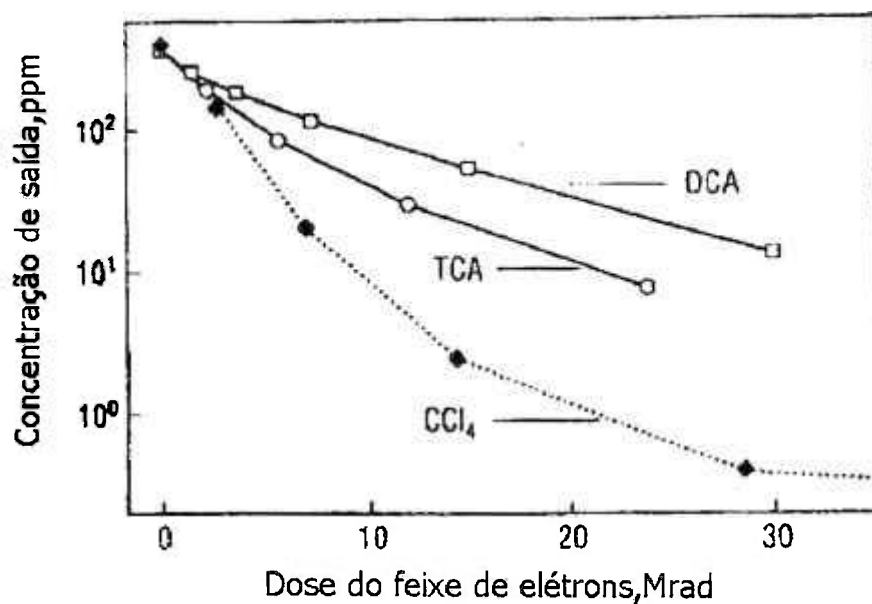


Figura 10. Energia necessária para destruição de diferentes compostos orgânicos^[5].

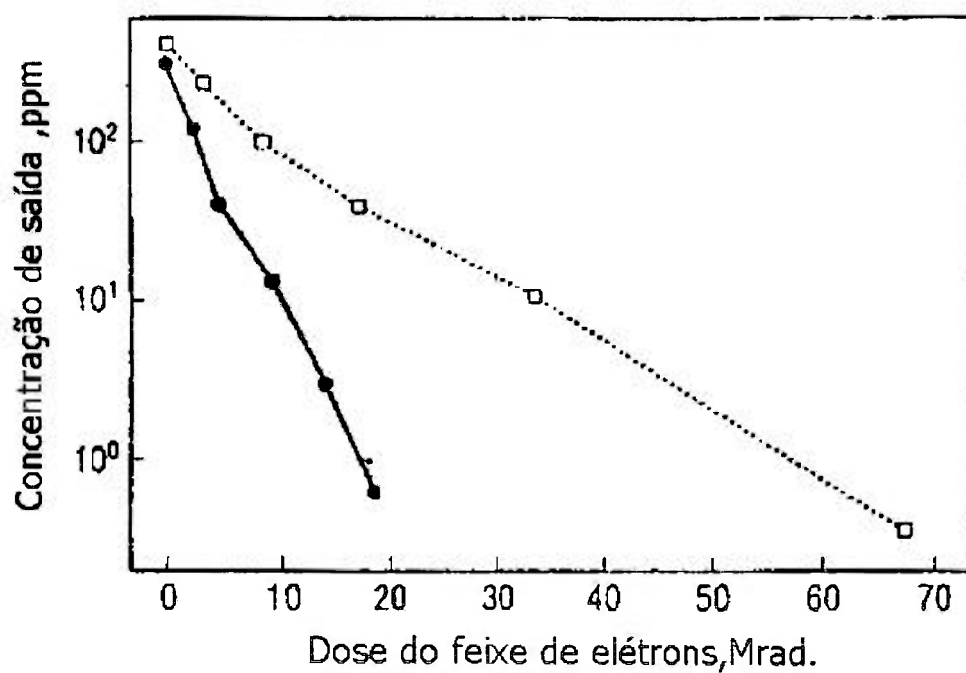
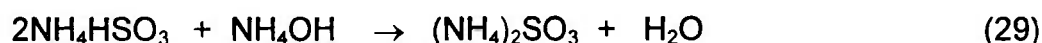
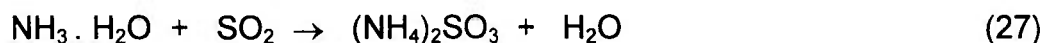


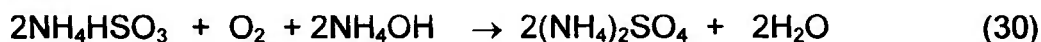
Figura 11. Dependência da destruição do tolueno e do freon 13 com a dose^[5].

2.2.9. Processos de dessulfurização por amônia líquida

A absorção de SO₂ em amônia é utilizada também para dessulfurização dos gases de combustão. O princípio da reação é :



A reação é reversível em temperaturas entre 80 e 120°C, o SO₂ pode ser concentrado e o licor retornado à recirculação. Eventualmente, num processo não regenerativo, o sulfito de amônio é oxidado para sulfato de amônio:



O processo foi aplicado para uma planta de dessulfurização do gás do processo de precipitação utilizando água com amônia da planta de produção de coque (NKK Keihin, Japão).

O processo também foi aplicado pela Walther Co. na Usina Termoelétrica HKW em Karlsruhe^[5], Alemanha.

Os problemas concernentes à emissão de aerossóis foram resolvidos pela Krupp Koppers que opera uma instalação de 750000 Nm³/h em Grosskraftwerk, Manheim^[5]. A General Electric introduziu o processo nos EUA.^[5] O processo SCR utiliza o mesmo reagente que é utilizado para remoção de NO_x no processo Krupp. O sulfato de amônio é recristalizado do licor de absorção e é vendido como fertilizante. A solução de sulfato de amônio 30-40 % em peso, retirada do processo de lavagem pode ser diretamente aplicado como fertilizante de nitrogênio líquido.^[5]

Há uma grande similaridade entre esse subproduto e aquele originário do tratamento de gases por feixe de elétrons. Neste último caso, o subproduto é enriquecido com nitrato de amônio.

O custo do sulfato de amônio granular (preço FOB) nos EUA é de US\$ 114/t na região sudeste e US\$ 146/t na região dos Grandes Lagos (1994). O preço de exportação do sulfato de amônio padrão (FOB no Golfo) é cerca de US\$ 52/t^[5].

Uma vantagem adicional é que o conteúdo de metais pesados analisado para sulfato de amônio obtido na planta de dessulfurização da Usina Termoelétrica HKW-oeste na Alemanha, foi em ppm ^[5] :

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| Cd | Cr | Cu | Hg | Ni | Pb | Zn |
| 0,61 | 5,21 | 3,27 | 0,67 | 3,99 | 12,5 | 32,1 |

muito abaixo do conteúdo máximo permissível:

| | | | | | | |
|----|-----|-----|----|-----|-----|------|
| 20 | 670 | 670 | 10 | 335 | 670 | 2000 |
|----|-----|-----|----|-----|-----|------|

e muito menor do que o conteúdo do fertilizante comercial NPK disponível:

| | | | | | | |
|-----|--------|----|-----|-----|------|----------|
| 4-9 | 80-110 | 20 | 0,5 | <40 | <100 | <210-240 |
|-----|--------|----|-----|-----|------|----------|

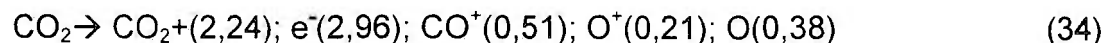
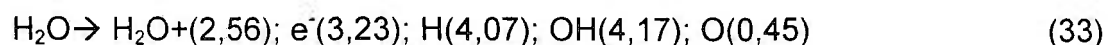
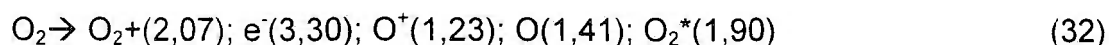
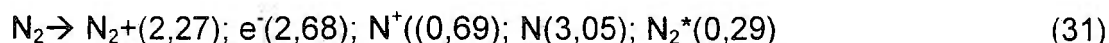
A solução líquida de sulfato de amônio usada como fertilizante contém 40% do sal, resultando em uma concentração de enxofre de 9,7% e de nitrogênio de 8,5%. Conseqüentemente, o sulfato de amônio pode ser incorporado em qualquer fertilizante de uréia e nitrato de amônio para dar uma razão agronomicamente desejada de enxofre/nitrogênio ^[5] .

2.2.10. Princípio do processo de feixe de elétrons

Quando este processo é usado para tratamento de gases de combustão provenientes da queima de combustíveis fósseis, inicialmente a cinza é retida por um precipitador eletrostático ou filtro de manga. A seguir, o gás passa através de um trocador de calor onde é reduzida a temperatura do gás, enquanto é aumentada a sua umidade pela injeção de água. O gás então passa pelo acelerador de elétrons onde é irradiado por feixe de elétrons de alta energia na presença de quantidades quase estequiométricas de gás de amônia, injetadas antes do acelerador. Os produtos formados como resultado das reações entre a amônia com o SO₂ e com o NO_x (sulfato e nitrato de amônio), são recuperados em forma de um pó seco, usando-se um coletor de partículas convencional. Esse pó coletado poderá ser utilizado diretamente como fertilizante na agricultura ^{[1],[5]} .

2.2.11. Resumo do mecanismo do processo

Ocorre um grande número de reações químicas quando os gases são irradiados com feixe de elétrons. Estas reações são o resultado direto da ionização e excitação dos componentes do gás com formação de radicais e átomos livres. A fração de energia absorvida por cada componente do gás é proporcional à sua pressão parcial. As seguintes reações que ocorrem durante a irradiação, são as reações primárias que geram as espécies ativas necessárias para a conversão de SO_2 e NO_x em seus respectivos ácidos^{[9],[12],[14]}:



O número entre parênteses representa os valores G de cada espécie, conforme definido na página 14.

Este o primeiro estágio do processo ocorre em aproximadamente 10^{-8} s.

No segundo estágio, que ocorre em aproximadamente 10^{-5} s, radicais e átomos contendo oxigênio reagem com SO_2 e NO_x , para formar, na presença de água, ácido sulfúrico e ácido nítrico, respectivamente. Há também o mecanismo de reação íon - molécula para o decaimento das espécies primárias. Componentes de baixa concentração competem com o processo primário de decaimento do radical. Mais de 760 reações envolvidas no processo em estudo foram listadas no "Agate Code" para descrevê-lo. As principais reações que ocorrem, são^[16]:





O terceiro e último estágio é a formação dos subprodutos, em aproximadamente 10^{-1} s: os ácidos sulfúrico e nítrico, na presença de água e quantidades quase estequiométricas de amônia são convertidos em sulfato e nitrato de amônio.



Os subprodutos são coletados por um sistema de filtragem: filtro de manga ou precipitador eletrostático.

A eficiência do processo de feixe de elétrons foi determinada em muitas instalações experimentais para otimizar suas condições. Dados recentes mostram que pode ser obtida uma eficiência de 95% para SO_2 com uma dose de 5kGy com o conteúdo de água e condição de reação térmica otimizados. A reação em multiestágio melhora significativamente a eficiência de remoção de NO_x , que em um estágio apresenta limitações devidas à limitada penetração do elétron no fluxo de gás^[5]. Assim, é necessária uma dose de 7kGy para dois estágios e 6kGy para três estágios de irradiação, para 80% de remoção de NO_x .^[10]

3. INSTALAÇÕES EXISTENTES

3.1. Instalações de laboratório e piloto

Com relação ao processo de feixe de elétrons, foram construídas pequenas plantas piloto pela Ebara-JAERI em Takasaki, Japão; pelo KfK em Karlsruhe, Alemanha e TU, Karlsruhe, Alemanha. Em Varsóvia, Polônia, está em operação uma planta para $400\text{Nm}^3/\text{h}$ no INCT^[5].

Há também pequenas unidades de laboratório operando no JAERI, Takasaki, Japão, no IPEN, São Paulo, Brasil, no INPAS, Shanghai, China e no TU, Helsinki, Finlândia^[5]. Em todos esses casos, são tratados gases de combustão simulados, gases de fornalhas produzidos pela queima de óleo ou gás.

Foram construídas no Japão (Ebara), nos EUA (Ebara) e na Alemanha (Badenwerk), instalações maiores com até $20000\text{Nm}^3/\text{h}$ de capacidade de tratamento de gases. A primeira planta piloto foi instalada para o tratamento dos gases de uma máquina de precipitação de minério de ferro. As outras foram utilizadas para tratamento dos gases de caldeiras que queimam carvão. Está em investigação nos EUA (Cottrell), uma tecnologia combinada utilizando cal como reagente alcalino e um sistema pulverizado com feixe de elétrons.^[5]

Foram construídas na Polônia (INCT, EPS Kawęczyn) e no Japão (Ebara-JAERI, Chubu Electric), duas modernas plantas piloto baseadas no princípio de irradiação em multistágios dos gases. A primeira planta piloto ainda está em operação^[5].

3.1.1. Instalação de laboratório no INCT, Polônia^[5]:

Foi construída no INCT, uma unidade de laboratório (Figura 12), com uma capacidade de fluxo de gás de até $400\text{Nm}^3/\text{h}$. A composição dos gases de queima de duas caldeiras de gás natural pode ser ajustada pela dosagem de

diferentes gases poluentes (SO_2 , NO_x , VOC). É utilizado um irradiador acelerador ILU-6 com energia do feixe de elétrons na faixa 600-1000 keV. A instalação é completada com dois geradores independentes de microondas. Isso permite investigar o conceito de remoção combinada baseado no uso simultâneo do feixe de elétrons e frentes de energia de microondas para produzir radicais livres no vaso de reação. O uso simultâneo do feixe de elétrons e da energia de microondas aumenta a eficiência total com o mesmo consumo de potência.

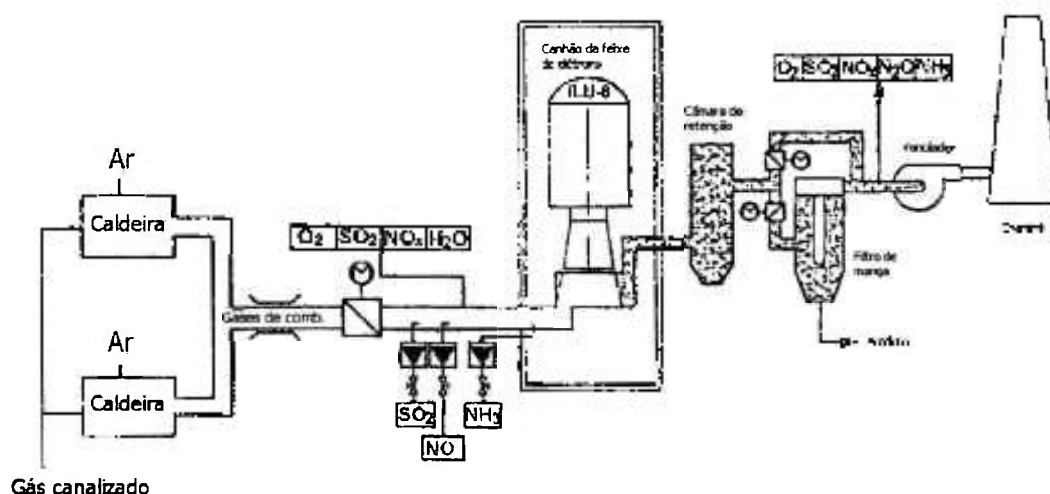


Figura 12. Unidade de laboratório para tratamento de gases por feixe de elétrons^[5].

O sistema foi utilizado para investigação da remoção de SO_2 de gases com alta concentração de SO_2 (até 15%). Essa faixa de concentração de SO_2 é observada no caso de gases emitidos pela indústria do cobre.

Os gases com alto conteúdo de SO_2 podem ser efetivamente limpos por NH_3 e feixe de elétrons, mesmo a temperaturas mais altas do que a ótima. Foi obtida uma eficiência de remoção de SO_2 dos gases, de 90-95% com concentração de SO_2 de 10-15%. A estequiometria da amônia, umidade e uma dose até 7 kGy têm uma forte influência na eficiência de remoção de SO_2 . O produto formado no processo é sulfato de amônio. A eficiência de remoção para um dos casos investigados é dada na Figura 13.

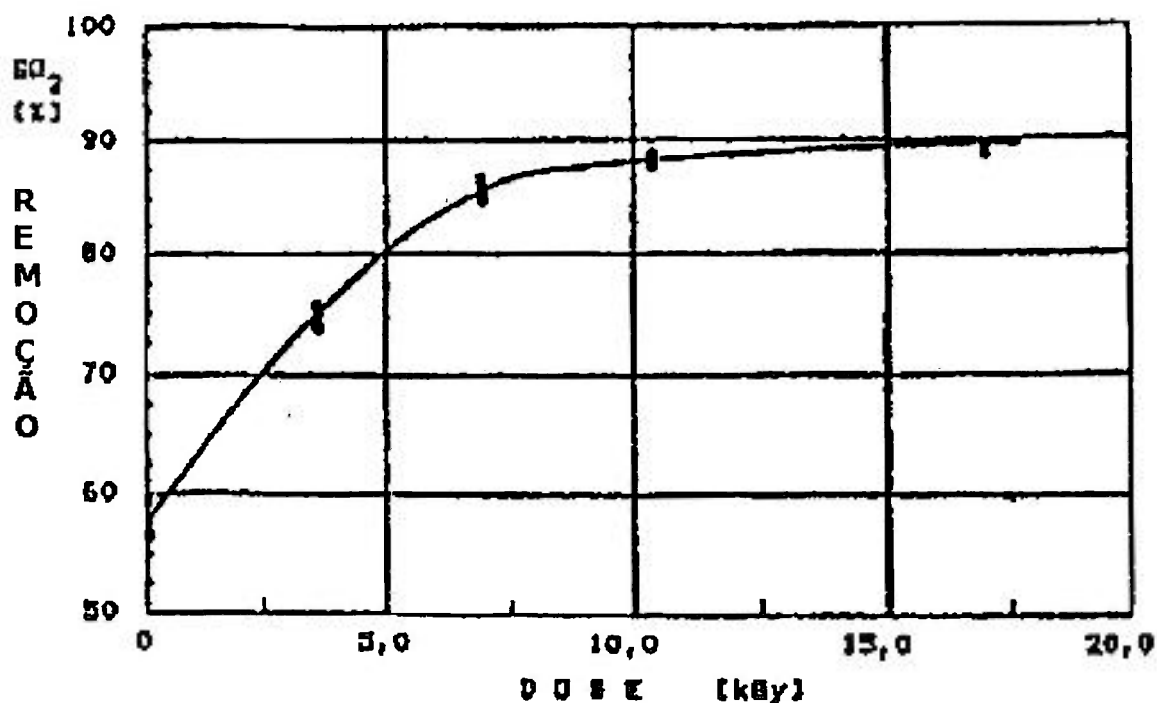


Figura 13. Eficiência de remoção para alta concentração de SO_2 ^[5].

Outro problema investigado foi a destruição induzida dos compostos orgânicos voláteis, VOC. Foi investigado um vapor de benzeno muito resistente à radiação. As doses foram estabelecidas utilizando-se dosímetros tipo "foil" de acordo com os procedimentos padrão. Os gases simulados eram compostos de ar, 10% de vapor d'água e duas concentrações iniciais de benzeno $3,48 \cdot 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ e $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$. Por cromatografia gasosa foi detectado um grande número de produtos orgânicos não identificados. Foi utilizado um cromatógrafo Perkin Elmer 8700 para determinação de produtos radiolíticos. O cromatógrafo era equipado com um detector de ionização por chama e uma coluna capilar de 12,5m de comprimento. A temperatura do forno foi mantida a 110°C (isotérmica) e o fluxo de gás era de 40 ml He/min. Essas condições asseguraram a medição do fenol com uma precisão de $3,48 \cdot 10^{-12} \text{ g/cm}^3$. O fenol constitui o principal produto da radiólise do benzeno. A eficiência de remoção chega a 45% para o benzeno com dose de 40 kGy, conforme mostra a Figura 14. A eficiência relativamente baixa é causada pela resistência excepcionalmente alta do benzeno à radiação.

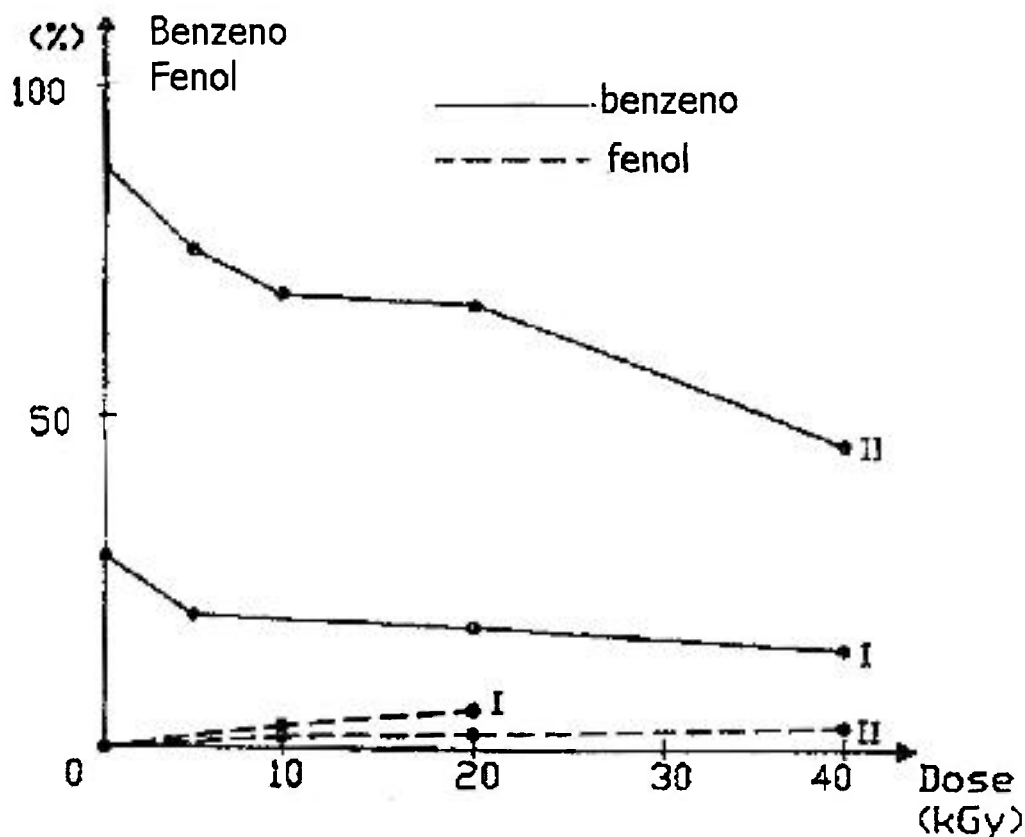


Figura 14. Eficiência de remoção de benzeno ^[5].

A instalação do laboratório acima descrita pode ser utilizada para o desenvolvimento de novos processos de feixe de elétrons e para a investigação de parâmetros físico-químicos ótimos.

No entanto, essa unidade e outras de laboratório não podem ser utilizadas para estudar o processo em toda sua escala: isso se deve a que as dimensões das câmaras de irradiação das instalações de laboratório não permitem que se estude o efeito da interação do elétron (com faixa de penetração limitada) com porções separadas dos gases a serem tratados dentro de grandes dutos. Assim, é necessário construir plantas piloto de 20000 Nm³/h ou mais para investigar adequadamente esses fenômenos.

3.1.2.Planta piloto da EPS Kawęczyn, Polônia^[5]

Foi construída uma planta piloto na Estação de Potência Kawęczyn. Ela foi instalada num desvio do fluxo principal de gases da caldeira WP-120: na Figura 15 é dado um esquema da instalação. Foram instalados em série dois aceleradores ELV-3a (50kW, 500-800 keV) no vaso de reação. Pela primeira vez numa instalação piloto industrial, foi aplicada uma irradiação do gás em dupla cascata.

Os gases de combustão a serem tratados são resfriados por intermédio de um resfriador tipo borrifador("spray") trabalhando na condição de "fundo seco" e então irradiados num vaso de reação em duas fases que é um cilindro com 7m de comprimento e 1,6m de diâmetro, conforme mostra a Figura 16. Foi empregado um sistema de dupla janela, com janelas feitas de folhas de titânio com 50 μm de espessura. Utiliza-se uma "cortina de ar" para separar a janela secundária dos gases corrosivos. A construção da janela primária (janela do acelerador) que é resfriada por uma corrente de ar, é apresentada na Figura 16 .

A amônia gasosa é injetada por bocais antes da irradiação. Os aerossóis formados no processo (sulfato e nitrato de amônio) são retidos por filtros. A distribuição do tamanho das partículas é dada na Figura 17.

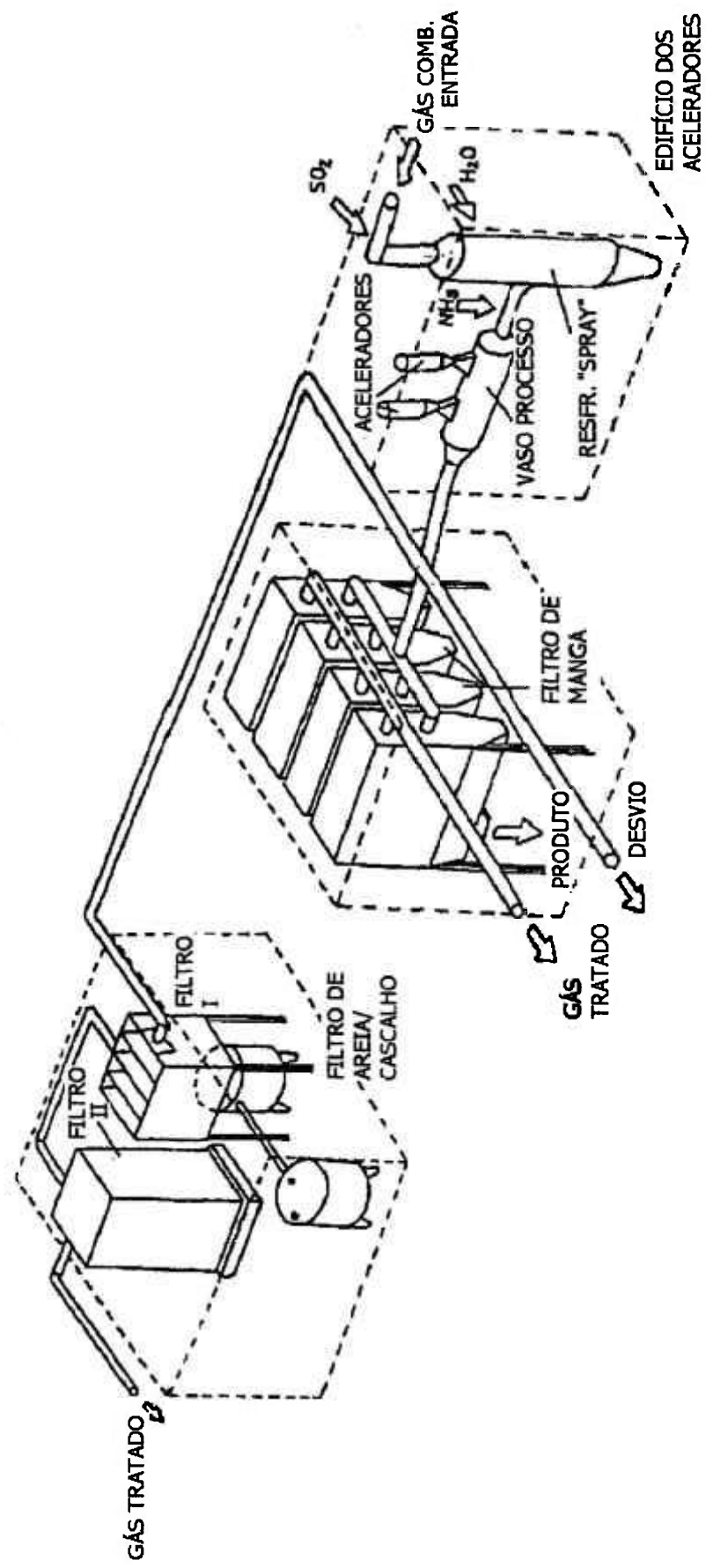


Figura 15. Planta piloto industrial para tratamento de gases de combustão na Estação Elétrica Kawęczyn, Polónia^[5].

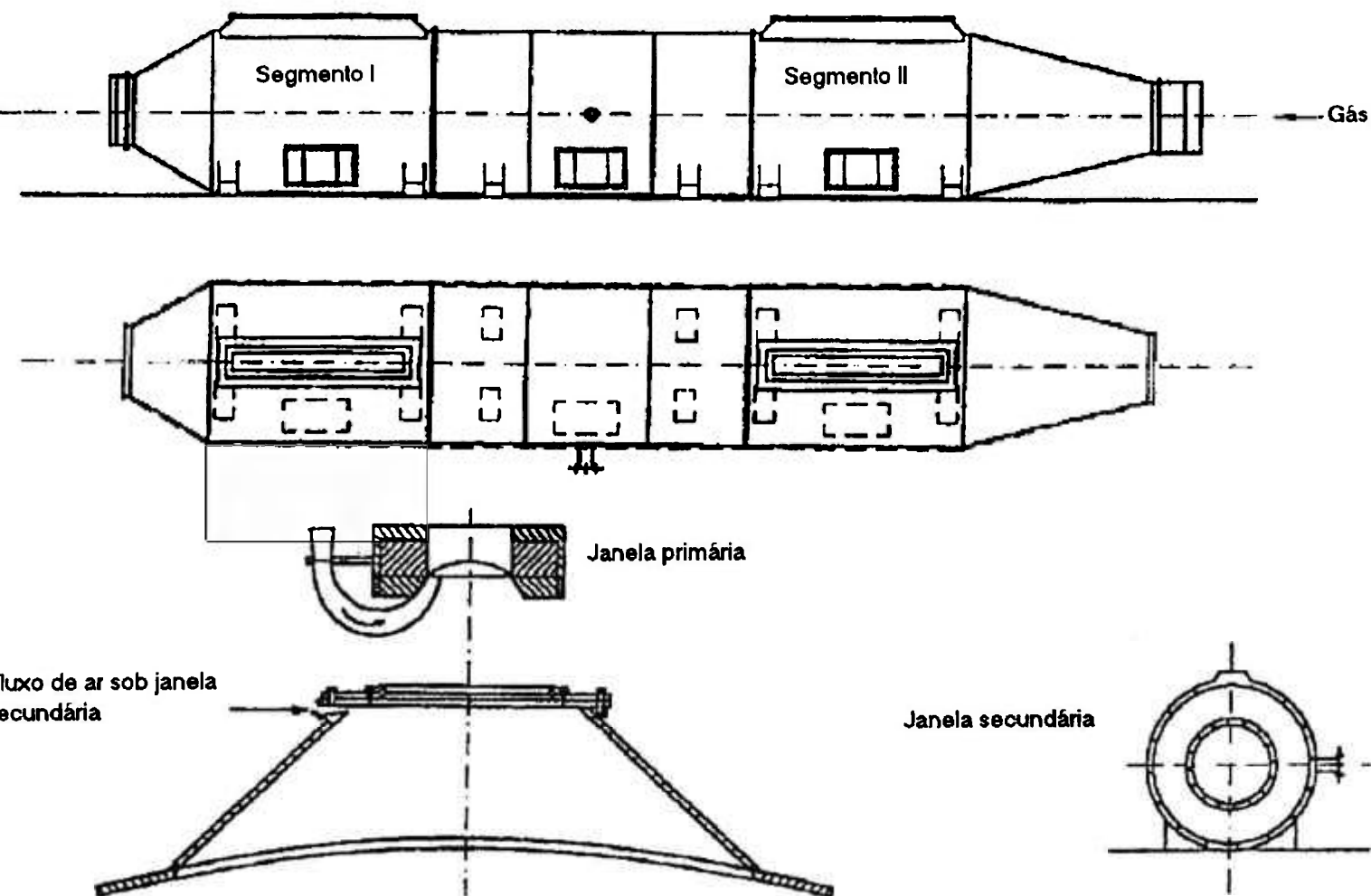


Figura 16. Vaso de processo aplicado numa palnta piloto^[5].

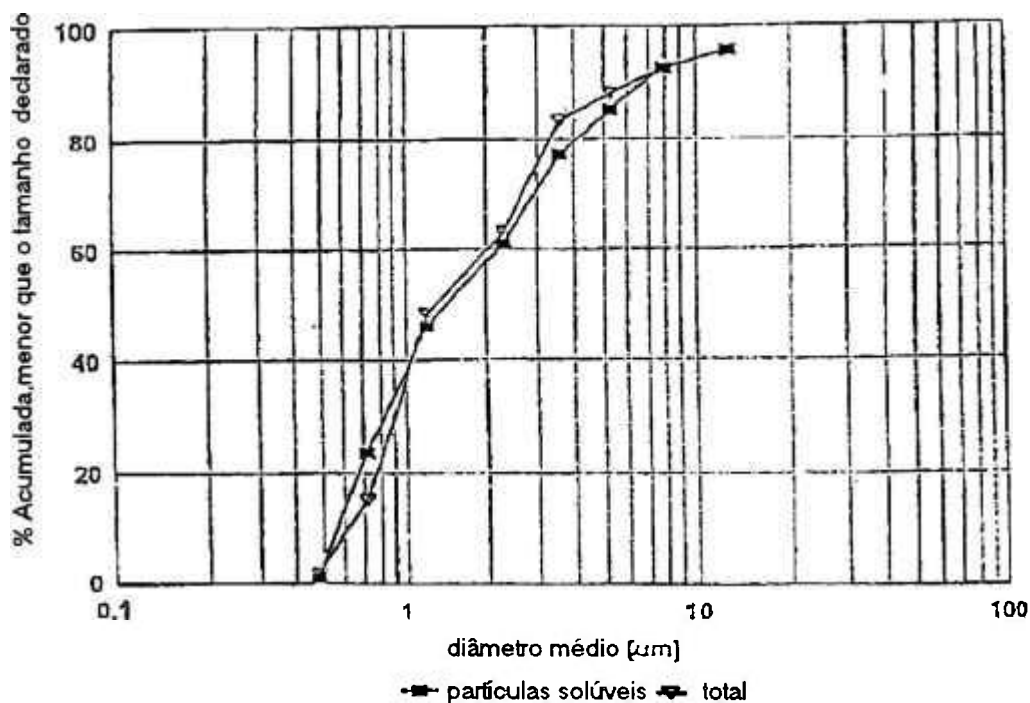


Figura 17. Distribuição de tamanho de partículas de aerossol^[5].

As partículas formadas são pequenas com diâmetros menores do que $1 \mu\text{m}$ e pegajosas. Foram utilizados dois tipos de filtro – um do tipo de manga (sacos), outro do tipo de gravidade^[5]. O filtro de manga consiste de quatro compartimentos com uma área total de filtragem de 600 m^2 (512 sacos). É utilizado um modo “offline” de regeneração (um compartimento em regeneração, três outros em operação). O sistema de filtros de manga é equipado com duas linhas para injeção de ajuda para a filtragem. Uma delas pode ser utilizada para pré deposição, enquanto a outra permite a introdução de pó adicional durante a operação contínua. Foi projetado e implantado um outro sistema para pré-aquecimento do filtro e condicionamento de ar. As paredes do filtro são isoladas e o seu fundo aquecido. Foram investigados diferentes tipos de sacos e feitas modificações construtivas na estrutura do filtro para se obter uma boa regeneração desses sacos (através da limpeza do produto). Foi também cumprido o prazo de teste de funcionamento contínuo durante 30 dias da instalação, equipada com o filtro descrito. Foram obtidas eficiências de remoção muito altas (mais de 99,8 %). No entanto, para se obter operação estável do filtro (queda constante de pressão), é necessária a aplicação de um agente de ajuda à filtragem (sílica, cinza volátil, dolomita, etc.) e manter a temperatura do filtro entre $70\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C}$.

O filtro de gravidade úmido foi projetado em conjunto com o Forschungszentrum, Karlsruhe, Alemanha, onde esse tipo de equipamento (seco e úmido) foi desenvolvido para o processo. Nesse caso, o subproduto solúvel

pode ser facilmente separado da cinza volátil insolúvel. A limpeza "offline" do leito de gravidade foi também considerada no sistema. Os experimentos provaram que a presença de cinza volátil no gás não afeta a eficiência de remoção de SO_2 e NO_x (na faixa investigada de 100-700 mg de partículas sólidas/ Nm^3 na entrada do processo). Foi obtida remoção adicional de SO_2/NO_x com a utilização do filtro úmido. No entanto, o subproduto obtido nesse caso é na forma de solução aquosa (fertilizante líquido ou cristalização). A concentração de sal de nitrogênio não pode ser maior do que 40% em peso.

A planta piloto é equipada com um moderno sistema de monitoração e controle ^[5] cujo esquema é apresentado na Figura 18:

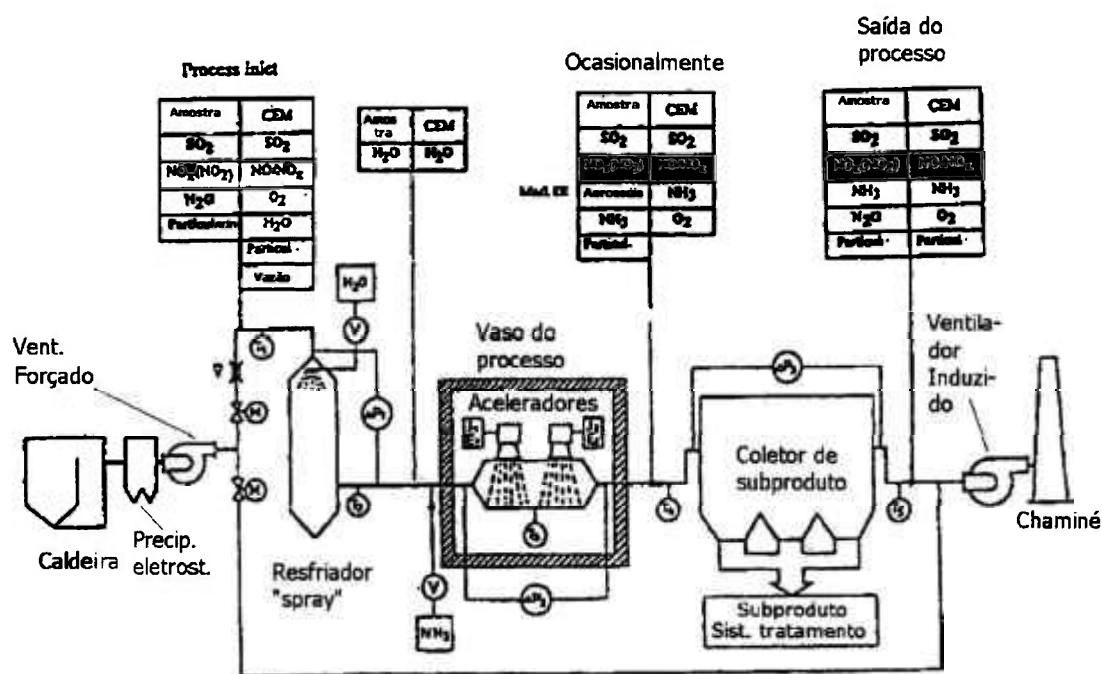


Figura 18. Sistema de controle e monitoração da planta piloto ^[5].

As primeiras experiências foram feitas com umidade do gás de 7 a 8% em volume e sua temperatura na entrada do vaso de irradiação sendo de 70-80 °C. As eficiências de remoção de SO_2 , dependendo da concentração de entrada, foram de 70-90% enquanto as de NO_x , dependendo da dose, parâmetros do processo e concentração de entrada, foram também de 70-90%.

O fato de que a eficiência de remoção do NO_x depende principalmente da dose e de que a remoção do SO_2 , por outro lado, se dá principalmente via reação térmica, impõe uma interessante observação concernente ao consumo de amônia em ambas as reações. A eficiência da reação térmica para a remoção do SO_2 decresce com a temperatura. Logo, a altas temperaturas, está disponível mais amônia, numa razão estequiométrica constante, para o processo de redução de

A marca vista na fotografia apresentada na Figura 23 foi instalada no eixo horizontal do vaso de irradiação. A pluma brilhante de gases ionizados, somente no caso de energia dos elétrons de 0,7 MeV, cobre toda a intersecção do vaso. Na Figura 23 também é apresentado o diagrama de uma penetração quantitativa de feixes de 0,6 MeV e 0,8 MeV. As perdas de energia do feixe no gases consistem de dois componentes: a potência de freamento nas duas janelas de folhas de titânio e no ar situado na câmara formada entre elas e a absorção nas paredes da câmara de irradiação. As perdas relacionadas com a dissipação de calor no gases não estão sendo aqui discutidas^[5]. Para elétrons com energia menor, as perdas de energia no sistema de janelas são maiores. Por outro lado, para elétrons de alta energia, a energia e perdas absorvidas pelas paredes do vaso, são maiores. Assim, existe uma energia ótima dos elétrons para um dado projeto de vaso. Para a energia ótima, pode ser obtida a máxima eficiência de remoção de NO_x .

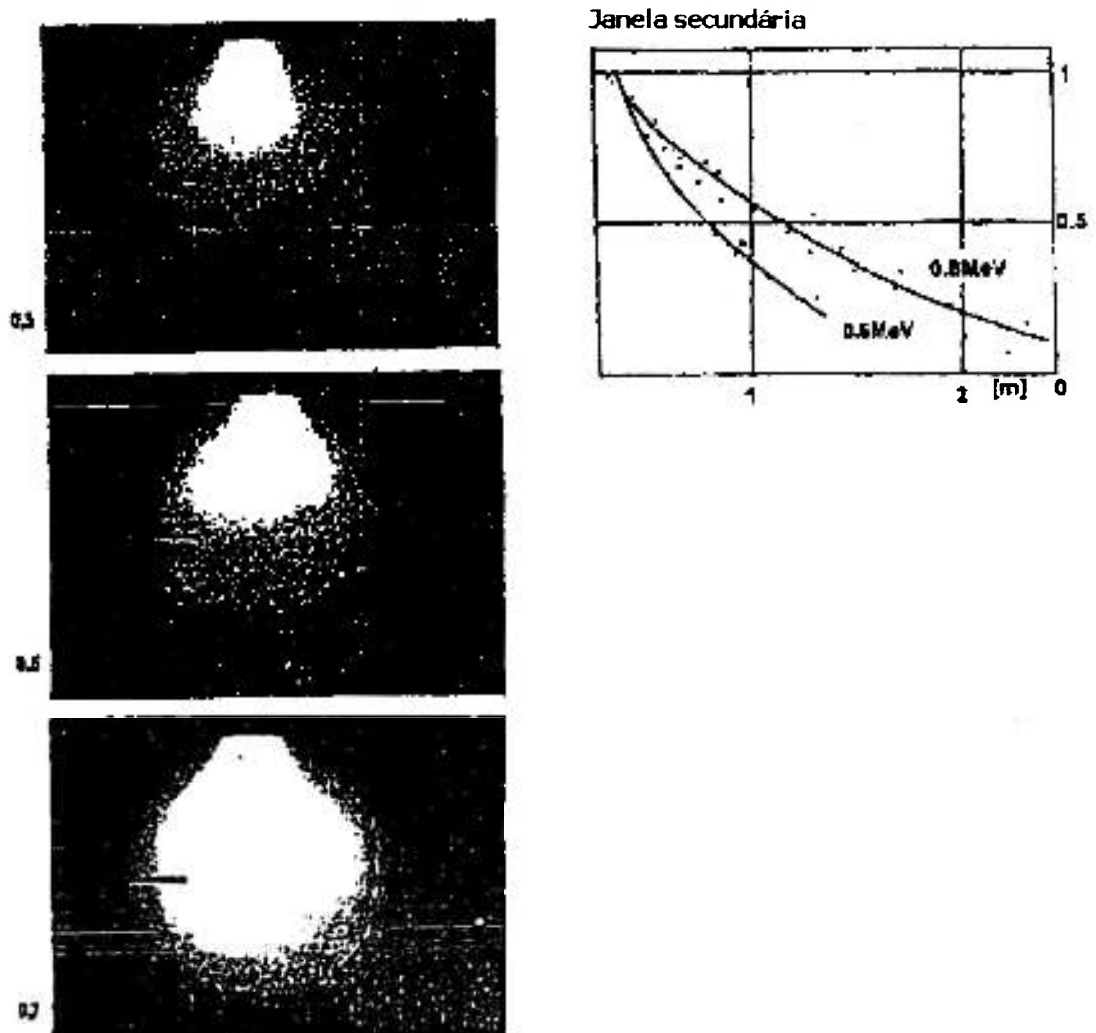


Figura 23. Fotografias ilustrando a faixa de penetração dos elétrons (pluma de ionização)^[5].

A melhoria da eficiência de remoção devida à limitada penetração através do fluxo de gases pode ser obtida por irradiação multistágio. A mistura de gases entre os estágios de irradiação é favorável ao processo. Pode ser conseguida otimização adicional pela adequada distribuição de doses entre estágios de irradiação^[5].

A dependência de dose com a remoção de NO_x para um vaso de processo de irradiação simples é dada pela equação :

$$\eta_{\text{NO}_x} = 100[(\text{NO}_x)_o - (\text{NO}_x)_1]/(\text{NO}_x)_o = k_1[1 - \exp(-K_2D)] \quad (45)$$

onde:

(NO_x)_o - concentração de NO_x na entrada do vaso de processo,

(NO_x)₁ - concentração de NO_x depois do primeiro estágio de irradiação,

D – dose absorvida no vaso de processo.

$$K_2 = k_2/(\text{NO}_x)_o \quad (46)$$

k₁, k₂ – parâmetros do processo

Para uma exposição em dois estágios, obtemos:

$$\alpha = 100[(\text{NO}_x)_o - (\text{NO}_x)_2]/(\text{NO}_x)_o = 100 - 0,01y_e y_f \quad (47)$$

onde:

α - eficiência de remoção de NO_x

(NO_x)₂ – concentração de NO_x depois do segundo estágio de irradiação

$$y_e = 100 - K_1[1 - \exp(-K_2D.x)] \quad (47a)$$

$$y_f = 100 - K_1[1 - \exp(-K_2D.y/0,01y_e)] \quad (47b)$$

x – razão de dose absorvida no primeiro estágio,

y – razão de dose absorvida no segundo estágio,

x + y = 1 para irradiação dupla

No caso do vaso de processo com irradiação em três estágios

$$\alpha = 100[(\text{NO}_x)_o - (\text{NO}_x)_3]/(\text{NO}_x)_o = 100 - 0,0001y_b y_e y_d \quad (48)$$

onde:

α - eficiência de remoção de NO_x

(NO_x)₃ – concentração de NO_x depois do terceiro estágio de irradiação

$$y_b = 100 - K_1[1 - \exp(-K_2D.x)] \quad (48a)$$

$$y_e = 100 - K_1[1 - \exp(K_2D.y/0,01y_b)] \quad (48b)$$

$$y_d = 100 - K_1[1 - \exp(K_2 D \cdot z / 0,0001 y_b y_e)] \quad (48c)$$

x – razão de dose absorvida no primeiro estágio,
y – razão de dose absorvida no segundo estágio,
z – razão de dose absorvida no terceiro estágio,

$x + y + z = 1$ para irradiação tripla

Para razão de dose absorvida uniforme, $x = y = z = 1/3$

Comparando-se os dados experimentais para estágio único e dois estágios, há indicação de boa concordância com o modelo. No caso da irradiação de três estágios, há apenas o cálculo teórico, uma vez que na planta piloto pode-se estudar apenas os casos de irradiação simples e dupla.

Uma análise profunda dos dados experimentais da exposição dos gases ao feixe de elétrons no processo multiestágio revelou que, no caso da remoção de NO_x , uma distribuição de potência não uniforme dos aceleradores nos sucessivos estágios, proporcionará uma economia adicional de energia.

Foi calculada uma distribuição ótima da dose de energia dos elétrons fornecida aos gases, utilizando-se as dependências para remoção de NO_x após as exposições em dois e três estágios por um feixe de elétrons de uma dada energia.

Foi aplicado o procedimento de Hook - Jeeves para se encontrar o valor mínimo da função de "alvo" definida como:

$$f(\vec{T}, K_1, k_2, D) = \int_0^D [100 - \alpha(\vec{T}, K_1, k_2, D)] dD \quad (49)$$

onde:

$f(\vec{T}, K_1, k_2, D)$ - a função de "alvo",

$\alpha(\vec{T}, K_1, k_2, D)$ - grau de remoção de NO_x (curva modelo),

\vec{T} - vetor dos parâmetros procurados,

$\vec{T} = [x, y]$ - para exposição dos gases em dois estágios

$\vec{T} = [x, y, z]$ - para exposição dos gases em três estágios

D- dose (parâmetro variável),

K_1, k_2 – parâmetros constantes do processo

D_g - limite superior da variação de D .

Da análise de acordo com o modelo acima, pode ser concluído o seguinte:

- para a exposição em dois estágios por feixe de elétrons, a razão ótima de dose absorvida é : $x= 0,56$, $y= 0,44$,
- para a irradiação em três estágios : $x= 0,394$, $y= 0,332$, $z= 0,274$.

Os experimentos confirmaram os modelos teóricos. No entanto, as economias de energia no caso de estágios desiguais de irradiação não são tão significativos como no caso da substituição do estágio simples de irradiação pelo estágio duplo.

3.1.3. Planta piloto na Chubu EPC (Electric Power Company), Japão^[5]

Foi construída uma planta piloto no local da Usina Termoelétrica de Shin-Nagoya da Chubu Electric Power Company. Os testes foram realizados de novembro de 1992 a dezembro de 1993. O principal objetivo do teste foi obter dados de engenharia para projeto da planta em escala plena ^[5].

Na Figura 24, é mostrado um esquema dessa planta. Há uma caldeira de carvão pulverizado exclusivamente para produzir gases ($12000 \text{ Nm}^3/\text{h}$) para o teste. As condições de queima na caldeira são reguladas para a concentração esperada de NO_x . Enxofre pulverizado é queimado com carvão para controlar a concentração de SO_2 nos gases de combustão. Depois de remover as cinzas voláteis com um precipitador eletrostático, os gases de combustão são resfriados a 110°C por um trocador de calor gás - gás e resfriado novamente por água pulverizada a uma temperatura entre 55 e 110°C numa torre de resfriamento por borrifador ("spray"). A água pulverizada é evaporada completamente na torre de 30m de altura.

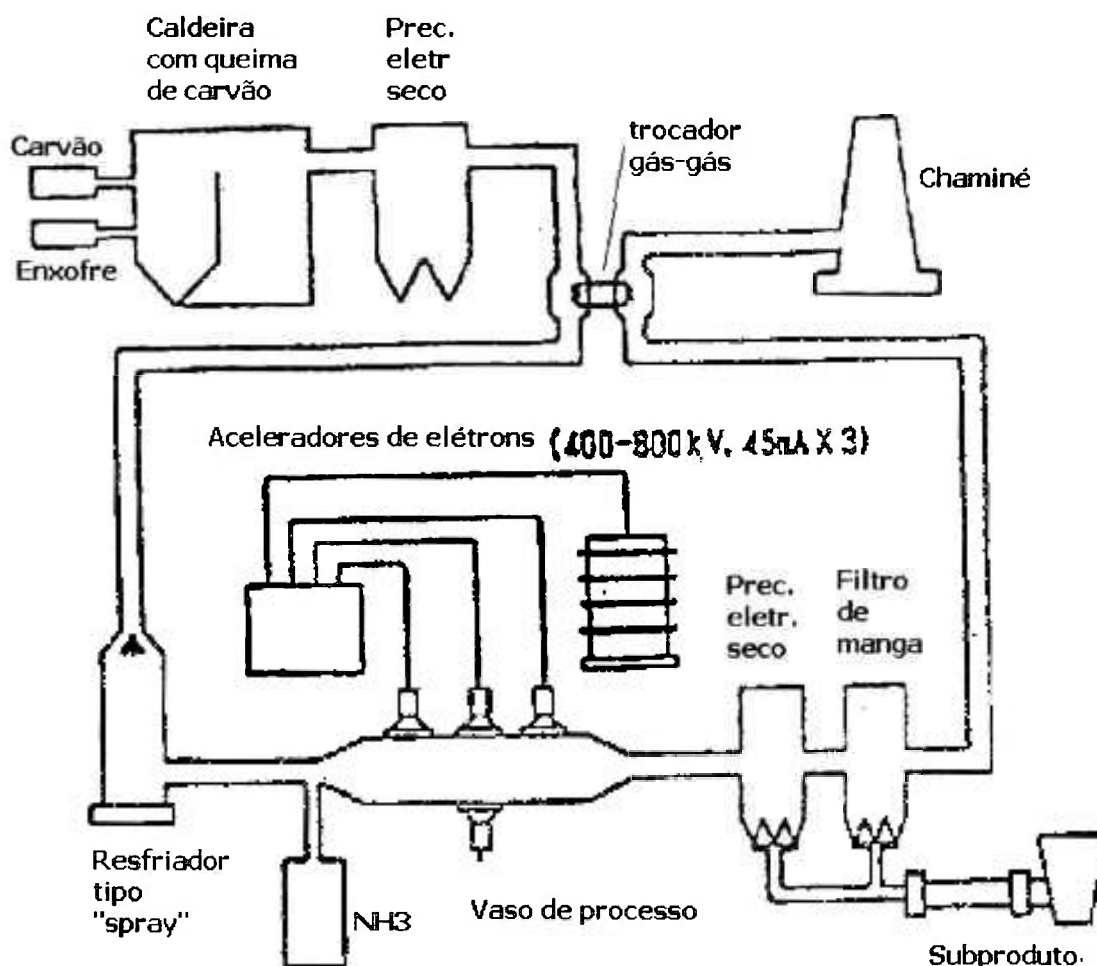


Figura 24. Diagrama da planta piloto da Chubu Electric Co., Nagoya, Japão ^[5]

Os elétrons de alta energia dos três aceleradores são introduzidos nos gases no vaso de processo através de duas janelas de folhas de titânio. Depois da adição de amônia, os aceleradores foram ajustados no processo durante o primeiro período de testes (irradiação de um lado), ao mesmo tempo em que no período seguinte de testes, o acelerador central foi mudado para outro lado do vaso de processo (irradiação de ambos os lados) para se comparar o efeito da uniformidade de distribuição de dose no vaso do processo na eficiência de remoção do NO_x e do SO₂.

Os subprodutos são coletados pela combinação de um filtro eletrostático e filtros de manga. A eficiência de remoção de SO₂ mostrou uma forte dependência da temperatura, mostrada na Figura 25. Uma dose de 8 kGy foi suficiente para atingir 95% de remoção de SO₂ numa temperatura de saída dos gases de 62-64 °C. A remoção de NO_x é fortemente dependente da concentração inicial de NO_x, conforme Figura 26 e não é muito afetada pela variação de temperatura. Para remoção de 80% de NO_x, é suficiente uma dose de 8kGy com uma concentração de entrada de NO_x de 160-180 ppm, onde a dose de 10,5 kGy é necessária para atingir a mesma eficiência com 200-220 ppm.

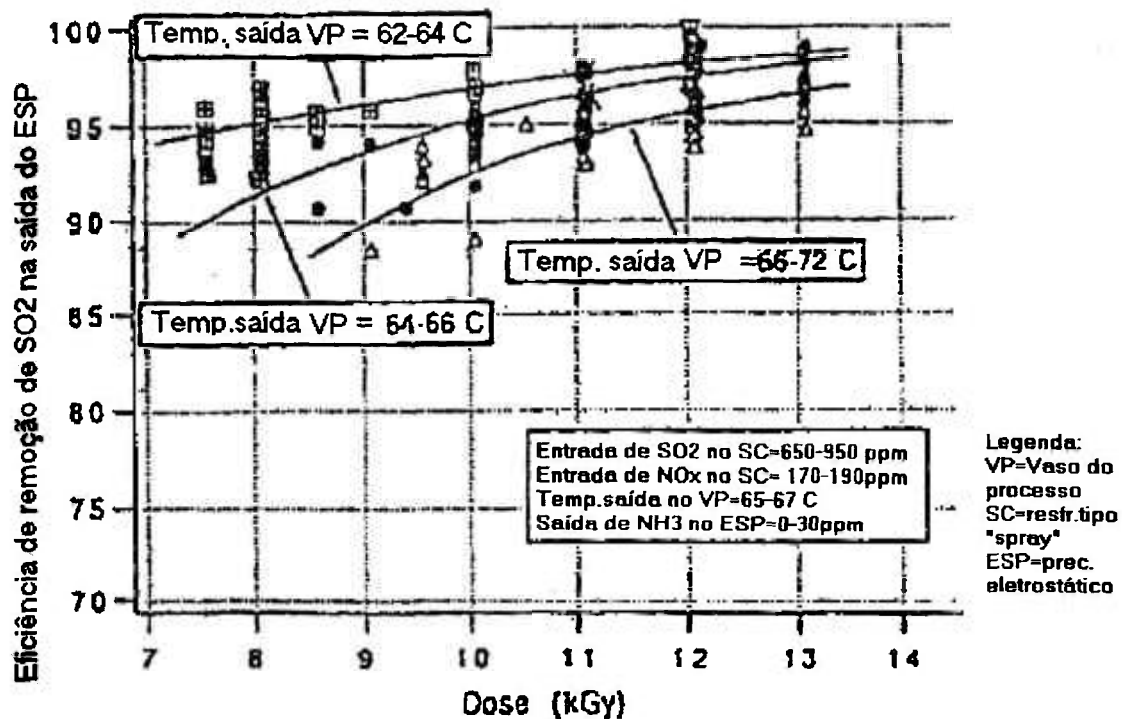


Figura 25. Eficiência de remoção de SO₂ [5].

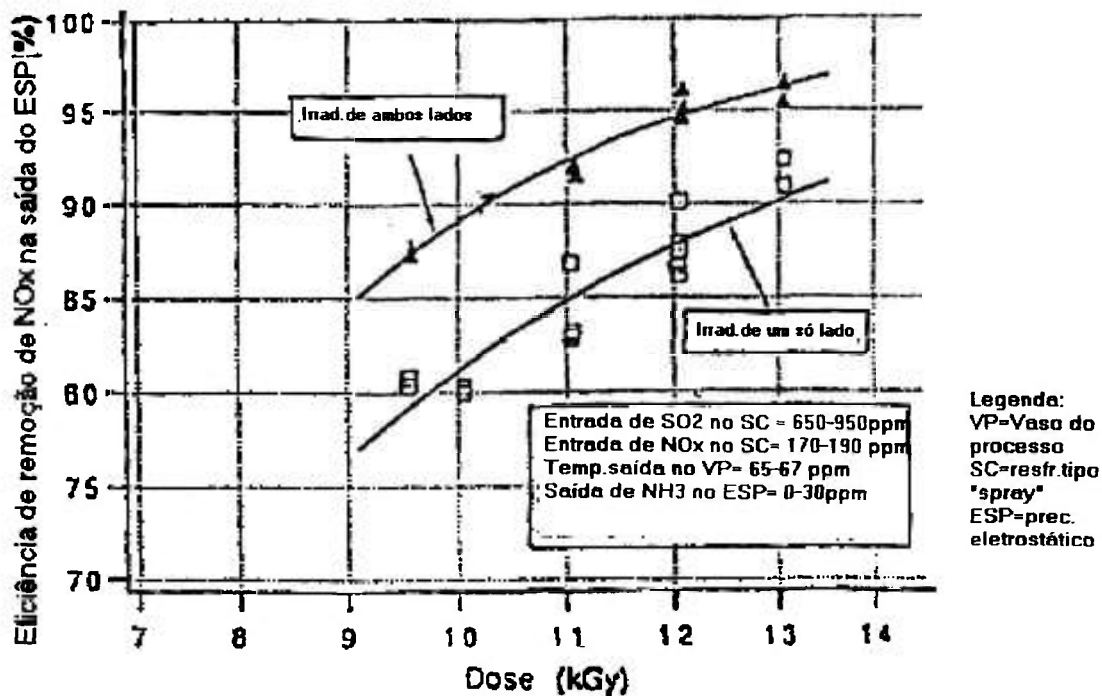


Figura 26. Eficiência de remoção do NO_x [5].

O aerossol produzido é composto de partículas muito finas com uma concentração de $3,1-3,3 \text{ g/Nm}^3$. O filtro eletrostático demonstrou uma eficiência de remoção de 99,5% e a concentração de saída do particulado foi de $10-22 \text{ mg/Nm}^3$, um saco adicional no filtro de manga deu uma concentração final do aerossol de $0,4 \text{ mg/Nm}^3$ (eficiência total de remoção de 99,99%).

3.1.4. Plantas piloto prévias^[5]

A planta mais significativa para ulterior desenvolvimento do processo de feixe de elétrons foi a unidade piloto de demonstração construída na Indianapolis Power and Light Company, EUA ^[5]. O processo é mostrado no diagrama da Figura 27:

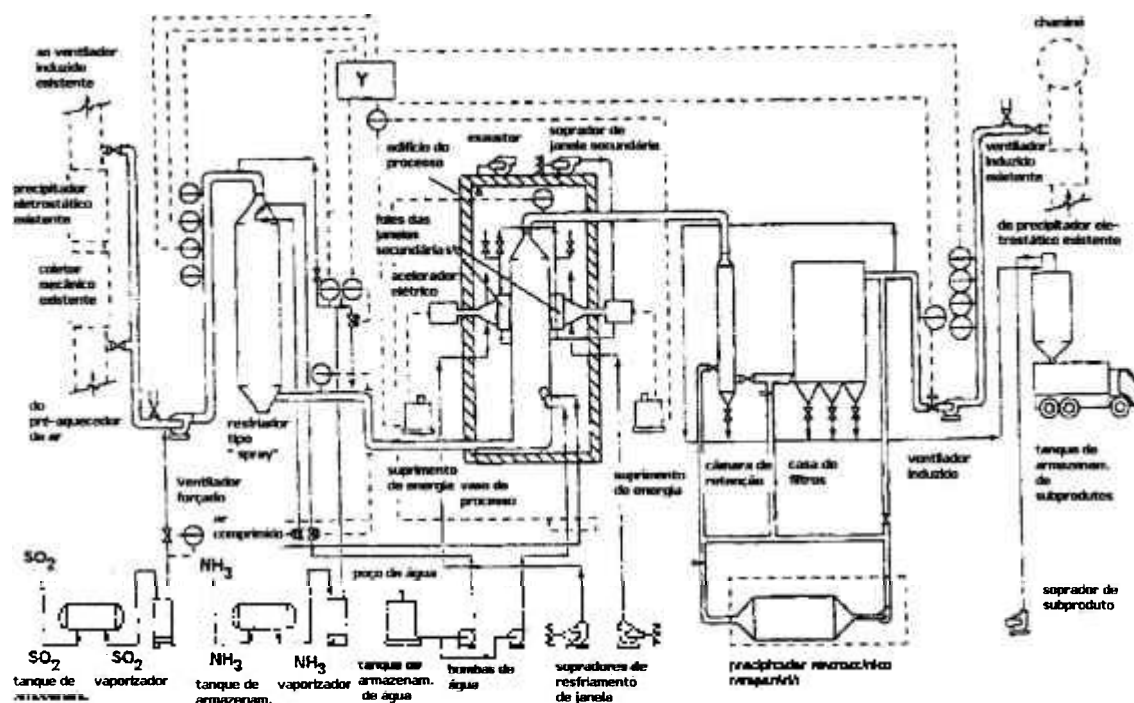


Figura 27. Planta piloto na Indianapolis Power and Light Company^[5]

Da caldeira acionada à carvão é extraída uma porção de fluxo dos gases, analisada no seu conteúdo de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio e forçado através dos ventiladores à entrada no resfriador tipo "spray". Quando os gases passam através do resfriador, a água é pulverizada para reduzir sua

temperatura a níveis ótimos para irradiação. Controles especialmente projetados, permitem o resfriamento dos gases $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ acima do ponto de orvalho da água sem que o fundo do resfriador se umedeça. A injeção de amônia é localizada no duto de gases antes da entrada dos gases resfriados no processo.

Além do vaso de processo, o edifício do processo também abriga o equipamento de feixe de elétrons. Um corte desse edifício é mostrado na Figura 28:

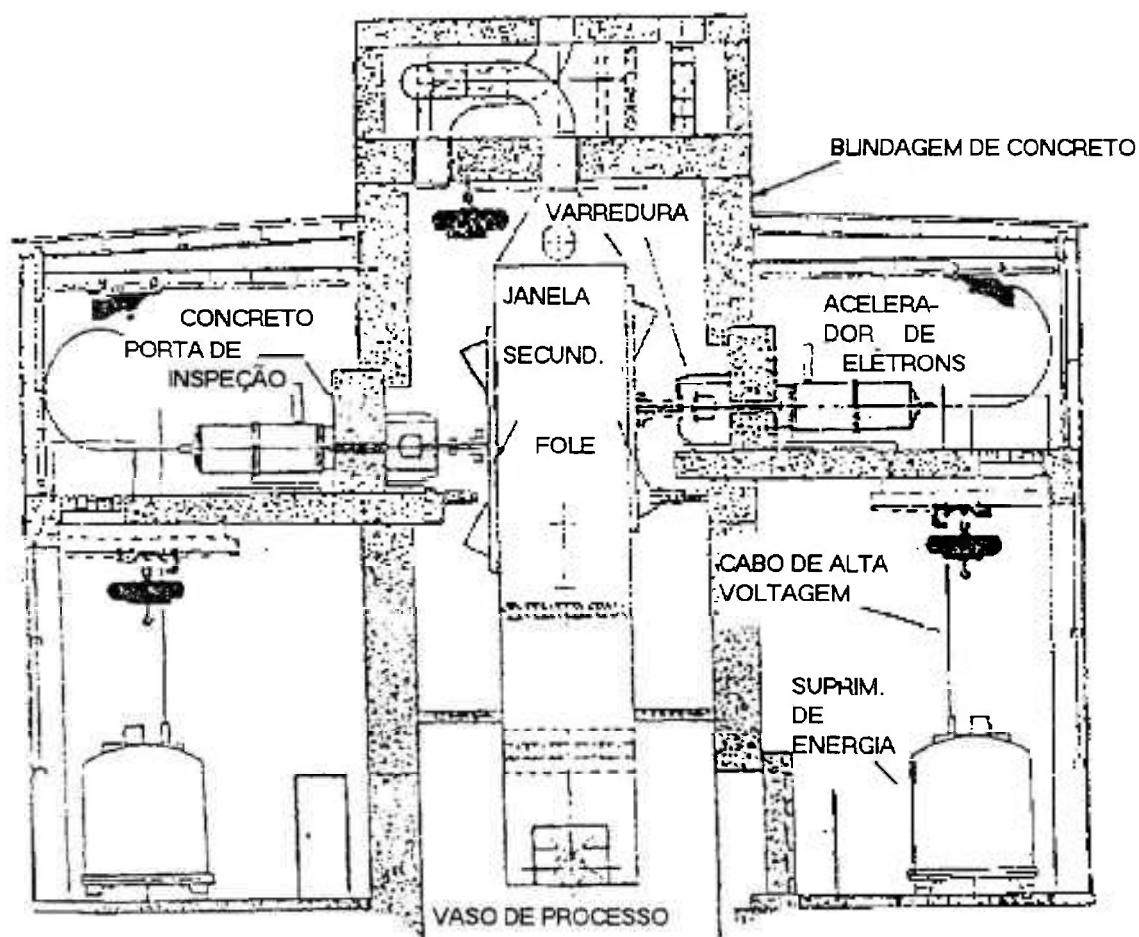


Figura 28. Seção em corte do edifício (casa dos aceleradores) ^[5].

O sistema de feixe de elétrons utilizado consiste de duas unidades de 80kW operando com 800kV. Cada unidade tem seu próprio suprimento de energia consistindo de um transformador de núcleo isolado e equipamento auxiliar em c.c., utilizando como fonte, tensão convencional de 460V, trifásica, tomada da estação de serviço. Cada cabo de potência é conectado ao seu respectivo equipamento composto de acelerador de elétrons e equipamento de varredura ("scanner"). Esse equipamento é integralmente montado num dispositivo móvel e num sistema de pistas que inclui uma porta cônica de

concreto como parte de sua proteção contra raios X secundários. Esse arranjo foi adotado para permitir a máxima operacionalidade do feixe de elétrons enquanto se reservam os menores sistemas vaso de processo / feixe de elétrons para um conceito de projeto logo acima do nível do solo. Os dois feixes de elétrons são opostos na horizontal e ajustados na vertical para proporcionar a máxima absorção de energia pelos gases. Uma vez que essa energia absorvida é aquela em que o feixe entrega menos sua transmitância e perdas por espalhamento, para voltagens constantes de aceleração e vazões determinadas dos gases, a taxa de dose é sempre proporcional à corrente total do feixe. Uma janela secundária com sistema de lâminas (folhas), projetado pela firma japonesa Ebara, separa a janela primária com sistema de lâminas no equipamento de varredura do contacto com produtos abrasivos e corrosivos dos gases em fluxo. A lâmina da janela secundária também permite a troca de uma outra lâmina com defeito da janela secundária por controle remoto com um mínimo de tempo fora de serviço.

Após o duto de entrada de gases entrar no edifício do processo, os gases chegam no vaso do processo. Como preparação final antes de entrar na zona de irradiação, a mistura de gases é umidificada pelo resfriador de gases de pré-reação que novamente utiliza água pulverizada para controlar o aumento de temperatura associado com a exposição aos feixes de elétrons. Uma vez na zona de irradiação, a mistura de gases umidificada é sujeita a um intenso campo de elétrons energizados que colidem com as moléculas dos gases resultando em ionização que dá origem ao processo já descrito acima .

Quando a mistura sai do vaso de processo, ela passa através da injeção secundária de amônia e entra na câmara de retenção. Nesse ponto, as partículas de sulfato e nitrato de amônio já começaram a se formar.

Passando através da câmara de retenção, os cristais de sulfato e nitrato - sulfato de amônio nos gases tratados, aglomeram-se em tamanhos adequados para a eficiente remoção pelo filtro de manga. Nesse ponto, o produto é separado dos gases com auxílio dos gases agora limpos reinjetados para a chaminé através dos ventiladores induzidos. O produto coletado é pneumaticamente transportado dos filtros, através de linhas isoladas, para um silo aquecido fora do local.

Os principais parâmetros dos gases tratados são:

Vazão em volume: 6400-8000 m³/h

Temperatura: 149-166 °C

Concentração de dióxido de enxofre: 800- 1500 ppmV

Concentração de óxidos de nitrogênio: 250-350 ppmV

Os esforços de testes foram dirigidos para determinar a melhor maneira economicamente falando de formar e coletar o subproduto fertilizante. Também se desejou determinar o que ocorre em diversas partes do sistema,

particularmente com respeito à remoção do dióxido de enxofre e utilização da amônia no processo e ainda as razões do vazamento de amônia através da saída das chicanas de separação do subproduto formado no processo.[5, refs. 81,82]

A outra planta piloto foi construída na Alemanha, na Reinhafen Dampfkraftwerk pela Badenwerk AG. O fluxo de gases tratados é de 5000-20000 Nm³/h numa faixa de temperatura de 65-100 °C, umidade de 5-15% em volume.

O conceito da planta piloto é apresentado na Figura 29:

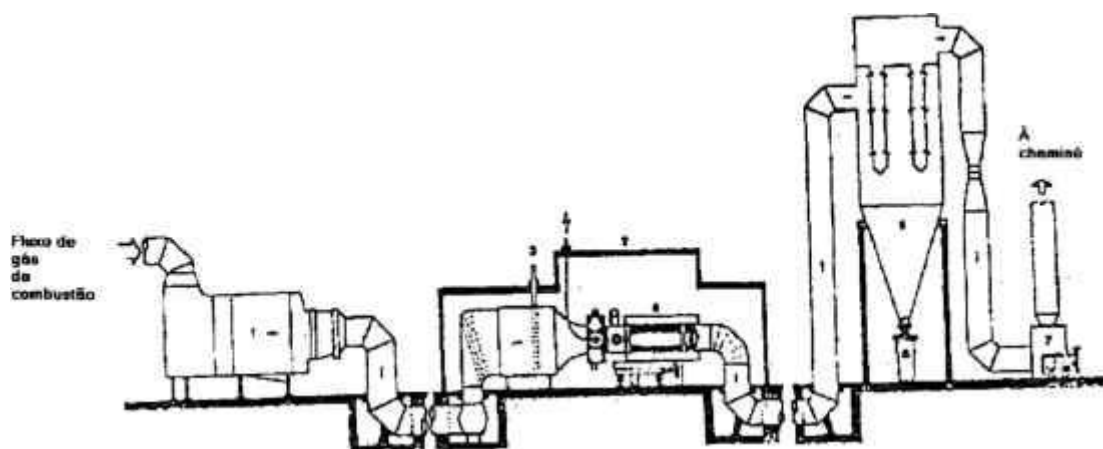


Figura 29. Planta piloto de Reinhafen Dampfkraftwerk, Karlsruhe; 1- Aquec. de grafite; 2- Blindagem; 3- Adição de amônia / mist.ar; 4- Proc. de elétrons; 5- Filtro de impacto; 6- Produto final; 7- Exaustor ^[5].

Ambos os gases são tratados, o rico em SO₂ e o dessulfurizado proveniente do sistema FGD. Se necessário, os gases são resfriados e umidificados através de um borrifador então resfriados ou aquecidos num aquecedor de tubos de grafite para ajustar as temperaturas de processo. Esses gases alimentam o reator através de uma passagem de estabilização onde é adicionada a amônia. O reator é equipado com dois aceleradores de elétrons localizados em lados opostos ,gerando um campo de radiação amplo e uniforme no seu interior.

O fluxo de gases irradiados passa através do filtro de manga. O subproduto é descarregado através de limpeza por pulsos provocados por jatos sobre os sacos do filtro. Os gases purificados seguem para a chaminé.

A instalação é equipada com dois aceleradores de elétrons (2 x 90 kW) com energia dos elétrons de 300kV. Por causa da baixa voltagem do acelerador tipo cortina, é utilizada uma janela simples com um acelerador linear catódico (com folha de titânio de espessura 17 μm). Essa é a principal diferença entre essa planta piloto e as outras construídas; em todos os outros casos são

utilizados aceleradores maiores do que 700keV. Em todas as outras soluções, são utilizados vasos de processo com sistemas de dupla janela.

Em todas as plantas piloto descritas foi utilizada a amônia como reagente para neutralização dos ácidos sulfúrico e nítrico.

No entanto, a Research Cotrell propôs a colocação do feixe de elétrons entre o borrifador e o filtro, usando calcário como reagente. O esquema dessa planta piloto é apresentado na Figura 30:

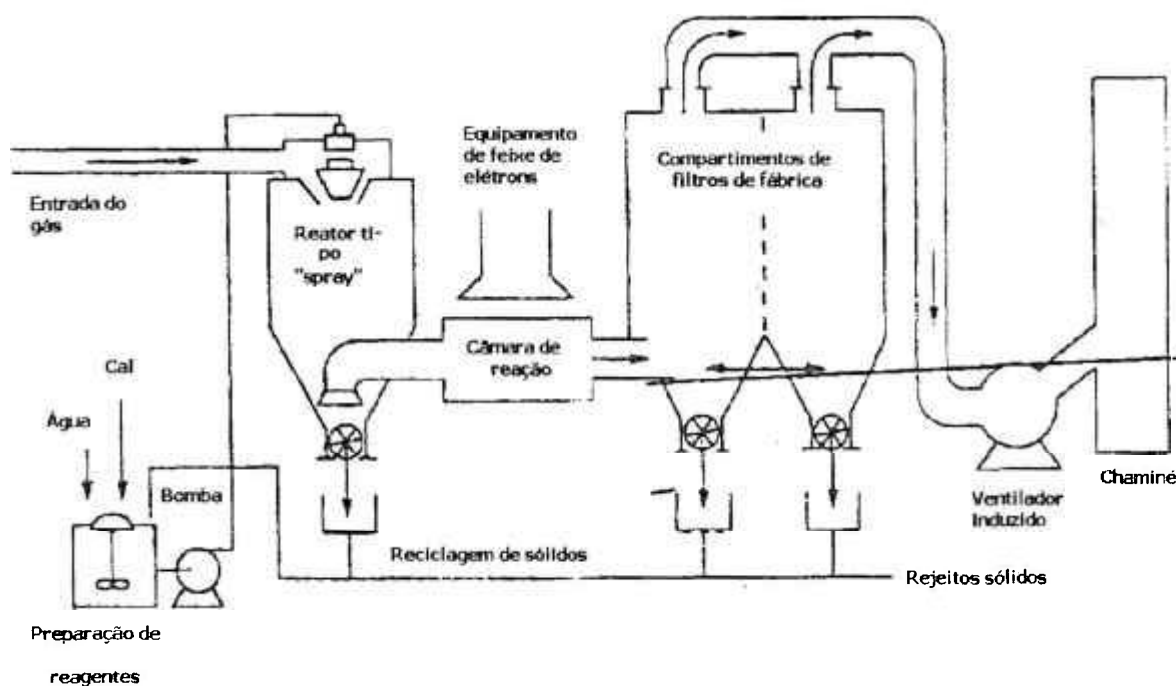


Figura 30. Planta piloto na TVA ^[5].

3.1.5. Comparação de soluções aplicadas em diferentes plantas piloto ^[5]:

Foram construídas no mundo quatro plantas piloto industriais para caldeiras queimando carvão: Indianapolis (EUA); Karlsruhe (Alemanha); Kawęczyn (Polônia) e Nagoya (Japão).

A maioria das soluções tecnológicas são parecidas e as principais diferenças concernem à construção do vaso de irradiação. O vaso de processo aplicado nos quatro exemplos mencionados são apresentados na Figura 31.

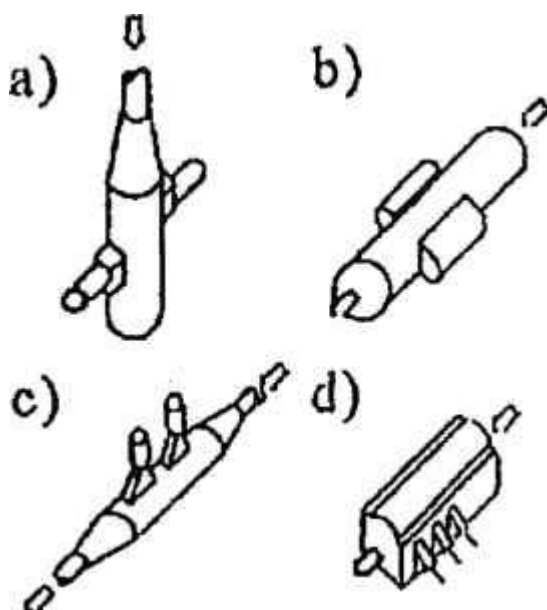


Figura 31. Geometrias de vasos de processo para diferentes plantas piloto: a) Indianapolis ; b) Karlsruhe; c) Kawęczyn; d) Nagoya ^[5].

A distribuição de dose é considerada durante o projeto do vaso de processo. As distribuições de dose medidas na planta piloto EPS Kawęczyn são apresentadas na Figura 32 e as medidas na planta piloto de Nagoya, na Figura 33.

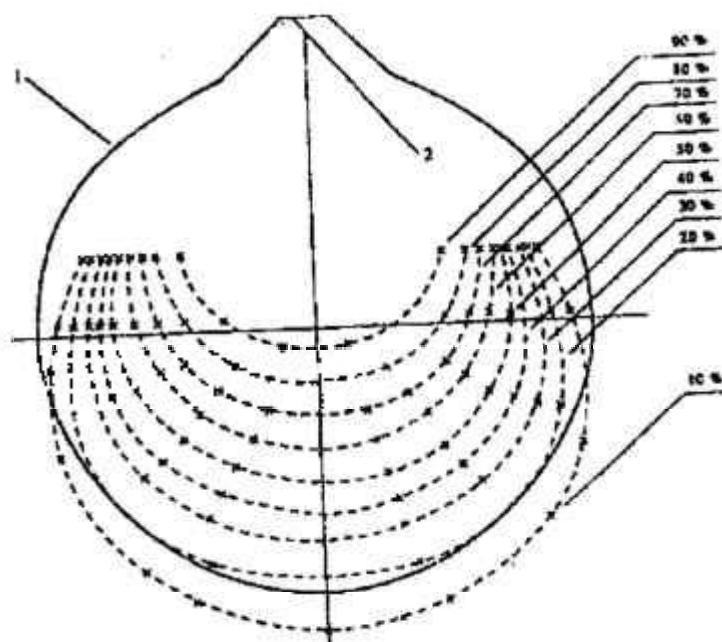


Figura 32. Distribuição de dose no vaso de processo da planta piloto de Kawęczyn ^[5].

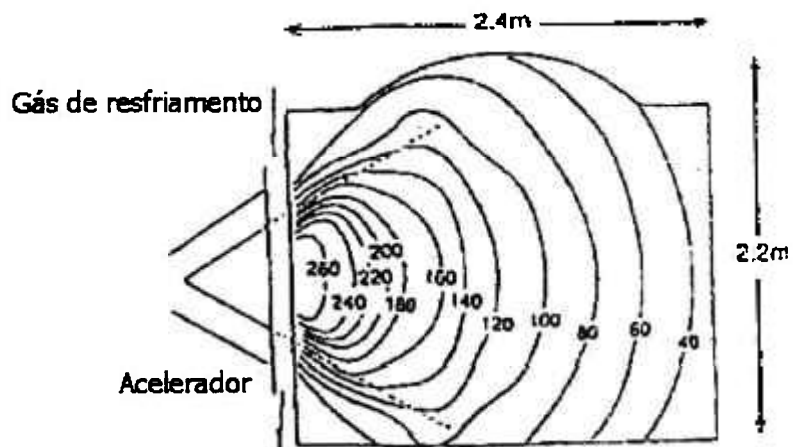


Figura 33. Distribuição de dose no vaso de processo da planta piloto de Nagoya^[5]

É oportuno ressaltar que somente no caso da planta piloto polonesa foi construído um vaso de irradiação longitudinal que é uma solução geométrica ótima para o seu projeto. A distribuição de dose apresentada nas figuras, que é não uniforme devido às propriedades físicas da irradiação de elétrons, é a razão pela qual a irradiação multiestágio dá melhor eficiência de remoção de NO_x em comparação com um processo simples. A mistura entre estágios causa uma melhor distribuição de energia nos volumes de controle dos gases fluindo através do vaso^[5]. Pode ser obtido resultado similar através de irradiação dos dois lados que foi comprovado no experimento de Nagoya conforme Figura 34.

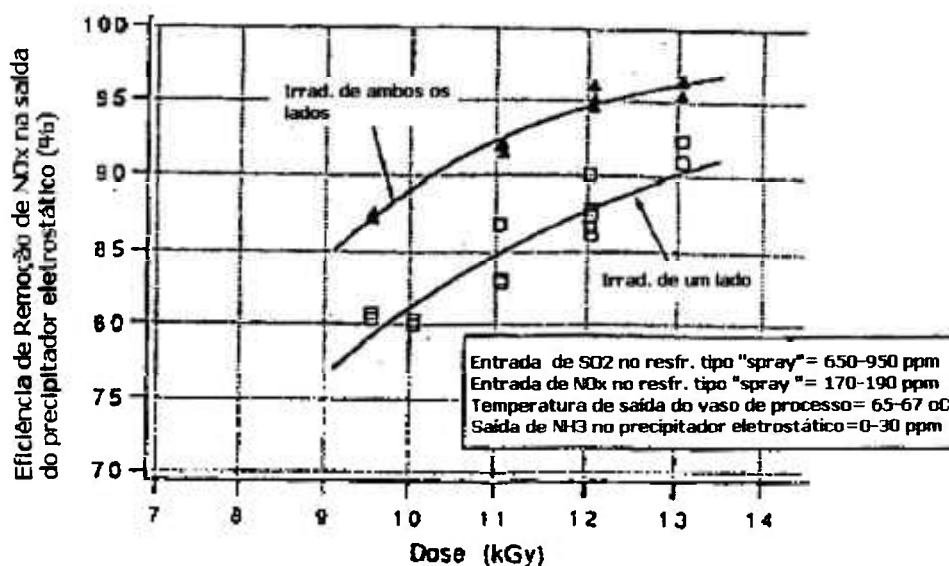


Figura 34. Eficiência na remoção de NO_x para irradiação de gás de ambos os lados^[5]

São feitas nas Figuras 35 e 36, comparações das eficiências de remoção do SO_2 e do NO_x obtidas em diferentes plantas piloto. As tendências nas mudanças de curva representando as funções acima são relacionadas com diferentes condições de teste. É observada uma maior remoção de NO_x (pelo menos em processos de maiores temperaturas) para maiores concentrações na entrada de SO_2 fixadas as doses. O fenômeno pode ser causado pela absorção de NO_2 (NO oxidado) na névoa de ácido sulfúrico formado pela crescente concentração de SO_3 . No entanto, esse fenômeno não foi comprovado em outro experimento^[5]. É importante mencionar que as condições de temperatura no segundo caso eram bem diferentes das do primeiro. Mesmo assim, os relatórios das plantas piloto de Indianapolis, EUA e Badenwerk, Alemanha, demonstraram resultados similares aos da planta piloto da EPS Kawęczyn, concernentes à influência positiva da concentração aumentada de SO_2 na entrada, em relação à eficiência de remoção de NO_x , conforme Figura 37.

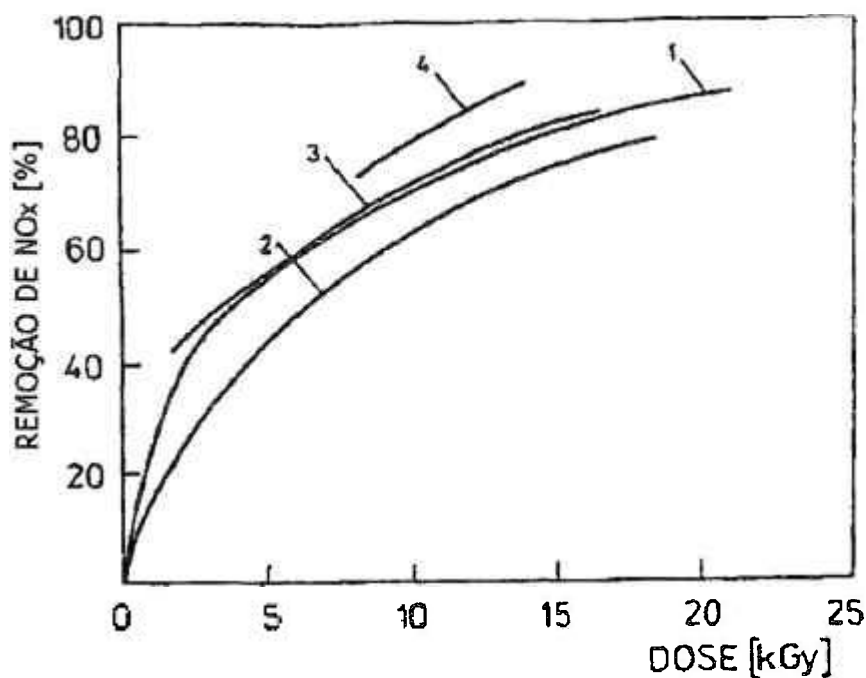


Figura 35. Eficiência de remoção de NO_x obtida em diferentes plantas piloto:
 1- Indianapolis, EUA ($\text{NO}_x = 270\text{-}290$ ppm, $\text{SO}_2 = 800\text{-}1500$ ppm, $t_{\text{saída}} = 80\text{-}85^\circ\text{C}$, $R(\text{NH}_3) = 0,8\text{-}1,7$);
 2- Badenwerk, Karlsruhe ($\text{NO}_x = 250\text{-}450$ ppm, gás dessulfurizado, $t = 70^\circ\text{C}$, $R(\text{NH}_3) = 0,7\text{-}1,5$);
 3- Kawęczyn, Polônia ($\text{NO}_x = 150$ ppm, $\text{SO}_2 = 300$ ppm, $t = 70^\circ\text{C}$, $R(\text{NH}_3) = 0,8$)
 4- Nagoya, Japão ($\text{NO}_x = 200\text{-}220$ ppm, $\text{SO}_2 = 650\text{-}950$ ppm, $t_{\text{saída}} = 63\text{-}72^\circ\text{C}$)^[5]

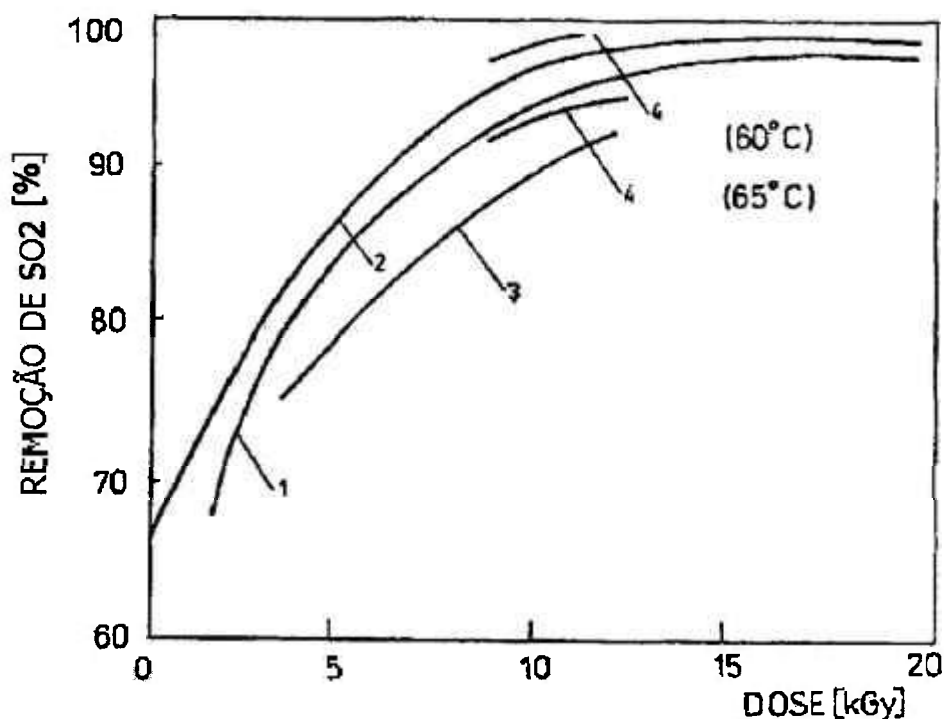


Figura 36. Eficiência de remoção de SO_x obtida em diferentes plantas piloto:
 1- Indianapolis, EUA (SO₂ = 800-1500 ppm, t = 74-77°C, R(NH₃) = 0,84-1,17);
 2- Badenwerk, (SO₂ = 300 ppm, t_{saída} = 70°C, H₂O = 7-12 %, R(NH₃) = 1);
 3- Kawęczyn, Polônia (SO₂ = 1000 ppm, t_{entrada} = 70 °C, H₂O = 5% vol, R(NH₃) = 0,75);
 4- Nagoya, Japão (SO₂ = 700-850 ppm, t_{saída} = mostradas na Figura).^[5]

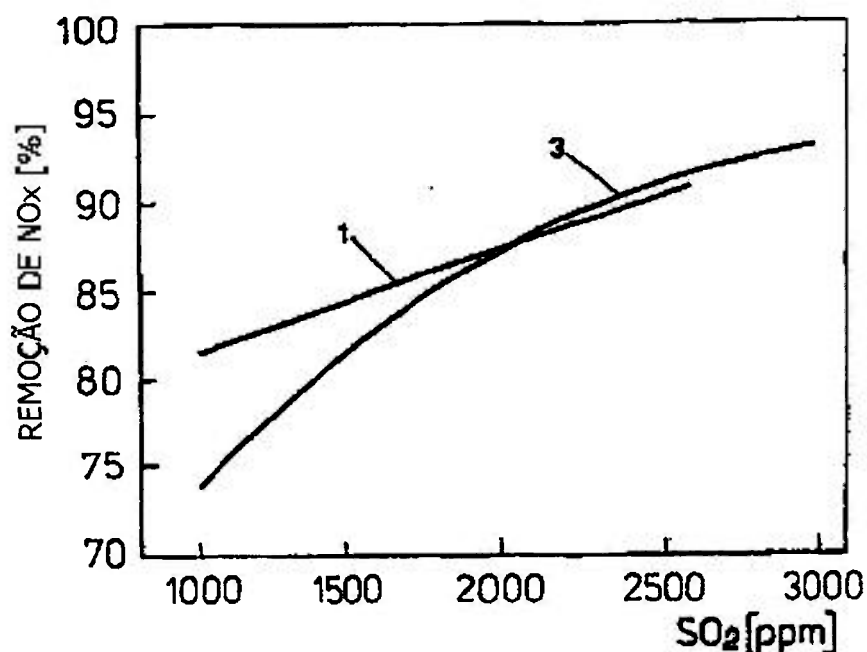


Figura 37. Influência da concentração de SO₂ na eficiência de remoção de NO_x :
 1- Indianapolis, EUA (NO_x = 290-410 ppm, R(NH₃) = 0,95-1,3, t = 83-91 °C, 18-20 kGy);
 3- Kawęczyn, Polônia (NO_x = 135 ppm, R(NH₃) = 0,6-0,75, 11,5 kGy).^[5]

3.1.6. Aplicações dos subprodutos^[5]:

Na Tabela 14 é dada a composição amostral do subproduto do processo para os gases da queima do carvão. Em princípio, o subproduto com pouco conteúdo de cinzas (menos de 2%) é equivalente ao fertilizante comercial de sulfato de amônio. A forma granulada tem um melhor valor comercial de modo que são incluídos granuladores a seco no seu tratamento final.

Tabela 14. Composição dos subprodutos (caldeiras queimando carvão), % em peso. ^[5]

| Planta-piloto | N(total) | N(NH ₄ ⁺) | N(NO ₃ ⁻) | S(total) | S(SO ₄ ²⁻) |
|---------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|---|
| Kawęczyn | 19,5- 21,6 | 19,4-20,7 | 0,74-1,9 | | |
| Badenwerk | 19,5 | 19,4 | 0,74 | 25,5 | 24,5 |
| Nagoya | | NH ₄ ⁺ 25,4 | NO ₃ ⁻ 5,45 | 65,6 | (NH ₄) ₂ SO ₄ |
| Indianapolis | | | NH ₄ NO ₃ 5 | 95 | |

Outra possibilidade é utilizar o subproduto como componente do fertilizante NPK. Um teste realizado na Polônia mostrou que uma mistura composta desse subproduto atende os padrões para esse tipo de produto.

Os testes agrícolas foram realizados com o subproduto puro e o subproduto com diferentes conteúdos de cinza. Os resultados foram muito positivos. Esse subproduto também foi registrado como um fertilizante no Japan Fertilizer Act.

Os conteúdos de metais pesados ,em ppm são:

| | | | | |
|---------|------|------------|-----------|----|
| Cd | Cr | Hg | As | Pb |
| 0,5-0,6 | 1-24 | 0,025-0,05 | 0,25-0,39 | <5 |

que é muito menor que os valores permissíveis para fertilizantes comerciais que são:

As- 50ppm, Cd- 140ppm, Pb- 140ppm, Hg-2ppm.

O consumo mundial de sulfato de amônio é estimado em aproximadamente 15 milhões de toneladas por ano; nos EUA, 2 milhões de toneladas por ano. É interessante notar que a demanda de fertilizantes contendo enxofre aumentará no futuro.

Os pesquisadores acreditam que as deficiências de S nos países industrializados poderia não existir se houvesse maior investimento na pesquisa de nutrientes de S para agricultura. A Figura 38 mostra a progressiva deficiência de S nos campos de *Brassica*, no Norte da Europa, para o qual esses campos têm considerável importância agrícola. As razões desses crescentes sintomas de deficiência de S nas espécies de *Brassica* são devidas principalmente à significativa redução de deposição atmosférica de S no ecossistema agrícola durante a última década.

A redução de S também causa problemas ecológicos crescentes por causa da redução da eficiência de fertilizante com N nas terras deficientes de S, resultando na crescente lixiviação do nitrato nas águas subterrâneas e acúmulo provável de ozônio na superfície^[5].

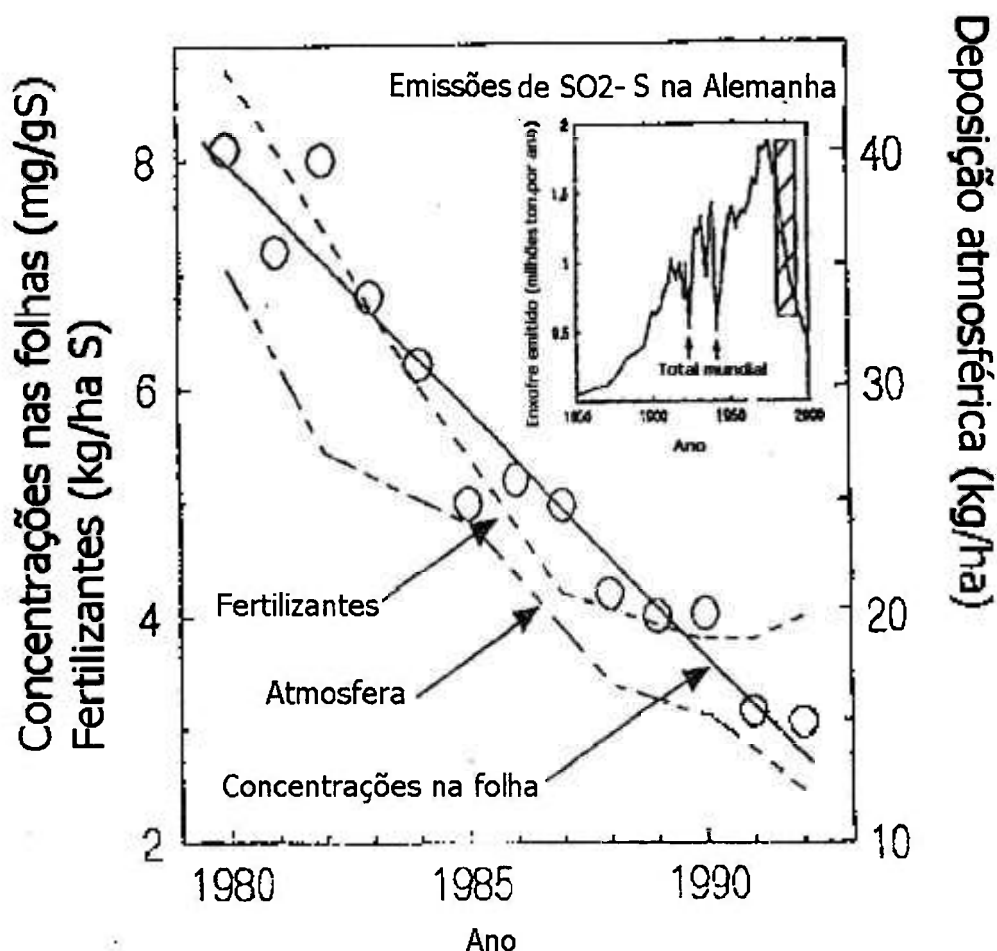


Figura 38. Deficiência de enxofre em folhas de *Brassica*, observada na Alemanha^[5].

3.2. Projetos industriais

Há três projetos industriais em desenvolvimento na China, Japão e Polônia^[5]. Há outros planejados, por exemplo nos EUA ^[5]. O último projeto aplica uma moderna tecnologia baseada no acelerador transformador de alta potência(HPTA).

3.2.1. Projeto industrial na China ^[5]

A empresa japonesa Ebara Co. construiu uma planta de dessulfurização por feixe de elétrons na Usina Termoeletrica de Seito, administrada pela Sichuan Electric Power, conforme a Figura 39:

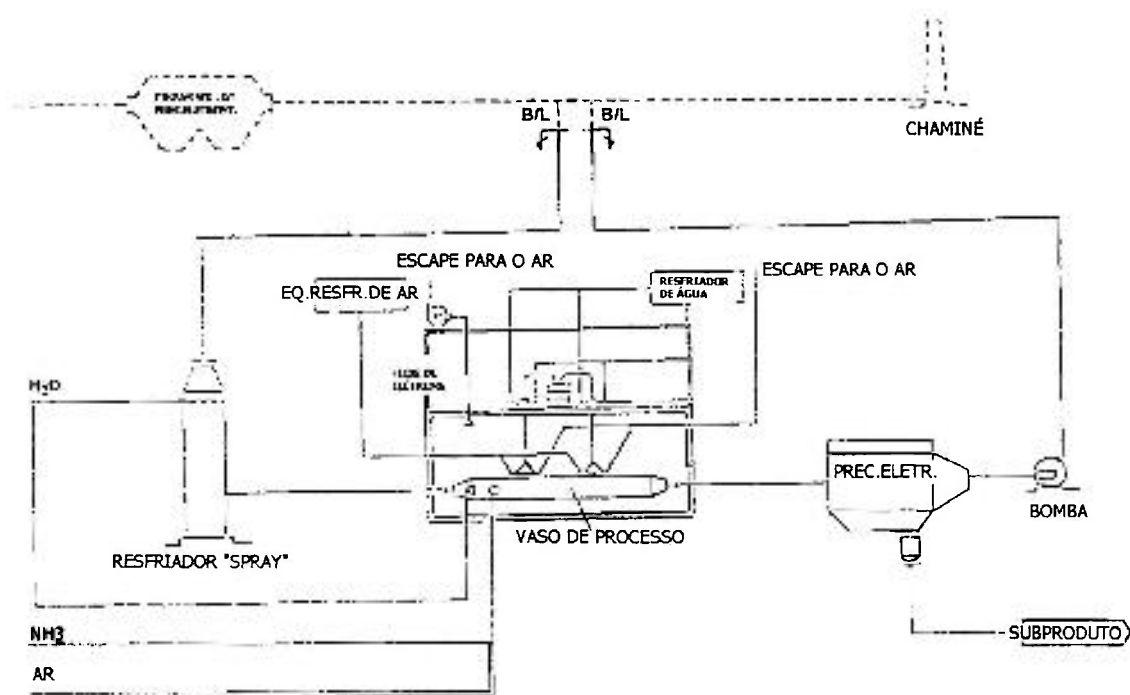


Figura 39. Esquema da planta de demonstração da Ebara construída na Planta de Seito, Sichuan, China ^[5].

A instalação trata gás de uma usina termoelétrica a carvão (2% S) de 100MW . A vazão de gás de 300000 Nm³/h é tratada com a dose de de 3,2 kGy, assegurando a remoção de 80% de SO₂ e 10% de NO_x. A concentração de entrada de SO₂ é de 2000 ppm.

São utilizados 2 aceleradores de 800 keV e 800mA. A produção de subprodutos fertilizantes é de aproximadamente 2470 kg/h.

3.2.2. Projeto industrial no Japão^[5]

Foi iniciada a construção de uma planta na Usina Termoelétrica de Nishi-Nagoya que pertence à Chubu Electric Power Company Inc. A instalação tratará 620000 Nm³/h de gases emitidos de uma caldeira que produz vapor para gerar uma energia de 229 MW_e ^[5].

3.2.3. Projeto industrial na Polônia ^[5]

A experiência adquirida durante os testes de laboratório e da planta piloto permitiu a preparação de um projeto industrial de uma planta em escala real. Essa planta será construída em Estação Elétrica de Potência Pomorzany do grupo "Dolna Odra". O fluxo de gás a ser tratado será de 270000 Nm³/h^[5]. Esse fluxo virá de duas caldeiras do tipo Benson de potência equivalente 56 MW_e cada uma suprindo vapor adicional para aquecimento até 40 MW cada. As caldeiras serão reconstruídas durante a construção da planta de tratamento, para atingir uma potência de 60 MW_e e 100MW totais cada uma delas. O período anual de operação é de 6500 horas/ano de plena carga . O esquema da planta é apresentado na Figura 40. As caldeiras queimam carvão betuminoso que tem as seguintes características : poder calorífico de 22820kJ/kg, conteúdo de enxofre 0,72-0,8%, conteúdo de cinzas 21,8% , conteúdo de umidade 7,8%. As caldeiras são equipadas com modernos precipitadores eletrostáticos de quatro zonas com eficiência de remoção de cinzas de 99,8%.As emissões de SO₂ e NO_x seguem os padrões poloneses que são respectivamente 870 g/GJ e 170 g/GJ. Os padrões de ar do local também precisam ser observados. A eficiência de remoção garantida deve ser igual a um mínimo de 80% para o NO_x e 70% para o SO₂ ^[5]. No entanto ,as eficiências possíveis de se obter são 80 e 95% respectivamente. Essa faixa permite que se opere a chaminé com temperatura alta de gases (cerca de 100°C).

O gás é então umidificado com até 10% em volume . A amônia é injetada antes de dois vasos paralelos de irradiação equipados com dois aceleradores de 300kW, 800kV instalados em série (solução da planta piloto de Kawęczyn). Será aplicada irradiação longitudinal do gás. Os aerossóis formados serão coletados num precipitador eletrostático seco com fundo plano aquecido. Os fabricantes garantiram uma alta eficiência de remoção (particulados na saída menos que 20 mg/Nm³) e resistência à corrosão do equipamento. Os subprodutos do processo serão granulados.

O consumo de amônia é estimado em 180-200 kg/h e os subprodutos produzidos em 800kg/h. Serão utilizados aceleradores de alta potência nesses grandes sistemas^[5]: dois aceleradores 2 x 2 x 300 kW (dois HVS mais dois cabeçotes cada), com 800 keV de energia do feixe de elétrons.

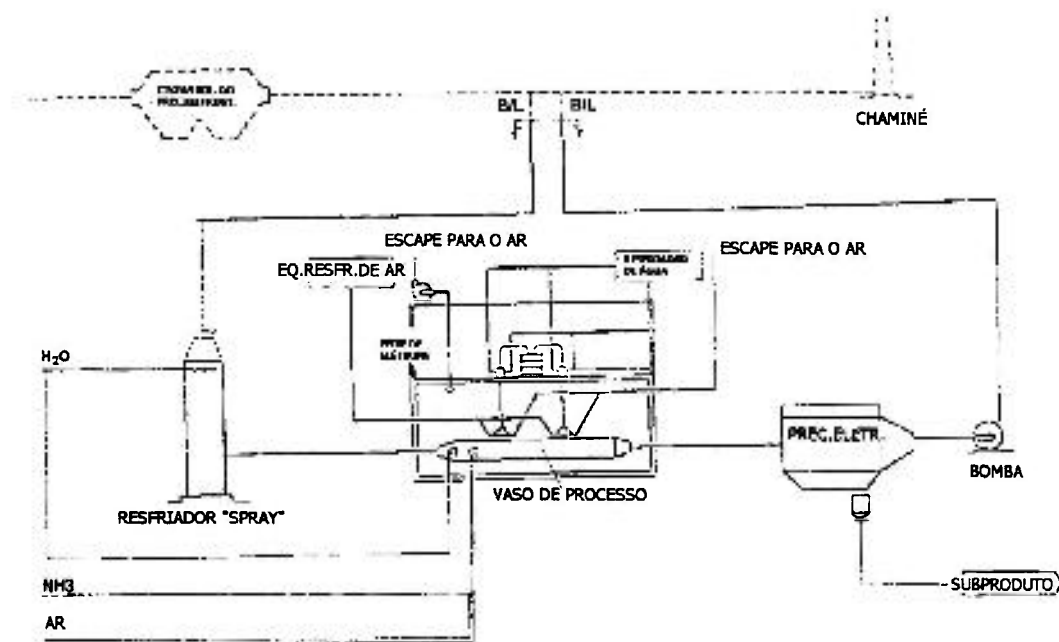


Figura 40. Esquema da planta industrial da Estação de Potência Elétrica de Pomorzany, Szczecin, Polônia ^[5] .

4. USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA

4.1. *Características Técnicas Principais e localização:*

A Usina Piratininga tem 470 MW sendo duas unidades de 100 MW construídas em 1954 e duas de 135 MW construídas em 1960, todas queimando óleo combustível. O consumo a plena carga é de 2800 t por dia. O óleo é do tipo BTE - baixo teor de enxofre (<1%), é bombeado através de oleoduto para tanques de armazenamento com capacidade de estoque de 100000 t, suficientes para um mês de operação contínua a plena carga. As condições do vapor produzido nas unidades 1 e 2 são 61 kgf/cm², 500°C e 395 t/h em cada unidade e nas unidades 3 and 4 são 133 kg/cm², 538°C e 427 t/h em cada unidade. O consumo de óleo combustível consta na Tabela 15. Os turbogeradores são fabricados pela General Electric Co. e as caldeiras são da Babcock and Wilcox (Canadá & EUA).

Atualmente a Usina é de propriedade e é administrada pela EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia S. A., ficando localizada em São Paulo - SP no bairro de Santo Amaro a cerca de 25 km do centro da cidade de São Paulo. A Figura 41 mostra sua localização e a Figura 42, um esquema da mesma.



Figura 41. Localização da Usina Termoelétrica Piratininga. [23]

PIRATININGA POWER PLANT

OPERATING SIMPLIFIED DIAGRAM

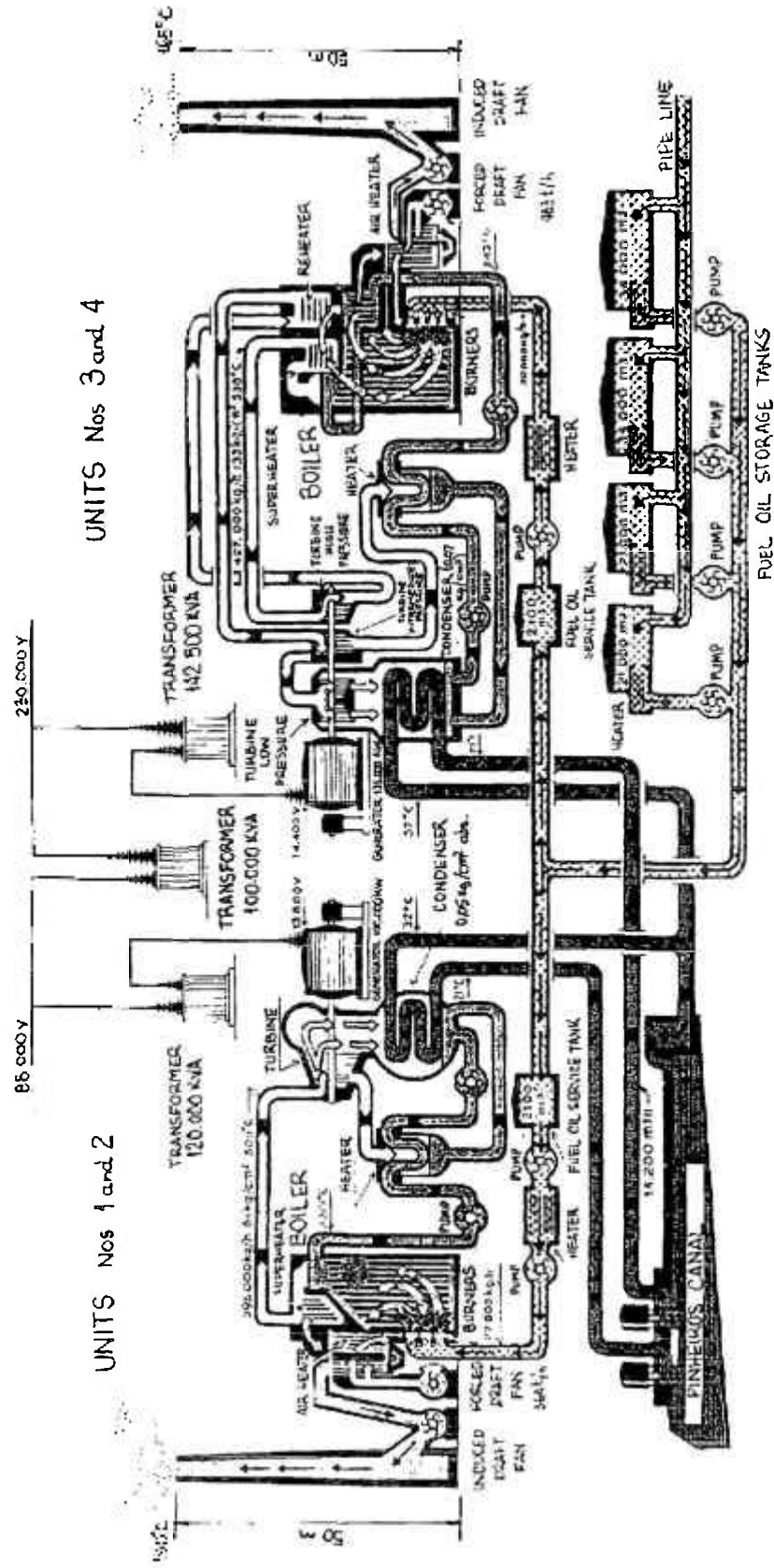


Figura 42. Esquema de funcionamento simplificado da Usina Termoeletrica Piratininga.
Fonte: F. Isina Termoeletrica Piratininga.

Tabela 15. Consumo de óleo combustível na Usina Termoelétrica Piratininga [23]

| UNIDADES | 1 e 2 | 3 e 4 |
|---------------------------------------|-------|-------|
| CONSUMO A PLENA CARGA *(t/h) | 26,5 | 32 |
| VALOR TÉCNICO DA CARGA MÍNIMA **(t/h) | 6,7 | 8,6 |
| EFICIÊNCIA A PLENA CARGA* | 30,8% | 34,6% |

*Potências de plena carga= #1 e 2: 100MW cada, # 3 e 4: 135 MW cada

**Potências de carga mínima= #1 e 2: 20MW cada, # 3 e 4: 30 MW cada

4.2. Poluição do ar causada pela Usina :

Embora até o momento do estudo de conversão dos gases poluentes em matéria prima para fertilizantes, a Usina não dispusesse de dados consolidados sobre a poluição causada por ela em virtude do sistema para monitoração do gás ainda não tivesse sido instalado, estima-se que com a Usina funcionando apenas com uma unidade de 100MW a plena carga, sejam lançadas 1700 t por mês de SO₂, admitindo um consumo mensal de óleo 1B (teor de S até 1%) da ordem de 86000t. Portanto, nessas condições anualmente são lançadas 20400t desse produto na atmosfera.

Esse cálculo é para óleo com baixo teor de enxofre ou seja que contenha menos de 1% de enxofre em peso, correspondente ao óleo combustível tipo 1B. Esse óleo é cerca de 20% mais caro do que o óleo tipo 1A que contém até 3% de enxofre. Caso fosse utilizado o tipo 1A, as emissões seriam cerca de 5100t por mês de SO₂ ou 61200 t por ano.

Esse fato praticamente inviabiliza a geração econômica de energia nesta Usina, uma vez que o óleo 1A não pode ser utilizado para queima por exceder o nível de emissão permitido pela legislação conforme demonstrado na Tabela 16.

Tabela16. Nível de emissão e limites para Usina Termoelétrica Piratininga^[23].

| Para uma unidade de 135 MW | |
|-----------------------------------|--|
| Nível de emissão | 2040ppm (estimado) |
| Limite de emissão | 2000 g/10 ⁶ kcal = 628 ppm[1] |
| Condições de operação da caldeira | |
| (1) Vazão de gás | 370000 Nm ³ /h (úmido) |
| (2) Saída | 135MW |
| (3) Consumo específico de óleo | 0,25 t/MWh (estimado) |
| (4) Poder calorífico superior | 10000kcal/h (estimado) |

[1] O limite de emissão foi calculado como a seguir:

(a) Geração teórica de energia (kcal/h)

$$0,25 \text{ t/MWh} \times 135 \text{ MWh/h} \times 1000 \times 9,841 \text{ kcal/kg} = 332 \times 10^6 \text{ kcal/h } \{a\}$$

(b) Limite de emissão (ppm)

$$\frac{2000 \text{ g/10}^6 \text{ kcal} \times \{a\} \times 22,4 \text{ l/mol} \times 10^{-3}}{64 \text{ g/mol} \times 370000 \text{ Nm}^3/\text{h}} = 628 \text{ ppm}$$

Quanto ao NO_x, embora atualmente o Brasil não tenha limites estabelecidos em Legislação para esse poluente é previsto que os terá em curto ou médio prazo.

A Usina ainda apresenta problemas referentes à emissão de particulados (fumaça) que têm causado várias reclamações da comunidade vizinha junto ao órgão fiscalizador, a CETESB ou à TV, rádio, imprensa.

4.3. Detalhamento do processo de feixe de elétrons aplicado à Usina Termoelétrica Piratininga

O fluxograma detalhado do processo para a Usina Termoelétrica Piratininga está na Figura 43.

O processo de conversão de gases de combustão consiste das seguintes etapas principais:

- (1) Resfriamento do gás de combustão na exaustão.
- (2) Irradiação por acelerador de elétrons.
- (3) Coleta e manuseio dos subprodutos.
- (4) Reaquecimento do gás de combustão.
- (5) Granulação do subproduto.

1) ENTRADA DE GÁS PARA A UNIDADE EBARA
 VAZÃO DE GASES : 370.000 m³/h (CNTP- úmidas)
 SO₂ : 2.040 ppmV
 NO_x : 160 ppmV
 Partículas : 400 mg/m³ (CNTP)
 Temperatura : 150 °C

2) SAÍDA DE GÁS DA UNIDADE EBARA
 VAZÃO DE GASES : 402.900 m³/h (CNTP- úmidas)
 SO₂ : 408 ppmV
 NO_x : 56 ppmV
 Partículas : 50 mg/m³ (CNTP)
 Temperatura : 90 °C

Unidade de geração termoeétrica de 135 MW - Óleo n.º 3 (até 3 % S)

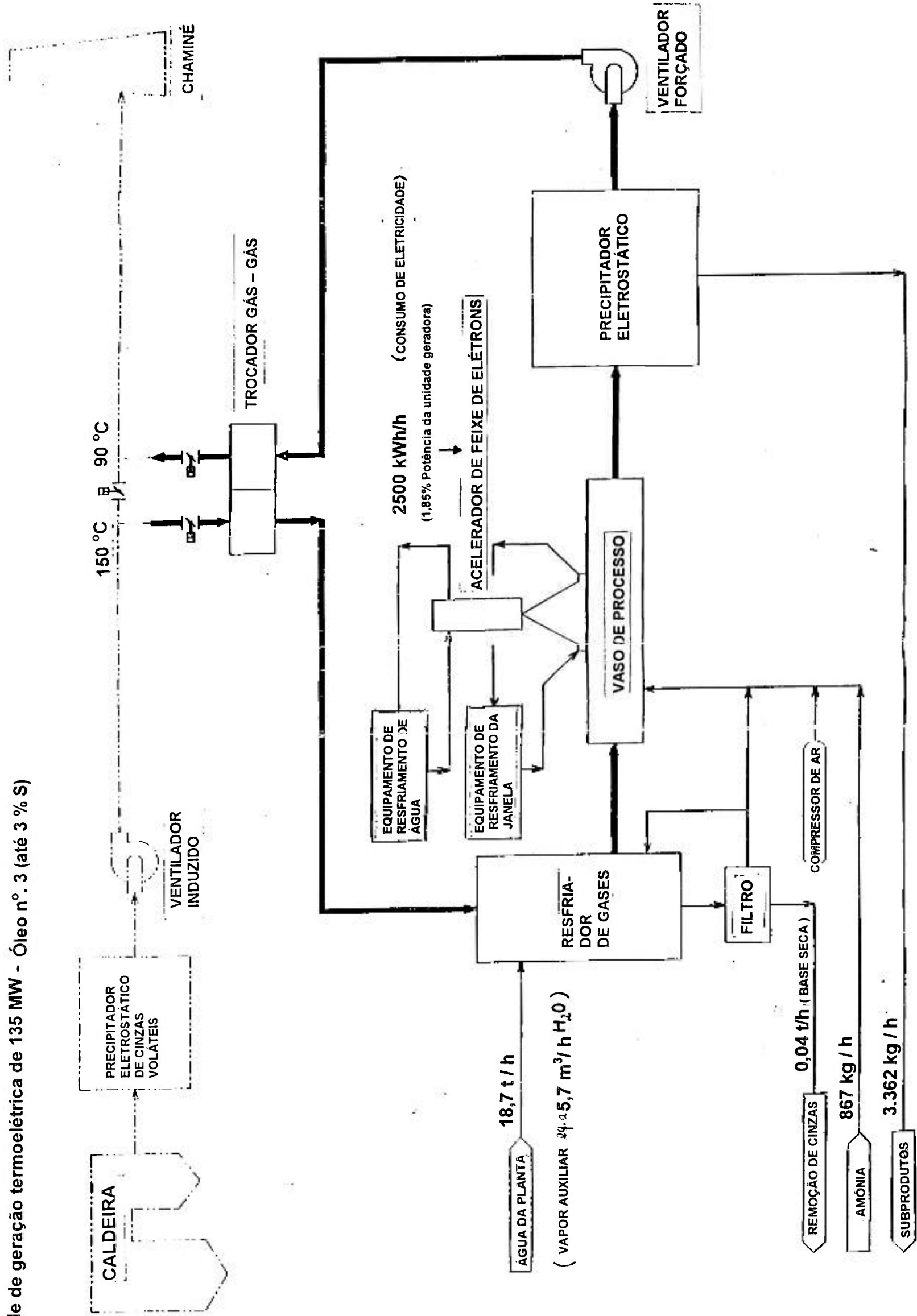


Figura 43. Fluxograma do processo de tratamento de gases da Ebara para a Usina Termoeétrica Piratininga [23]

(1) Resfriamento do gás de combustão na exaustão:

O gás de combustão da caldeira é resfriado em um trocador de calor gás/gás (indicado como GGH no fluxograma do processo) de 150 a 123°C e num resfriador tipo borrifador ("spray"), de 123°C até sua temperatura de orvalho, de modo que ele atingirá uma temperatura ideal para as unidades de irradiação do feixe de elétrons. A razão pela qual o resfriamento é feito através de uma combinação do GGH e do resfriador tipo de borrifador é por causa do alto conteúdo de água nos gases de combustão, sendo que o uso combinado desses 2 equipamentos deve ajudar a minimizar o aumento da umidade devido ao borrifamento de água e também a ajudar a manter a temperatura de gás na saída num nível elevado, 90°C.

O resfriador tipo borrifador utiliza o sistema de água de circulação. Sua escolha foi motivada pelo fato que um sistema com completa evaporação leva a uma torre elevada e a um grande consumo de energia e conseqüentemente a uma baixa eficiência.

A água borrifada é mantida em circulação, o que leva a água de circulação a acumular cinzas e gases ácidos do gás de exaustão ao longo do tempo de operação do borrifador. Para prevenir essa acumulação, uma parte de água de circulação é continuamente descarregada do sistema de circulação e enviada a um sistema de secagem que separa a cinza da água de circulação. Após a remoção da cinza, a água de circulação é utilizada para suprir a alta entalpia de reação do SO₂, reação NO_x/NH₃ e manutenção das condições isotérmicas no vaso de reação do processo.

(2) Irradiação por acelerador de elétrons:

O gás resfriado entra no vaso de reação onde ocorre a irradiação via um labirinto de blindagens instalado para proteção radiológica.

No sentido do fluxo de gases, após a entrada dos mesmos no vaso, é injetada amônia gasosa nesse fluxo em razão subestequiométrica (para que ocorra o máximo de reações sem escapar amônia não reagida para a atmosfera).

Após a injeção de amônia, o fluxo gasoso é irradiado pelo feixe de elétrons. Sob influência do feixe de elétrons, o SO_x e o NO_x contidos no gás são oxidados num tempo muito curto com a formação de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e ácido nítrico (HNO₃) como produtos intermediários. Esses ácidos são neutralizados pela amônia presente na reação formando um aerossol altamente concentrado compreendendo mistura de sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ e nitrato de amônio (NH₄NO₃).

Esses aerossóis de subprodutos são depositados nas paredes do vaso e no duto de gases. Para prevenir essas deposições são instalados dispositivos, acionados a motores, removedores e transportadores desses subprodutos.

Esses aerossóis de subprodutos são depositados nas paredes do vaso e no duto de gases. Para prevenir essas deposições são instalados dispositivos, acionados a motores, removedores e transportadores desses subprodutos.

Os subprodutos depositados são transportados para o sistema de granulação dos subprodutos.

(3) Coleta e manuseio dos subprodutos:

Depois de sair do vaso de reação, o gás processado entra no precipitador eletrostático sêco.

O aerossol de subprodutos formado no gás de saída já processado, é separado e coletado no precipitador eletrostático sêco na forma de partícula pulverizada fina.

Os subprodutos coletados no precipitador eletrostático são transportados por esteiras ao sistema de granulação.

(4) Reaquecimento do gás de combustão:

Depois do tratamento, o gás é reaquecido para prevenir a corrosão da chaminé. O aquecimento também pode ser obtido com aquecimento por vapor ao invés do trocador aquecedor de ar GGH proposto. No entanto, o GGH já é usado para resfriar os gases de entrada que necessitam ser resfriados. Assim se fôr utilizado aquecedor a vapor, haverá redução no custo de construção mas em compensação haverá aumento no consumo de potência na medida em que essa aumentará no feixe de elétrons.

(5) Granulação dos subprodutos:

Os subprodutos produzidos pelo processo são granulados por compactador do tipo de rolos para reduzir seu volume para facilitar o manuseio.

Assim a mistura de subprodutos que tem densidade média de $0,3 \text{ t/m}^3$ é compactada resultando numa mistura com densidade média de $0,8 \text{ t/m}^3$, após a granulação.

4.4. Discussão do processo

4.4.1. Concentração de particulados e SO₂ no gás de entrada

a) Concentração de SO₂

Não há em princípio limitação para a operação em qualquer concentração de SO₂.

A experiência de operação com a planta piloto demonstrou que não há problemas até concentrações de 5500ppm.

No caso da Usina Termoelétrica Piratininga, a concentração real de SO₂ é de 2040 ppm, de modo que não há problema em absoluto.

b) Concentração de particulados

Não há em princípio limitação para a operação, que é possível em qualquer concentração de particulados.

A experiência de operação com a planta piloto no Japão, demonstrou que a operação não apresenta problemas até concentrações de 10 g/Nm³.

No entanto, à medida que aumenta a concentração do particulados, aumenta a concentração de cinzas no subproduto diminuindo o seu conteúdo de nitrogênio. Assim uma alta concentração de particulados tem a desvantagem de reduzir o valor comercial do subproduto para uso como fertilizante.

4.4.2. Consumíveis e Subprodutos

O consumo de utilidades para dessulfurização de 80% SO₂ é apresentado na Tabela 17: ^[23]

| Itens | Consumo |
|-------------------------|------------------------|
| Eletricidade | 2500 kWh/h |
| Água do ciclo da planta | 18,7 m ³ /h |
| Vapor | 5,7 m ³ /h |
| Amônia | 867 kg/h |

Os subprodutos produzidos são:

| | |
|---|-----------|
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | 3211 kg/h |
| NH ₄ NO ₃ | 62 kg/h |
| Cinzas | 89 kg/h |
| Total | 3362 kg/h |

Conteúdo de N : 20,91%

5.COMPARAÇÃO COM PROCESSOS CONVENCIONAIS

Diferentes tecnologias são aplicadas para o controle da poluição do ar, por exemplo dessulfurização de carvão e óleo, modificações de combustão ou purificação do gás de queima. O sistema mais largamente aplicado para caldeiras a carvão, é dessulfurização do gás de queima úmido (FGD, "flue gas desulfurization") utilizando cal ou calcário como reagente e redução catalítica seletiva (SCR, "selective catalytic reduction") para a redução do NO_x .

No primeiro caso, é gerado gesso comercial ou residual inaproveitável e no segundo caso o NO_x é reduzido a nitrogênio utilizando amônia e catalisador. Um esquema do processo é apresentado na Figura 44.

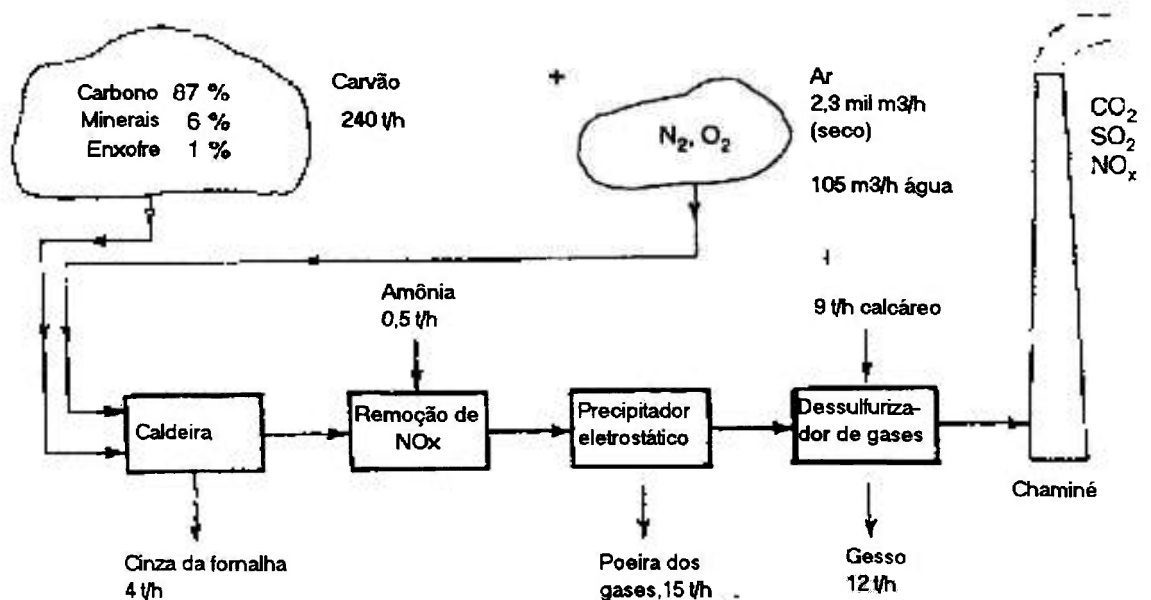
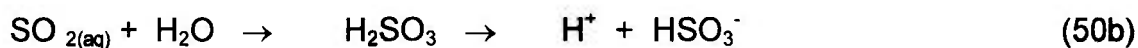


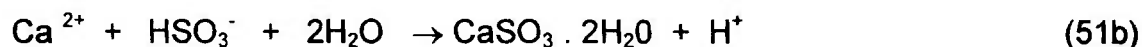
Figura 44. Esquema de instalação convencional (FGD + SCR) para purificação do gás de combustão [5].

Na referência [5], pode-se encontrar outras referências (n.14, 15, 16, 17) a diferentes relatórios que apresentam os diferentes processos FGD nos seus aspectos técnicos e econômicos [5].

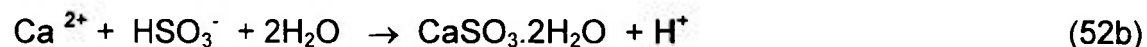
No caso do processo úmido baseado em composto de cálcio, utiliza-se como reagente, suspensão de cal ou calcário. A primeira etapa do processo é a absorção de SO_2 em fase líquida:



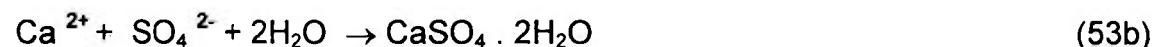
Quando cal é usado como reagente além das reações seguem as seguintes:



e para o calcário:

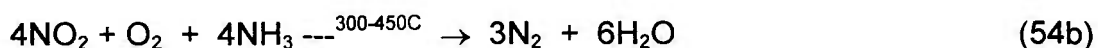


O produto da reação pode ser oxidado utilizando ar atmosférico para se obter gesso:



O processo de remoção do nitrogênio é baseado na redução catalítica (SCR). Como os catalisadores pentóxido de vanádio, óxidos de molibdênio e óxidos de tungstênio depositados meio poroso (dióxido de titânio, óxidos de

alumínio ou silício) são utilizados e a amônia é um redutor. As reações típicas são:



Ambos os processos envolvem tecnologias químicas complexas e diferentes problemas ocorrem durante a operação da instalação (reações indesejáveis, formação de óxidos de produtos de corrosão, entupimentos ,etc).^[5]

5.1. Tecnologia de Controle do SO₂

Com referência a métodos para controlar emissões de SO₂ que são geradas na combustão de vários tipos de combustível contendo enxofre, a dessulfurização do fluxo de gases (FGD) provou ser industrialmente aplicável no Setor Elétrico e no Industrial. A FGD é dividida em 3 métodos: método úmido, método seco e método semi - sêco.

No método úmido, os gases contendo SO₂ são lavados por certos tipos de absorventes que removem o SO₂ e têm sido amplamente aplicado no mundo. No entanto há grandes desvantagens (vide Tabela 18) nesse método e têm sido envidados muitos esforços para desenvolver novos métodos que lhe sejam superiores.

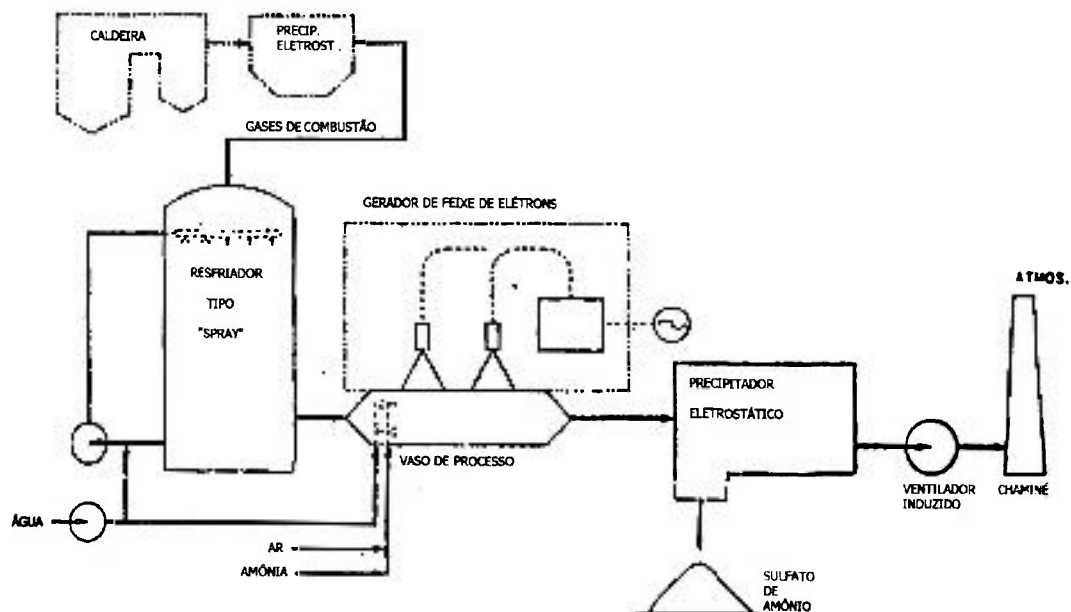
Tabela 18. Comparação entre os principais processos FGD ^[23]

| Processo FGD | Feixe de elétrons{1} | Calcáreo-Gesso | Wellman-Lord | "Spray-dryer" |
|-------------------------------------|--|-------------------------|------------------|---|
| Desempenho | 90% ou mais | 90% ou mais | 90% ou mais | 70~80% |
| Constituição do sistema | Simples | Complexo | Complexo | Complexo |
| Confiabilidade | Boa | Boa | Suficiente | Má |
| Fator econômico | | | | |
| Custo do equipamento | Suficiente | Suficiente | Grande | Pequeno |
| Custo de operação | Suficiente | Suficiente | Grande | Grande |
| Espaço requerido para instalação{3} | ≤ Médio | Médio | Médio | Médio |
| Absorvente | NH ₃ | Calcáreo(Cal) {2} | Sulfito de sódio | Cal, carbonato de sódio |
| Subprodutos | (NH ₄) ₂ SO ₄ NH ₃ NO ₃ | Gesso {2} | Ácido sulfúrico | CaSO ₃ , CaSO ₄ , CaCO ₃ |
| Tratamento dos subprodutos | Vendável | Reutilizável ou rejeito | Reutilizável | Rejeito |

- NOTAS: 1. O feixe de elétrons processa tanto De-SO_x e De-NO_x
 2. Calcáreo- Gesso necessita de tratamento de efluentes líquidos
 3. Em relação ao espaço ocupado pela instalação principal

As Figuras 45 e 46 mostram diagramas esquemáticos de diferentes tipos de processos FGD e a Tabela 18 acima indica a comparação de fatores importantes desse processo.

(1) PROCESSO EBARA



(2) PROCESSO GESSO-CALCÁRIO

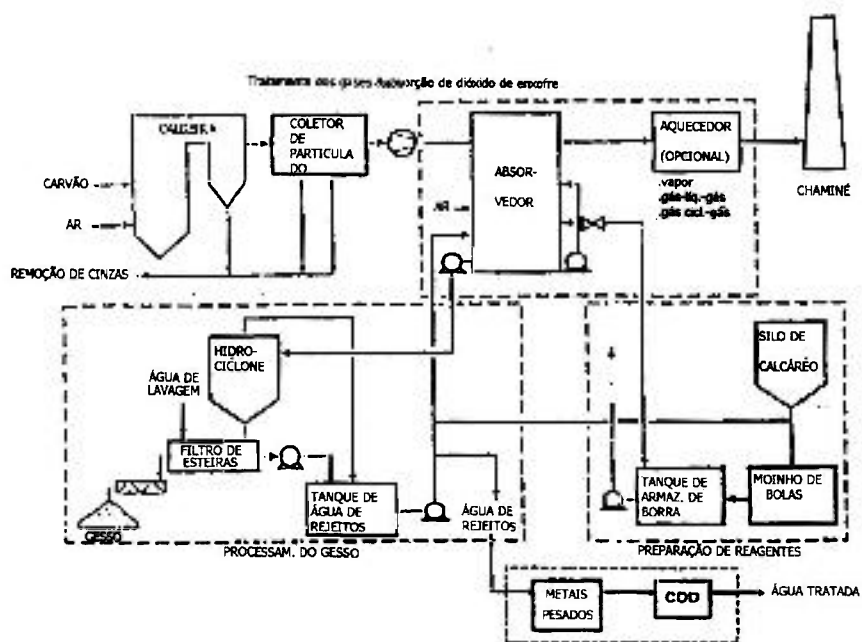
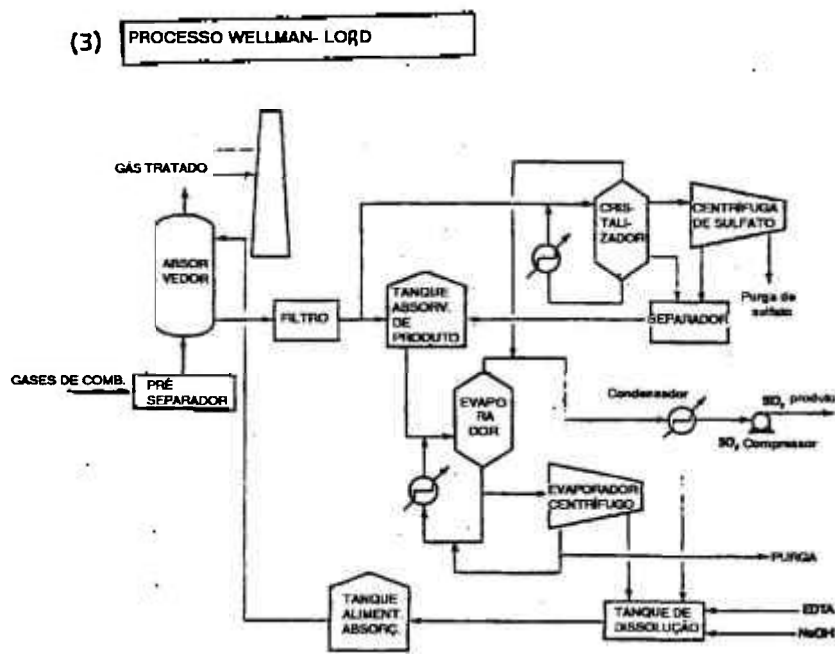


Figura 45 . Fluxograma esquemático do processo principal de dessulfurização de gases (1/2) [23]



(4) **PROCESSO "SPRAY" SECO**

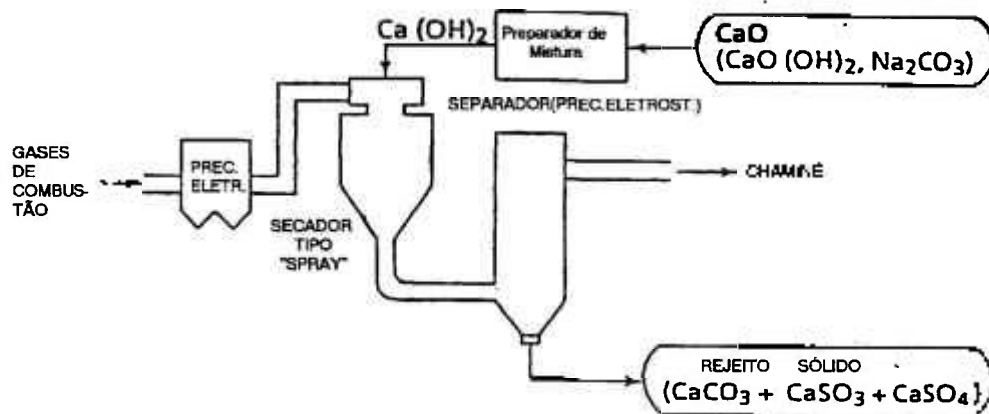


Figura 46 Fluxograma esquemático do processo principal de dessulfurização de gases (2/2) [23]

O processo com calcário - gesso (utiliza o calcário como absorvente), tem ampla aplicação mundial, com alta confiabilidade de operação, fácil e contínua disponibilidade do calcário.

O processo "spray dryer" que é um FGD semi-sêco é muito mais simples quanto ao processo e pode ser instalado e operado a um custo mais baixo

comparado com o processo calcário - gesso. Esse processo no entanto tem uma eficiência limitada na remoção do SO_2 em torno de 70-80%. Por causa disso, é necessária a instalação de equipamento adicional para remoção de SO_2 , quando por exemplo esse processo é adotado em países da Comunidade Européia onde é requerida uma maior eficiência na remoção do SO_2 .

Na Tabela 19 se apresenta a comparação entre os 2 métodos FGD secos --- o processo utilizando óxido de manganês e o utilizando carvão ativado --- e o por feixe de elétrons .

No caso do processo utilizando óxido de manganês, o SO_2 é removido por esse óxido que é aspergido no gás de combustão, sendo o SO_2 convertido em sulfato de manganês. Esse sulfato é regenerado em óxido de manganês que é reutilizado como absorvente do subproduto resultante, o sulfato de amônio. Esse processo, entretanto é muito complexo e raramente utilizado até o presente.

No caso do processo utilizando carvão ativado, o SO_2 é removido através da adsorção do gás de combustão, sendo o SO_2 convertido em ácido sulfúrico através da reabsorção de água pelo carvão. O processo com carvão ativado tem a desvantagem da torre de adsorção ser cerca de tres vezes maior que a usada no método úmido, devido à razão de adsorção entre o carvão ativado e o SO_2 ser muito lenta. Além disso, para se recuperar enxofre como subproduto, é necessário instalar reatores de multiestágio tipo Claus fazendo todo o sistema complicado e extenso requerendo grande espaço de instalação.

Analisando a Tabela 19, verifica-se que o método de conversão dos gases poluentes por feixe de elétrons é mais vantajoso que a maioria dos métodos convencionais. O único inconveniente do processo é a formação de uma parcela muito pequena de óxido nitroso, conforme mostra a secção 2.2.7.

Tabela 19. Comparação entre os processos FGD(sêcos) [23]

| Método Item | Feixe de elétrons | Carvão Ativado (Reabs. de água) | Óxido de manganes |
|---------------------------|--|--|--|
| Absorvente/ Adsorvente | NH ₃ | Carvão Ativado | MnO ₂ |
| Subprodutos | (NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ NO ₃ | Ácido sulfúrico | (NH ₄) ₂ SO ₄ |
| Vantagens | <ul style="list-style-type: none"> . Sistema :De-SO₂ e De-NO_x . Tratamento de água:não requer . Subproduto: vendável . Readaptável | <ul style="list-style-type: none"> . Tratamento de água:não requer . Reaquecimento de gás:não requer . Subproduto: reutilizável | <ul style="list-style-type: none"> . Subproduto: Reutilizável |
| Desvantagens | <ul style="list-style-type: none"> . Início de operação comercial | <ul style="list-style-type: none"> . Aplicável somente para baixa concentração de SO₂ . Carvão ativado é caro . Entrada restrita de particulados | <ul style="list-style-type: none"> . Sistema complexo . Muitos equipamentos auxiliares . Alto consumo de utilidades |
| Plantas comerciais | Início | Poucas | Nenhuma |

5.2. Tecnologia de Controle do NO_x

5.2.1. Remoção do NO_x por modificação na combustão

A maior parte do NO_x vem da combustão de combustíveis fósseis e quase todo na forma de NO, no momento de seu aparecimento. Parte do NO_x gerado por combustão, é chamado NO_x combustível que resulta da reação do nitrogênio no ar à alta temperatura e é assim chamado de NO_x térmico.

A geração de NO_x pode ser reduzida à metade pela modificação na combustão conforme a Tabela 20.

Tabela 20. Concentração de NO_x no gás de combustão(ppm) ^[23]

| | Gás N= 0% | Óleo N=0,1-0,5% | Carvão N=1-3% |
|--------|-----------|-----------------|---------------|
| Sem MC | 200-300 | 300-500 | 500-1000 |
| Com MC | 50-100 | 80-200 | 200-400 |

MC = Modificação na Combustão

Os princípios e métodos dessa modificação são mostrados na Tabela 21:

Tabela 21. Princípios e métodos de remoção de NO_x ^[23]

| Tipo de NO_x | Princípio de redução | Método de redução | Tipo |
|--|---|--|----------------------------|
| NO_x de queima (do N existente no combustível) | Uso de combustível de baixo nitrogênio | Remoção de N do combustível Mudança de combustível | Modificação do combustível |
| | Combustão com baixo teor de oxigênio | Mudança da condição de combustão | |
| NO_x térmico(do N_2 do ar) | Combustão com baixo teor de oxigênio | Mudança da condição de combustão | Modificação da combustão |
| | Baixa temperatura de chama | Mudança da condição de combustão Mudança do método de combustão | |
| | Pouco tempo de retenção à baixa temperatura | Mudança do método de combustão | |

A fim de permitir o decréscimo do NO_x térmico há os seguintes caminhos:

- (1) Usar combustível com menos nitrogênio (Tabela 20 acima);
- (2) Manter sob pressão reduzida o primeiro estágio da combustão de modo que haja falta de ar e conseqüente transformação do conteúdo de nitrogênio em N_2 gasoso;
- (3) Reduzir o excesso de ar;

(4) Abaixar a temperatura da chama;

(5) Diminuir o tempo de retenção no estágio de alta temperatura.

Para conseguir o caminho (2) acima, utiliza-se a combustão em 2 estágios ou seja o combustível é queimado com falta de ar no primeiro estágio e então a combustão é completada fornecendo-se ar suficiente. Para se atingir o caminho (4) é usada a recirculação do gás de queima ou seja o gás resfriado após a combustão é injetado novamente na fornalha. O caminho (5) é obtido por melhorias nos queimadores.

5.2.2. Tecnologia de tratamento do gás de combustão

Há vários tipos de tratamentos para remoção de NO_x . Entre eles, o processo de redução catalítica seletiva é considerado um grande progresso. Embora a deposição de poeira no catalisador e sua conseqüente deterioração seja ainda um problema a ser resolvido, muitas plantas para uso comercial foram construídas no Japão e um número menor nos EUA e Alemanha.

A Tabela 22 resume a comparação entre os principais processos De - NO_x nas categorias seca e úmida. Como pode ser visto na Tabela, para as aplicações do setor de utilidades são recomendados os três processos secos, por feixe de elétrons, redução catalítica seletiva ou redução não catalítica. Na Tabela 23 é apresentada a comparação entre os processos secos. Em função de diversas vantagens sobre os dois outros, o processo por feixe de elétrons pode ser também vantajoso no caso do Brasil.

| Processo | Processo seco | | | | | Processo úmido | | | | | Observações (prioridades) | |
|---|--|--------------------|-------|-----------------------------------|---|---------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|
| | Irradiação por feixe de elétrons | Redução catalítica | | Redução catalítica seletiva (SCR) | Absorção de carvão ativado | Absorção de soda | | Mg(OH) ₂ | Oxidação Ozônio Absorção de água | Oxidação Absorção | | |
| | | NH ₃ | Uréia | | | NH ₃ | Kurehaki II | | | | | Showadenk O |
| Item | | | | | | | | | | | | |
| Agente Redutor | Feixe de Elétrons NH ₃ | NH ₃ | Uréia | NH ₃ | NH ₃ ⁺ Carvão ativado | Na ₂ SO ₃ | Mg(CH) ₂ | Mg(CH) ₂ | O ₃ | KN ₂ O ₄ | | |
| Subproduto | (NH ₄) ₂ SO ₄ NH ₄ NO ₃ | | | | enxofre | gesso | gesso | gesso | HNO ₃ | KNO ₃ | | |
| 1. Melhoria do processo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | IMPORTANTE |
| 2. Planta comercial | 0 | 0 | 0 | 0 | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | IMPORTANTE |
| 1) indústria | 0 | 0 | Δ | | Δ | X | X | X | X | X | | |
| 2) utilidade | | | | | | X | X | X | X | X | | IMPORTANTE |
| 3. Experiência de operação a longo prazo | Δ | 0 | X | 0 | X | - | 0 | - | 0 | 0 | | IMPORTANTE |
| 4. Processo simples | 0 | 0 | 0 | 0 | X | X | X | X | X | X | | |
| 5. Alta eficiência de remoção de Nox | 0 | X | X | 0 | X | - | 0 | - | 0 | 0 | | IMPORTANTE |
| 6. Tratamento do subproduto | 0 | 0 | 0 | 0 | X | X | X | X | X | X | | |
| 7. Segurança, manuseio, manutenção | 0 | 0 | 0 | 0 | Δ | 0 | 0 | 0 | X | 0 | | |
| 8. Consumo de utilidades | Δ | 0 | 0 | 0 | Δ | X | X | X | X | X | | |
| 9. Depósito de catalisador | 0 | 0 | 0 | Δ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 10. Remoção simultânea de NOSO _x | 0 | X | X | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | IMPORTANTE |

0: recomendável X : não recomendável Δ: recomendável se as melhorias são implementadas

Tabela 22. Comparação de processos De-NO_x[23]

Tabela 23. Comparação dos processos De - NO_x (processos sêcos) ^[23]

| Processo Item | Irradiação por Feixe de elétrons | Redução não catalítica | | Redução catalítica seletiva(SCR) |
|--|---|---|--|---|
| | | NH ₃ | Uréia | NH ₃ |
| Agente redutor | Feixe de elétrons, NH ₃ | NH ₃ | (NH ₂) ₂ CO ⁺ aditivos | NH ₃ |
| Subproduto (Recuperação) (Reação co-lateral) | (N ₄ H) ₂ SO ₄ NH ₄ NO ₃ | ----- | ----- | ----- |
| | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Temperatura de reação (°C) | 60-70 | 900-1000 | 900-1000 | 200-400 |
| Catalisador | ----- | ----- | ----- | Base TiO ₂ |
| Eficiência De-NO _x | 70-90% | Até 50% | Até 50% | 70-90% |
| Vantagens | <ul style="list-style-type: none"> •Processo simples •De Nox baixa temperatura •Remoção simultânea Sox/Nox •Fertilizante vendável •Adaptação na planta existente | <ul style="list-style-type: none"> •Processo simples •Não gera subproduto •Sem catalisador | <ul style="list-style-type: none"> •Processo simples •Não gera subproduto •Sem catalisador | <ul style="list-style-type: none"> •Processo simples •Não gera subproduto |
| Desvantagens : itens a serem solucionados/ desenvolvidos | <ul style="list-style-type: none"> •Operação não comercial | <ul style="list-style-type: none"> •Baixa eficiência •Baixarazão de peso molecular NH3/Nox •Grande deslocamento de NH3 | <ul style="list-style-type: none"> •Baixa eficiência •Baixarazão de peso molecular (NH3)2CO/Nox •Grande deslocamento de NH3 | <ul style="list-style-type: none"> •Alta temperatura característica |
| Plantas de referência | <ul style="list-style-type: none"> •Comissionamento •Planejamento | 1 (Japão) 2 (Alemanha) | Não claramente conhecidas | Mais de 100 plantas |
| Experiência de longo Prazo | ----- | •não se sabe se ainda estão em operação | ----- | Mais de 10 anos |
| Avaliação | O | X | Δ | O |

O : recomendável

X: não recomendável

Δ:recomendável se sanadas as desvantagens

6. RESUMO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA E MONITORAÇÃO DO AR

A Constituição Federal no seu artigo 225 (capítulo VI, Do Meio Ambiente), estabelece que “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 e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. A seguir nos §1º ao 6º, dá as incumbências do Poder Público para assegurar a efetividade desse direito^[30].

6.1. Sistema de Proteção Ambiental

A Figura 47 mostra a organização envolvida no controle de poluição ou conservação ambiental.

A Constituição Federal estabelece que “É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas” (art.23,VI^[30]).

A Constituição do Estado de São Paulo, estabelece no seu artigo 191 que “O Estado e os Municípios providenciarão, com a participação da coletividade, a preservação, conservação, defesa, recuperação e melhoria do meio ambiente natural, artificial e do trabalho, atendidas as peculiaridades regionais e locais e em harmonia com o desenvolvimento social e econômico”. Ainda no artigo 193 VI, que cabe ao Estado, “incentivar a pesquisa, o desenvolvimento e a capacitação tecnológica para a resolução dos problemas ambientais e promover a informação sobre essas questões”.^[31]

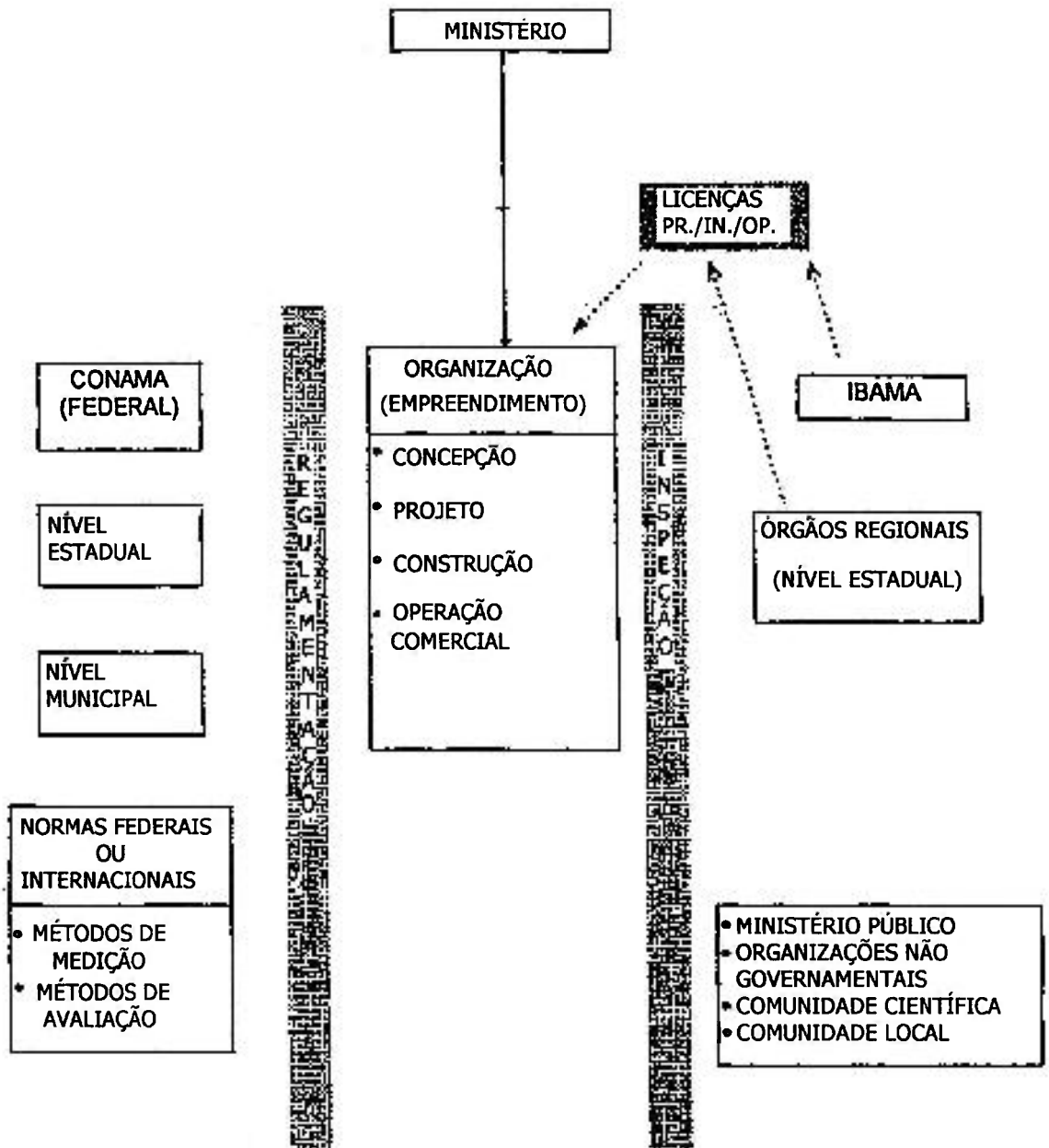


Figura 47. Organização envolvida no controle da poluição ^[23].

Os controles básicos e as políticas de conservação ambiental são estabelecidos e executados conforme a descrição abaixo :

6.1.1. Legislação Federal

- Lei 6938/81:

Estabelece os objetivos e ferramentas para a política ambiental consolidada e pela primeira vez o conceito de desenvolvimento econômico sustentado com a preservação do ambiente.

Uma inovação adicional foi a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) feita pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e pelas agências executivas em nível federal e estadual.

Esse sistema inclui as organizações dos ministérios e setoriais da administração diretamente responsáveis pelo ambiente e as agências estaduais e municipais, bem como as associações profissionais e não governamentais.

Como agência consultiva e deliberativa do SISNAMA, o CONAMA foi criado para divulgar, estudar e propor guias para políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais, bem como considerar regras e padrões compatíveis com o desenvolvimento ambiental, através de suas Resoluções.

As atividades que são capazes de alterar o ecossistema, são somente licenciadas se atenderem às regulamentações estabelecidas.

O CONAMA foi incumbido de definir os critérios a serem adotados para Avaliação de Impacto Ambiental (EIA) e para editar as Licenças assegurando assim o acesso público à informação sobre danos causados e respectivas medidas de proteção. Isto está disposto na Resolução CONAMA nº. 237, de 19/12/97 (ver Apêndice).

- Processo para Licenciamento

São usados três níveis de Licenças:

Licença Prévia (LP) - requer a submissão e aprovação das características principais da planta bem como do seu conceito de controle da poluição e normalmente o EIA para grandes projetos. A LP aponta a viabilidade de uma determinada área para instalação da planta.

Licença de Instalação (LI) - requer os documentos de projeto dos sistemas para controle de poluição, que devem ser consistentes com o EIA e utilizados como referência básica durante a construção.

Licença de Operação (LO) – é obtida após inspeção dos sistemas de controle da poluição instalados, das condições de operação e a conformidade com regulamentação ambiental e padrões dos efluentes. A LO é renovada periodicamente após inspeção e verificação de conformidade.

- Regulamentação ambiental da poluição do ar (ver Apêndice):

Resoluções CONAMA 018/88, 004/88, 003/89, 010/89 - limites máximos para emissões poluentes de veículos e veículos com novos tipos de motores.

Resolução CONAMA 005/89 - descreve o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar e entre outros itens classifica o território em 3 áreas classificadas.

Classe I – áreas a serem preservadas como Reservas e Parques Nacionais onde a qualidade do ar deve ser mantida o mais natural possível.

Classe II – áreas onde o nível de deterioração é limitado pelo padrão de qualidade do ar secundário, com mínimo impacto no bem estar da população e no ambiente.

Classe III – áreas de desenvolvimento, onde o nível de deterioração é limitado pelo padrão de qualidade do ar primário (que pode afetar a saúde da população).

Atualmente, o padrão de qualidade primário está em vigor para as áreas Classe II e III.

Resolução CONAMA 003/90 – estabelece os padrões primários e secundários do ar para serem monitorados de acordo com a área de classificação para os poluentes fumaça, particulado total em suspensão, partículas inalantes em suspensão, SO₂ - dióxido de enxofre, CO - monóxido de carbono, O₃ - ozônio e NO₂ - dióxido de nitrogênio, além dos critérios para episódios agudos de poluição do ar (ver Apêndice).

Resolução CONAMA 008/90 – estabelece os padrões de emissão para equipamentos de monitoração externa da combustão, opacidade, particulado e SO₂ (ver Apêndice).

6.1.2. Legislação do Estado de São Paulo ^[32]

- Decreto Lei no. 5.993, de 16/04/1975, que estabelece no Estado de São Paulo, regiões de controle de qualidade do ar, padrões de qualidade do ar, padrões de emissão, padrões de condicionamento e projeto para fontes estacionárias, plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar (ver Apêndice).
- Lei nº. 977 e Decreto nº. 8.468, de 1976, que regulamentam as ações de controle ambiental e padrões, licenças para novas indústrias, bem como para aquelas já estabelecidas, e as sanções para ações corretivas. Este regulamento mantém os padrões federais de qualidade do ar e acrescenta os seguintes principais requisitos:
 - a) Ringelmann nº. 1 é o limite de emissão para fumaça preta emitida por fontes estacionárias;
 - b) Ringelmann nº. 2 é o limite de emissão para fumaça preta emitida por veículos a diesel a qualquer altitude em operação normal;
 - c) Os padrões de emissão para material particulado são impostos para Cubatão;
 - d) A melhor tecnologia disponível será adotada quando não houver regulamentação para padrões de emissão;
 - e) Normas para localização, operação e sistema de controle para fontes estacionárias;
 - f) Normas específicas para incineração;
 - g) Queimas ao ar livre estão proibidas;
 - h) Fica estabelecido um plano de emergência para episódios agudos de poluição do ar;
- Lei nº. 9690 de 02/06/97, regulamentada pelo Decreto nº. 41858 de 12/06/97, que autoriza o poder Executivo a implantar o Programa de Restrição à Circulação de Veículos Automotores na Região Metropolitana da Grande São Paulo nos anos de 1997 e 1998.

6.2. Padrões de qualidade do ar e limites de emissão

Os níveis de emissão são estabelecidos de acordo com o tamanho das instalações, a categoria da área e o tipo de combustível queimado. Os padrões de qualidade do ar estipulados pelo Governo Federal constam da Tabela 24. A implementação desses padrões é feita de modo independente pelos governos federal e estadual.

Tabela 24. Padrões de qualidade do ar ^[23]

| Poluente | Padrões primários($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Padrões secundários($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|-----------------|---|---------------------|---|-----------------------------|-------|
| | Tempo médio | 24 horas | 1 ano | 24 horas | 1 ano |
| Fumaça | | 150 | 60 | 100 | 40 |
| PTS | | 240 | 80 | 150 | 60 |
| PIS | | 150 | 50 | Igual aos padrões primários | |
| SO ₂ | | 365 | 80 | 100 | 40 |
| CO | | 40000 (1h média) | 10000 (8 h média) | Igual aos padrões primários | |
| Ozônio | | 160 (1h média) | | Igual aos padrões primários | |
| NO ₂ | | 320 (1h média) | 100 | 190 (1h média) | 100 |

PTS= Particulado total em suspensão PIS= Particulado inalável em suspensão
Padrões de emissão no meio ambiente
Padrões ambientais CONAMA resolução 003/90

Os níveis de alerta da qualidade do ar que são níveis de alta concentração causados por condições desfavoráveis para dispersão de poluentes durante pequeno intervalo de tempo constam da Tabela 25.

Tabela 25. Critérios para episódios agudos de poluição do ar - Resolução CONAMA n.03 de 28/06/1990 ^[23].

| Parâmetro | Níveis | | |
|---|---------|--------|------------|
| | Atenção | Alerta | Emergência |
| Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 800 | 1600 | 2100 |
| Particulado total em suspensão (PTS, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h | 375 | 625 | 875 |
| SO ₂ x PTS | 65000 | 261000 | 393000 |
| Monóxido de carbono (ppm) 8h | 15 | 30 | 40 |
| Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h | 400 | 800 | 1000 |
| Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 250 | 420 | 500 |
| Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 250 | 420 | 500 |
| Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h | 1130 | 2260 | 3000 |

Os níveis máximos de poluentes de novas fontes estacionárias determinados pelo Governo Federal (decisão n.º 8 de dezembro de 1990, #2) estão na Tabela 26.

Tabela 26. Níveis máximos de poluentes do ar em fontes fixas de poluição de acordo com a Resolução CONAMA 008 de 06/12/1990 expresso em peso de poluentes por poder calorífico (g/Gcal) ^[23].

| TIPO DE INSTALAÇÃO | TIPO DE POLUENTES | CLASSE ÁREA | |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------------|
| | | I | II / III |
| POTÊNCIA NOMINAL < 70 MW | PARTÍCULAS (PTS) | 120 | 350 ÓLEO / 1500 CARVÃO |
| | SO ₂ | 2000 | 5000 NOMINAL |
| POTÊNCIA NOMINAL > 70 MW | PARTÍCULAS (PTS) | --- | 120 ÓLEO / 800 CARVÃO |
| | SO ₂ | --- | 2000 |

Nota 1: maior consumo anual = 3000t

O limite de emissão para opacidade é 20% equivalente à escala Ringelmann #1

6.3. Sistema de monitoração e medição da poluição do ar

Os sistemas de monitoração para poluição do ar não estão ainda suficientemente estabelecidos no Brasil. Atualmente algumas estações experimentais de monitoração do nível de emissões e da qualidade do ar estão instaladas em usinas térmicas localizadas em áreas na região sul do país com suporte técnico da JICA (Japan International Cooperation Agency). Os dados registrados deverão ser analisados e avaliados para se estabelecer sistemas de monitoração gasosa confiáveis. É urgente que se estabeleçam tais sistemas no país, para a tomada de ações efetivas para a melhoria da qualidade do ar, acompanhando os limites impostos pela legislação. Os métodos de monitoração gasosa sob testes estão na Tabela 27.

Tabela 27. Métodos de Monitoração de gases em fase de testes (novembro de 1997) ^[23]

| Poluente | Tempo de avaliação | Método de medida |
|------------------------|---|--|
| PTS | Média geométrica anual Conc. média em 24 horas | Método de amostragem Grande volume de ar |
| Fumaça | Média aritmética anual Conc. média em 24 horas | Método de refletância |
| Partículas respiráveis | Média aritmética anual Conc. média em 24 horas | Método de filtragem- - separação inercial |
| Dióxido de enxofre | Média aritmética anual Conc. média em 24 horas | Método de pararosnilina |
| Monóxido de carbono | Conc. média em 8 horas Conc. média em 1 hora | Análise de absorção infra Vermelha, não dispersão |
| Ozônio | Conc. média em 1 hora | Método de quimioluminescência |
| Dióxido de nitrogênio | Média aritmética anual Conc. média em 24 horas | Método de quimioluminescência |

(unidade: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

6.4. *Estações automáticas de monitoração do ar*

Foram instaladas estações para teste, em torno de usinas térmicas no Brasil, para monitoração do ar. O SO_2 e o NO_x são continuamente analisados através da extração do ar do topo das respectivas estações. Os princípios utilizados são fluorimetria ultravioleta para SO_2 e quimioluminescência para o NO_x .

Os valores analíticos instantâneos do SO_2 e do NO_x são mostrados na tela e é gravado o valor médio de uma hora. Os dados para 35 dias consecutivos são automaticamente armazenados num banco de dados em cada estação de monitoração e copiados em disquete. Este é enviado ao Japão e lá processado. No futuro, será processado num centro computacional no Brasil, após a JICA fazer a instalação do "hardware" e do "software".

6.4. *Particulados aéreos*

Nas mesmas estações, os particulados são amostrados por 24 horas em 6 dias com alto volume de amostra. A sua concentração é determinada em laboratório através de pesagem das amostras coletadas.

6.5. *Métodos de amostragem*

O método aplicado de amostragem química para monitorar SO_2 , NO_2 e NO presentes no ar ambiente, nessas estações, consiste em dois produtos químicos que são colocados nos papéis filtro antes da amostragem e sequencialmente expostos ao ar. Um dos produtos absorve SO_2 e NO_2 enquanto outro absorve NO_2 e NO . É utilizada então a íon - cromatografia para análise em laboratório, dos poluentes absorvidos.

6.7. Acidez de precipitações

A acidez da chuva e das precipitações secas são medidas através de amostras coletadas duas vezes por mês. Os medidores estão localizados em cada usina térmica, na proximidade das estações. Os valores de pH e eletrocondutividade da solução e da chuva são medidos nos laboratórios de cada uma dessas usinas. As soluções e amostras de chuvas são também enviadas aos laboratórios para análise iônica.

6.8. Valores estimados de emissões dos principais poluentes do ar

Para estudar a solução dos problemas de poluição do ar, é importante a avaliação global dos poluentes emitidos. No entanto, não há dados suficientes atualmente na maioria das regiões do Brasil para se obter um diagnóstico confiável para o total do país ou para determinada região ou estado. Uma exceção é a Região Metropolitana de São Paulo onde foram coletados dados significativos usando as redes de amostragem.

- Poluição do ar na Grande São Paulo e Cubatão :

Os poluentes detectados nessas regiões são oriundos na sua quase totalidade das fontes industriais estacionárias ou móveis (automóveis e veículos). Na Tabela 28, são exibidas as estimativas para as fontes de poluição do ar (exceto para os aldeídos) na Grande São Paulo em 1990.

Tabela 28. Estimativa de Poluentes Gasosos na Região Metropolitana de São Paulo em 1990 ^[23].

| Fonte | Poluentes | | | | |
|---------------------|-----------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| | CO | HC | NO _x | SO _x | Particulado |
| Veículo tipo | | | | | |
| Gasolina | 835 | 77,7 | 28,9 | 4,5 | 4,3 |
| Alcool | 172 | 14,3 | 10,0 | -- | -- |
| Diesel | 218 | 35,6 | 159,0 | 73,0 | 9,9 |
| Taxi | 52 | 4,6 | 2,2 | 0,13 | 0,16 |
| Motocicleta | 32 | 6,1 | 0,2 | 0,26 | 0,11 |
| Proc.industr | 38,6 | 12,0 | 14,0 | 44,0 | 44,0 |
| HC= hidrocarbonetos | | dados em 1000 t/ano | | dados de 1990 | |

De acordo com estimativas da CETESB para esse ano a frota de veículos era de aproximadamente 3,5 milhões sendo 1,5 milhões a gasolina e 250000 motocicletas.

Para as indústrias os dados foram obtidos de 800 empresas pesquisadas pela CETESB. Em Cubatão, as indústrias são predominantes em relação aos veículos. A Tabela 29 apresenta os valores de emissão para 21 indústrias sendo 11 químicas / petroquímicas, 1 de mineral não metálico, 1 de papel, 1 de cimento. As emissões são expressas em 1000t/ano de acordo com as referências atuais.

Tabela 29. Estimativa de poluentes gasosos na área de Cubatão em 1000t/ano ^[23].

| Poluente | Emissão |
|------------------------------|---------|
| Material particulado | 31,7 |
| Dióxido de enxofre | 18,1 |
| Óxidos de nitrogênio | 17,4 |
| Fluoretos | 0,07 |
| Amônia | 0,07 |
| Compostos orgânicos voláteis | 4,0 |

Dados de 1990

7. CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR NOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS

7.1. Padrões de Qualidade do Ar

Na Tabela 30 são apresentados os padrões de qualidade do ar relativo ao SO₂ e ao NO_x nos principais países do mundo. Como pode ser notado na Tabela, o Japão tem o padrão mais rigoroso relativo a esses dois poluentes. Esse rigor na legislação foi devido às sérias experiências em anos anteriores quando muitos habitantes sofreram seriamente de doenças respiratórias como asma em áreas altamente habitadas e industrializadas como nas cidades de Yokkaichi e Kawasaki^[23]. Esse padrão muito restritivo foi a força que impulsionou o estudo, desenvolvimento e aplicação de vários tipos de tecnologias de combate à poluição incluindo o processo aqui estudado.

Tabela 30. Padrões de Qualidade do Ar no Mundo ^[23].

| | País | 1 hora | 1 dia | 1 ano |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SO ₂ (mg/Nm ³) | Japão | 0,29(0,1ppm) | 0,11(0,04ppm) | --- |
| | Coréia | --- | 0,43 | 0,14 |
| | Alemanha | 0,4(para 1/2h) | --- | 0,14 |
| | Reino Unido | --- | --- | 0,04-0,06 |
| | França | --- | 0,17 | --- |
| | Itália | --- | 0,17 | --- |
| | EUA | 1,3(para 3h) | 0,365 | 0,08 |
| | Canadá | 0,45(para 1/2h) | 0,15 | 0,03 |
| NO _x (mg/Nm ³) | Japão | --- | 0,08~0,12 (0,04~0,06ppm) | 0,04~0,06 (0,02~0,03ppm) |
| | Coréia | 0,31 | --- | 0,1 |
| | Alemanha | 0,2(para 1/2h) | --- | 0,08 |
| | Reino Unido | 0,5 | --- | 0,135 |
| | França | --- | --- | --- |
| | Itália | --- | --- | --- |
| | EUA | --- | --- | 0,1 |
| | Canadá | --- | 0,21 | --- |

7.2. Regulamentação dos limites de emissão

7.2.1. Regulamentação da emissão de SO₂ no Japão

O padrão de emissão para óxidos de enxofre que é aplicado em plantas que emitem esse poluente pode ser calculado utilizando o fator K que é especificado pelas autoridades da região onde está localizada a planta emissora, de acordo com a seguinte equação:

$$Q = K \times 10^{-3} \times H_e^2$$

Onde Q é a vazão horária de óxidos de enxofre emitidos (Nm³) e H_e é a altura efetiva da chaminé, soma da altura real da chaminé com a altura de ascensão da fumaça. O valor de K que varia com a região, determina inversamente a severidade do controle; a redução do valor K significa controle mais rígido. Esse controle foi denominado "Regulamentação pelo valor-K" e foi promulgado em 28/9/76^[23].

Desde que todas as regiões do Japão estão sob controle do valor-K, elas estão classificadas em 16 classes variando de 3,0 a 17,5 (ver Tabela 4.2.2 – 1 da referência [23]). No caso em que já há altas concentrações ambientais de SO₂ no ambiente, valores especiais do valor-K são aplicados como mostra essa Tabela.

7.2.2. Regulamentação de emissão de SO₂ nos EUA

Na Tabela 31 é apresentado o limite de emissão de SO₂ nos EUA. Os limites de emissão para gases de combustão de caldeiras foram restritos em 1979. Como resultado, depois desse ano, foram exigidos 70% de dessulfurização para queima de carvão de baixo teor de enxofre (conteúdo de enxofre: 0,5 a 0,6%) e mais de 90% de dessulfurização para carvão com alto teor de enxofre (conteúdo de enxofre: 2,5 a 3,5%).

Nos EUA, o padrão de qualidade do ar referente ao SO₂ não é tão restrito como no Japão, como mencionado acima, e também a sua área geográfica é muito maior do que a do Japão. O padrão ambiental do SO₂ é assim satisfeito na maioria dos lugares através do país. A freqüente ocorrência de chuva ácida nos EUA e Canadá parece estar relacionada com esse padrão menos restrito. Foram acumuladas claras evidências no fato de que o crescimento da chuva ácida corresponde diretamente ao aumento nas emissões de SO₂^[23]. Por causa desse crescimento, foi promulgado o Clean Air Act. Suas cláusulas provocaram muita discussão com a indústria. No entanto, após muito debate no Congresso e no Senado, a Emenda do Clean Air Act foi colocada em efeito em novembro de 1990. As medidas resultantes para a prevenção contra chuva ácida foram as seguintes:

- 1) As plantas fontes de poluição precisaram reduzir suas emissões de SO₂ a 2,5 lb/MMBtu até 1/1/95.
- 2) Todas as plantas precisaram reduzir sua emissão de SO₂ a 1,2 lb/MMBtu até 1/1/2000.
- 3) A Agência de Controle da Poluição Ambiental dos EUA estabeleceu os níveis de permissão de NO_x equivalentes às emissões de SO₂ após o ano 2000.

Tabela 31. Padrões de emissão para o SO₂ nos EUA^[23].

| Planta | 1971 | 1979 |
|---|---|--|
| Caldeira de queima de carvão para geração de energia (< 73MW) | 1,20lb/Mbtu (aprox. 480ppm) | Dessulfurização de 90%, máx. 1,2 lb/Mbtu 70% dessulfurização, se SO ₂ < 0,6lb/MBtu |
| Caldeira de queima de carvão para geração de energia (> 73MW) | 0,80lb/Mbtu (aprox. 350ppm) | Dessulfurização de 90%, máx. 1,2 lb/Mbtu sem dessulfurização, se SO ₂ < 0,2lb/MBtu |
| Refinação de metal não ferroso | 650 ppm | 650 ppm |
| Planta de ácido sulfúrico | SO ₂ : 4,0 lb/ton Mistura ácida: 0,15lb/ton | SO ₂ : 4,0 lb/ton Mistura ácida: 0,15lb/ton |

7.2.3. Regulamentação da emissão de SO₂ em países europeus

A Tabela 32 mostra as Metas de emissão dentro da Comunidade Européia para “Grandes Plantas de Combustão”, que foram estabelecidas pelos países membros. Antes desses acordos nas metas de emissão, na antiga República Federal da Alemanha, estavam em vigor limites mais restritos de emissão de SO₂ como indica a Tabela 33, que foram atingidos nesse país em 1988. As plantas existentes com capacidade acima de 50MW precisaram também atingir limites similares aos das novas plantas.

Os Países Baixos e a Itália, acordaram uma regulação incluindo os limites de emissão de SO₂ apresentados na Tabela 34.

A Grã Bretanha estabeleceu o limite de 90% de redução de emissão em plantas acima de 700MW , em 1988. As plantas menores existentes estavam sob discussão ainda em 1996, mas de qualquer forma precisariam atingir padrões de emissão semelhantes em algum tempo^[23].

Os outros membros da Comunidade Européia também estão introduzindo padrões semelhantes a esses^[23].

Tabela 32. Metas de emissão para grandes plantas na Comunidade Europeia ^[23].

| País membro | Emissões de SO ₂ em 1980 (1000 Mt) | Limites superiores de emissão de SO ₂ (1000 Mt/ano) | | | Redução percentual dos totais de 1980 | | |
|----------------------|---|--|------|------|---------------------------------------|------|------|
| | | 1993 | 1998 | 2003 | 1993 | 1998 | 2003 |
| Bélgica | 530 | 318 | 212 | 159 | -40 | -60 | -70 |
| Dinamarca | 323 | 213 | 141 | 106 | -34 | -56 | -67 |
| Ex-Alemanha Oriental | 2225 | 1335 | 890 | 668 | -40 | -60 | -70 |
| França | 1910 | 1146 | 764 | 573 | -40 | -60 | -70 |
| Grécia | 303 | 320 | 320 | 320 | +6 | +6 | +6 |
| Irlanda | 99 | 124 | 124 | 124 | +25 | +25 | +25 |
| Itália | 1450 | 1800 | 1500 | 900 | +25 | +3,5 | -63 |
| Luxemburgo | 3 | 2 | 1,5 | 1,5 | -33 | -50 | -50 |
| Holanda | 299 | 180 | 120 | 90 | -40 | -60 | -70 |
| Portugal | 115 | 232 | 270 | 206 | +50 | +135 | +79 |
| Espanha | 2290 | 2290 | 1730 | 1440 | 0 | -24 | -37 |
| Reino Unido | 3883 | 3106 | 2330 | 1553 | -20 | -40 | -60 |
| Total CE | 14430 | 11066 | 8403 | 6141 | -20 | -42 | -57 |

Tabela 33. Padrões de emissão para SO₂ na ex - República Federal da Alemanha ^[23].

| Tipo da planta | Tamanho da planta | Padrões de emissão |
|---|-------------------|--|
| Todas | <1MW | (2) |
| Caldeiras convencionais | 1~50MW | 200mg/m ³ (3) |
| Caldeiras de leito fluidizado(LF) | 1~50MW | 400mg/m ³ (ou 75% de remoção de SO ₂) |
| Novas caldeiras convencionais | 50~100MW | 2000mg/m ³ |
| Novas caldeiras convencionais | 100~300MW | 2000mg/m ³ (+60% de remoção de SO ₂) |
| Novas caldeiras LF | 50~300MW | 400mg/m ³ (ou 75% de remoção de SO ₂) |
| Novas caldeiras | >300MW | 400mg/m ³ (+85% de remoção de SO ₂) |
| Caldeiras existentes | 50~300MW | 2500mg/m ³ (4) |
| Caldeiras existentes(vida útil>30000h) | >300MW | 2500mg/m ³ (5) |
| Caldeiras existentes(vida útil<30000h) | >300MW | 400mg/m ³ (85% de remoção de SO ₂) |
| Plantas de fabr. de cimento | Todas | 400mg/m ³ |
| Siderúrgicas | Todas | 500mg/m ³ |

(1) Aplica-se carvão com teor limite de enxofre de 1%.

(2) Somente certos tipos de combustíveis sólidos podem ser queimados.

(3) As plantas existentes devem atingir esses padrões depois de 5~8 anos; desde 1994, os limites para plantas entre 10~50MW foram reduzidos pela metade.

(4) Os padrões aplicáveis a novas plantas valem desde 1/4/1993.

(5) As condições de licença especificam se a vida útil de operação é >10000h. Dados baseados em vazões de gases medidas a 273 °K, 1013 mbar após correção para vapor d'água; conteúdo de oxigênio de 7% para caldeiras de leito fluidizado, queima em grelha e plantas abaixo de 50MW, 6% para plantas com queima com fundo seco e 7% para plantas com queima com fundo úmido.

Tabela 34. Padrões de emissão para SO₂ na Bélgica, Itália e Holanda ^[23].

| Tipo da planta | Tamanho da planta | Padrões de emissão |
|--|-------------------|--|
| Bélgica | | |
| Novas plantas desde 3/6/1987 | 50~100MW | 2000mg/m ³ |
| | 100~300MW | 2000mg/m ³ |
| | >300 MW | 400mg/m ³ (250mg/m ³) (1) |
| Itália | | |
| Todas as plantas | --- | (2) |
| Novas plantas | >100MW | 1200mg/m ³ (3) e após 400mg/m ³ |
| Plantas sob construção | >100MW | 1200mg/m ³ (3) e após 400mg/m ³ |
| Plantas existentes(5) | >400MW | 1200mg/m ³ |
| Holanda | | |
| Novas plantas | >300MW | 400mg/m ³ (6) |
| Novas plantas | 50~300MW | 700mg/m ³ |
| Plantas existentes(desde 1990) | >300MW | 400mg/m ³ (6) |
| Plantas existentes(até 1990) | ---- | (7) |
| Plantas industriais existentes (até 1990) | ---- | (8) |

(1) Limites mais restritivos aplicam-se a plantas construídas após 31/12/1995.

(2) Carvão com teor limite de enxofre de 1%.

(3) Aplicam-se valores mais altos a novas plantas que entraram em operação após fevereiro de 1987 para os primeiros 2 anos (até 1989).

(4) Valores mais altos aplicam-se para o segundo ano de operação, menores para o terceiro ano de operação.

(5) Aplicam-se a plantas convertidas para queima de carvão. Esses limites aplicam-se após a conversão completa. Para plantas em conversão durante o período de introdução da lei, os limites precisavam ser atingidos dentro de 5 anos de operação.

(6) Remoção de 85% de SO₂ por dessulfurização do fluxo de gases (FGD).

(7) Limite do teor de enxofre no carvão de 0,08% (aproxim. 1500mg/m³).

(8) Limite do teor de enxofre no carvão de 1,2% (aproxim. 2300mg/m³).

Dados baseados em vazões de gases medidas a 273 °K, 1013mbar, 6% de oxigênio em volume.

Tabela 36. Regulamentação do NO_x e emissão para caldeiras de potência [23]

| Com- bustível | Cia. de gera- ção | Usina | Potên- - cia (MW) | Nova / Existen- - te | NO _x (ppm) | | |
|------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| | | | | | Padrão de emis- são | Valor acorda- do | Emis- são real |
| Gás | Chubu | Chiba | 700 | E | 60 | 10 | 4 |
| Gás | Tokyo | H.Ogishima | 1000 | N | 60 | 10 | 4 |
| Óleo | Chubu | Nishinagoya | 375 | E | 150 | 20 | 11 |
| Óleo | Kansai | Gobo | 600 | N | 130 | 16 | 11 |
| Carvão | Chugoku | Mizushima | 156 | E | 250 | 70 | 64 |
| Carvão | Hokuriku | Toyamashinko | 200 | E | 250 | 154 | 138 |
| Carvão | Dengen Kai- hatsu | Matsuura | 1000 | N | 200 | 60 | 23 |

7.2.5. Regulamentação da emissão de NO_x nos EUA

Na Tabela 37 são apresentados os limites de emissão nos EUA. O padrão de emissão foi acordado em 1971 para caldeiras de geração para plantas com mais de 73 MW. Para caldeiras queimando carvão, os padrões tornaram-se mais rígidos em 1979 caindo para 380-450 ppmV dependendo do tipo de carvão. O padrão para queima de gás ou óleo é de 170 -260 ppmV, como é apresentado na mesma Tabela [23].

Tabela 37. Padrões de emissão para o NO_x nos EUA ^[23]

| Tipo | Potência | Ano de geração efetiva | Padrões | |
|---|----------|------------------------|----------|-----------|
| | | | Lb/MBtu | ppm |
| Caldeira de geração (carvão) (carvão "brown") (óleo) (gás) | >73MW * | 1979 | 0,6 | Aprox.450 |
| | >73MW * | 1979 | 0,6 | Aprox.380 |
| | >73MW * | 1971 | 0,3 | Aprox.260 |
| | >73MW * | 1971 | 0,2 | Aprox.170 |
| Caldeira industrial (carvão pulverizado) (carvão aglomerado) (óleo,gás) | >29MW | em estudo | 0,7 | Aprox.530 |
| | >29MW | em estudo | 0,6 | Aprox.450 |
| | >29MW | em estudo | 0,2 | Aprox.170 |
| Planta de ácido nítrico | | 1971 | 3,0 lb/t | |

* Vazão de gases >aprox.100000 Nm³/h

8. AGRICULTURA BRASILEIRA E FERTILIZANTES

8.1. Panorama da agricultura brasileira

Na safra de 1998/9 a produção das principais 16 culturas agro-vegetais atingiu a quantidade de 142361 mil toneladas, a área colhida de 45669 mil hectares e a produtividade média foi de 3117 kg/ha. A quantidade exportada foi de 89188 mil toneladas correspondentes a 62,6% da produção total e os remanescentes 37,4% foram principalmente produtos para consumo interno.

O desempenho da agricultura brasileira nos últimos 10 anos é mostrado nas Tabelas 38,39 e 40 .

Tabela 38. Produção brasileira de agro-vegetais ^[33]

| (em mil tons)Produto | 1989/ 90 | 1990/ 91 | 1991/ 92 | 1992/ 93 | 1993/ 94 | 1994/ 95 | 1995/ 96 | 1996/ 97 | 1997/ 98 | 1998/ 99 |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Produto de exportação | | | | | | | | | | |
| Café em grãos | 2926 | 3051 | 2587 | 2555 | 2613 | 1858 | 2686 | 2341 | 3450 | 3260 |
| Soja (1) | 19888 | 14938 | 19185 | 22558 | 24912 | 25651 | 23562 | 26431 | 31374 | 30904 |
| Laranja(x 0,10) (2) | 1984 | 2142 | 2228 | 2127 | 1974 | 2223 | 2478 | 2602 | 2349 | 2581 |
| Cana de açúcar(x0,15) (2) | 39991 | 39126 | 40715 | 36646 | 43811 | 45534 | 48889 | 50579 | 50846 | 49997 |
| Cacau | 355 | 320 | 328 | 340 | 330 | 296 | 257 | 285 | 280 | 206 |
| Fumo | 444 | 413 | 577 | 657 | 519 | 455 | 471 | 620 | 510 | 626 |
| Algodão herbáceo (1) | 1775 | 2038 | 1863 | 1127 | 1350 | 1441 | 1003 | 832 | 1177 | 1415 |
| Amendoim (1) | 137 | 139 | 171 | 150 | 159 | 169 | 154 | 140 | 190 | 173 |
| Mamona (1) | 148 | 129 | 102 | 42 | 53 | 32 | 43 | 96 | 14 | 26 |
| Soma | 67048 | 62296 | 67756 | 66202 | 75721 | 77659 | 79543 | 83926 | 90190 | 89188 |
| Produto de consumo interno | | | | | | | | | | |
| Arroz (1) | 7419 | 9496 | 9962 | 10143 | 10499 | 11226 | 9990 | 9290 | 7744 | 11779 |
| Feijão (1) | 2233 | 2749 | 2799 | 2480 | 3368 | 2946 | 2822 | 2991 | 2200 | 2889 |
| Milho (1) | 21341 | 23739 | 30557 | 30004 | 32487 | 36275 | 32185 | 34601 | 29494 | 32178 |
| Mandioca (x0,15) (2) | 3643 | 3680 | 3288 | 3280 | 3668 | 3797 | 3688 | 3646 | 2949 | 3140 |
| Batata (x0,15) (2) | 333 | 340 | 363 | 354 | 372 | 402 | 405 | 414 | 401 | 427 |
| Tomate(x0,10) (2) | 226 | 234 | 213 | 234 | 268 | 270 | 267 | 264 | 275 | 324 |
| Trigo (1) | 3093 | 2921 | 2796 | 2153 | 2092 | 1534 | 3359 | 2441 | 2232 | 2436 |
| Total | 38288 | 43159 | 49978 | 48648 | 52754 | 56450 | 52716 | 53647 | 45295 | 53173 |
| Total de produção Agro-vegetal | 105336 | 105455 | 117734 | 114850 | 128475 | 134109 | 132259 | 137573 | 135485 | 142361 |
| Índice 1970=100 | 212,5 | 212,8 | 237,5 | 231,7 | 259,2 | 270,6 | 266,9 | 277,6 | 273,4 | 287,2 |
| Total de Produção de Grãos | 56034 | 56149 | 67435 | 68657 | 74920 | 79274 | 73118 | 76822 | 74425 | 81800 |
| Índice (1970=100) | 183,3 | 183,7 | 220,6 | 224,6 | 245,1 | 259,4 | 239,2 | 251,3 | 243,5 | 267,6 |

(1) - Produção de grãos (cereais e oleaginosas).

(2) - Considerada na base seca conforme fatores indicados.

Tabela 39. Área colhida nacional agro-vegetal ^[33]

| Produto | (em mil hectares) | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1989/ 90 | 1990/ 91 | 1991/ 92 | 1992/ 93 | 1993/ 94 | 1994/ 95 | 1995/ 96 | 1996/ 97 | 1997/ 98 | 1998/ 99 |
| Produto de exportação | | | | | | | | | | |
| Café em grãos | 2906 | 2767 | 2498 | 2257 | 2096 | 1868 | 1990 | 2051 | 2082 | 2209 |
| Soja (1) | 11481 | 9618 | 9436 | 10627 | 11514 | 11658 | 10736 | 11504 | 13260 | 13011 |
| Laranja | 910 | 981 | 987 | 799 | 896 | 855 | 976 | 975 | 1015 | 1022 |
| Cana de açúcar | 4271 | 4211 | 4201 | 3863 | 4345 | 4565 | 4827 | 4880 | 4972 | 4860 |
| Cacau | 663 | 667 | 731 | 733 | 698 | 738 | 684 | 728 | 710 | 683 |
| Fumo | 272 | 286 | 343 | 372 | 319 | 292 | 304 | 346 | 356 | 341 |
| Algodão herbáceo (1) | 1384 | 1484 | 1594 | 922 | 1060 | 1104 | 805 | 636 | 828 | 665 |
| Amendoim (1) | 83 | 88 | 100 | 85 | 91 | 94 | 80 | 88 | 100 | 97 |
| Mamona (1) | 286 | 233 | 175 | 140 | 106 | 75 | 121 | 152 | 61 | 90 |
| Total | 22256 | 20335 | 20065 | 19798 | 21125 | 21249 | 20523 | 21360 | 23384 | 22978 |
| Produto de consumo interno | | | | | | | | | | |
| Arroz (1) | 3945 | 4127 | 4687 | 4421 | 4415 | 4376 | 3917 | 3572 | 3069 | 3810 |
| Feijão (1) | 4680 | 5443 | 5150 | 3886 | 5469 | 4996 | 4945 | 4828 | 3324 | 4178 |
| | 11391 | 13110 | 13389 | 11868 | 13748 | 13960 | 13415 | 13555 | 10605 | 11626 |
| Mandioca | 1934 | 1943 | 1826 | 1813 | 1849 | 1943 | 1938 | 1910 | 1588 | 1586 |
| Batata | 158 | 161 | 172 | 162 | 171 | 176 | 188 | 182 | 174 | 174 |
| Tomate | 61 | 61 | 52 | 53 | 62 | 62 | 61 | 61 | 63 | 65 |
| Trigo (1) | 2681 | 1995 | 1958 | 1462 | 1348 | 994 | 1820 | 1506 | 1423 | 1252 |
| Soma | 24850 | 26840 | 27234 | 23665 | 27062 | 26507 | 26284 | 25614 | 20246 | 22691 |
| Total Área Agro-vegetal | 47106 | 47175 | 47299 | 43463 | 48187 | 47756 | 46807 | 46974 | 43630 | 45669 |
| Índice (1970=100) | 137,8 | 138,0 | 138,4 | 127,1 | 141,0 | 139,7 | 136,9 | 137,4 | 127,6 | 133,6 |
| Total Área de Grãos | 35931 | 36098 | 36489 | 33411 | 37751 | 37257 | 35839 | 35841 | 32670 | 34729 |
| Índice (1970=100) | 133,6 | 134,3 | 135,7 | 124,3 | 140,4 | 138,6 | 133,3 | 133,3 | 121,5 | 129,2 |

(1) - Área de grãos (cereais e oleaginosas).

Tabela 40. Produtividade brasileira de agro-vegetais ^[33]

| Produto | (kg/ha) | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1989/ 90 | 1990/ 91 | 1991/ 92 | 1992/ 93 | 1993/ 94 | 1994/ 95 | 1995/ 96 | 1996/ 97 | 1997/ 98 | 1998/ 99 |
| Produto de exportação | | | | | | | | | | |
| Café em grãos | 1007 | 1103 | 1036 | 1132 | 1247 | 995 | 1350 | 1141 | 1657 | 1476 |
| Soja (1) | 1732 | 1553 | 2033 | 2123 | 2164 | 2200 | 2195 | 2298 | 2366 | 2375 |
| Laranja | 2180 | 2183 | 2257 | 2662 | 2203 | 2600 | 2539 | 2669 | 2314 | 2525 |
| Cana de açúcar | 9223 | 9291 | 9692 | 9486 | 10083 | 9975 | 10128 | 10365 | 10226 | 10287 |
| Cacau | 535 | 480 | 449 | 464 | 473 | 401 | 376 | 391 | 394 | 302 |
| Fumo | 1632 | 1444 | 1682 | 1766 | 1627 | 1558 | 1549 | 1792 | 1433 | 1836 |
| Algodão herbáceo (1) | 1283 | 1373 | 1169 | 1222 | 1274 | 1305 | 1246 | 1308 | 1421 | 2128 |
| Amendoim (1) | 1651 | 1580 | 1710 | 1765 | 1747 | 1798 | 1925 | 1591 | 1900 | 1784 |
| Mamona (1) | 517 | 554 | 583 | 300 | 500 | 427 | 355 | 632 | 230 | 289 |
| Média | 3013 | 3063 | 3377 | 3344 | 3584 | 3655 | 3876 | 3929 | 3857 | 3881 |
| Produto de consumo interno | | | | | | | | | | |
| Arroz (1) | 1881 | 2301 | 2125 | 2294 | 2378 | 2565 | 2550 | 2601 | 2523 | 3092 |
| Feijão (1) | 477 | 505 | 543 | 638 | 616 | 590 | 571 | 620 | 662 | 691 |
| Milho (1) | 1873 | 1811 | 2282 | 2528 | 2363 | 2598 | 2399 | 2553 | 2781 | 2768 |
| Mandioca | 1884 | 1894 | 1801 | 1809 | 1984 | 1954 | 1903 | 1909 | 1857 | 1980 |
| Batata | 2108 | 2112 | 2110 | 2185 | 2175 | 2284 | 2154 | 2275 | 2305 | 2454 |
| Tomate | 3705 | 3836 | 4096 | 4415 | 4323 | 4355 | 4377 | 4328 | 4365 | 4985 |
| Trigo (1) | 1154 | 1464 | 1428 | 1473 | 1552 | 1543 | 1846 | 1621 | 1569 | 1946 |
| Média | 1541 | 1608 | 1835 | 2056 | 1949 | 2130 | 2006 | 2094 | 2237 | 2343 |
| Média agro-vegetal | 2236 | 2235 | 2489 | 2642 | 2666 | 2808 | 2826 | 2929 | 3105 | 3117 |
| Índice (1970=100) | 154,2 | 154,2 | 171,7 | 182,3 | 183,9 | 193,7 | 194,9 | 202,0 | 214,2 | 215,0 |
| Média de grãos | 1559 | 1555 | 1848 | 2055 | 1985 | 2128 | 2040 | 2143 | 2278 | 2355 |
| Índice (1970=100) | 137,2 | 136,8 | 162,6 | 180,8 | 174,6 | 187,2 | 179,5 | 188,5 | 200,4 | 207,2 |

(1) - Produtividade de grãos (cereais e oleaginosas).

A produção agrícola e a área de fazendas cresceu respectivamente em 187,2% e 33,6 % desde 1970. A diferença entre essas taxas pode ser explicada pelo aumento da produtividade como mostram as progressões comparativas em relação ao índice de 1970, igual a 100 nas Tabelas de área colhida e produção. O desempenho de produção da agricultura brasileira é mostrado na Tabela 41^[33].

Tabela 41. Desempenho da produção nacional agro – vegetal ^[33]

| (médias trienais) | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Indicadores | 78/79 a 80/81 | 81/82 a 83/84 | 84/85 a 86/87 | 87/88 a 89/90 | 90/91 a 92/93 | 93/94 a 95/96 | 96/97 a 98/99 |
| Produção agro-vegetal (1000t)(1) | 79331 | 90226 | 107236 | 112804 | 112680 | 131614 | 138473 |
| Produção de grãos (1000t) (2) | 48222 | 50299 | 59544 | 64502 | 64080 | 75771 | 77682 |
| Área colhida-16 culturas (1000ha) | 43613 | 44087 | 47847 | 50240 | 45979 | 47583 | 45424 |
| Consumo de fertilizante NPK (1000t) (3) | 3548 | 2541 | 3374 | 3600 | 3312 | 4397 | 5394 |
| Produtividade (kg/ha) | 1819 | 2047 | 2241 | 2245 | 2451 | 2766 | 3048 |
| Índice de consumo NPK (kg/ha) | 81 | 58 | 71 | 72 | 72 | 92 | 119 |
| População (1000 hab.) (4) | 115716 | 123890 | 131968 | 139798 | 147052 | 156473 | 161675 |
| Produção per capita (kg/hab) | 686 | 728 | 813 | 807 | 766 | 841 | 856 |

(1) A produção agrícola de vegetais inclui os principais 16 produtos para exportação e consumo interno, ajustando-se para base seca como se segue: cana, mandioca e batata(15%), laranja e tomate (10%).

(2) Cereais e oleaginosas.

(3) Considera o consumo no ano de plantio de safra.

(4) Considera a população no ano da colheita da safra.

O consumo de NPK cresceu 46,9 % ao longo dos anos, de 81 para 119 kg/ha em média.

De acordo com a Universidade de São Paulo ^[23], o mesmo índice para países desenvolvidos é por volta de 140 a 150 kg/ha de NPK. Assim, é possível melhorar a performance da agricultura brasileira através do aumento do uso do NPK.

O Brasil pode se tornar o celeiro mundial. Novas fronteiras agrícolas foram exploradas durante os últimos anos principalmente no Brasil Central. Dados do Ministério da Agricultura mostram importantes transformações ocorridas nessa região. Entre os Estados do Mato Grosso do Sul (MS) e sul do Piauí (PI) há um território plano adequado para o uso de grandes máquinas, dispondo de muita água e muitos meses de sol. De acordo com o Ministério da Agricultura há 45 milhões de hectares não explorados para agricultura só nessa região, o que significa dobrar a área já explorada. A única região do mundo que tem uma área semelhante a essa é a região das savanas africanas. Somente nas proximidades da Chapada dos Parecis há 20 milhões de hectares a serem explorados, o que equivale à reserva de terras dos EUA.

Esses números mostram o potencial econômico da região do Brasil Central. Se metade dessas terras fossem utilizadas na produção de soja, esse plantio seria equivalente à produção americana.

8.2. *A indústria brasileira de fertilizantes e amônia*

Em 1974 o Governo Brasileiro introduziu o Programa Nacional para Fertilizantes e Uso Agrícola do Calcário cuja meta era tornar o país auto suficiente na produção de fertilizantes em 10 anos. Nessa época o Brasil tinha capacidade de produzir apenas MAP (Fosfato de Monoamônio) e DAP (Fosfato de Diamônio).

Devido às características ácidas do solo brasileiro e dos principais fertilizantes utilizados, o programa também estabeleceu o uso planejado do calcário para neutralizar o solo.

Os dados nominais, bem como os normais médios produzidos da capacidade de produção de materiais brutos e fertilizantes intermediários para o ano de 1999, constam da Tabela 42.^[33]

Tabela 42. Capacidade instalada de produção de fertilizantes e suas matérias – primas ^[33]

| PRODUTOS | Capacidade nominal | | | Produção normal média | | | | |
|------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------------|
| | Pro- duto | Nutrientes | | Pro- duto | Nutrientes | | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| (tons/ano) | | | | | | | | |
| Matérias- Primas | | | | | | | | |
| Amônia | 1451750 | 1192151 | | 1350000 | 1108580 | | | |
| Rocha Fosfática | 6844225 | | 3120293 | 6517125 | | 2962678 | | |
| Ácido Fosfórico(*) | | | 943125 | | | 897975 | | |
| Ácido Sulfúrico | 4186440 | | | 3944160 | | | | |
| Total | | | | | | | | |
| Produtos Intermediários (1) | | | | | | | | |
| Sulfato de amônio | 174696 | 36787 | | 164544 | 34677 | | | |
| Uréia | 1692000 | 778320 | | 1504075 | 691875 | | | |
| Nitrocálcio | 198000 | 43560 | | 178200 | 39204 | | | |
| Nitrato de amônio | 476190 | 161905 | | 450672 | 153228 | | | |
| Superfosfato simples(pó) | 6391200 | | 1162842 | 4664530 | | 849931 | | |
| Superfosfato triplo(pó) | 818190 | | 355102 | 761340 | | 329917 | | |
| MAP | 1050570 | 107960 | 557093 | 661980 | 68218 | 354440 | | |
| DAP | 56100 | 10098 | 25806 | 50490 | 9088 | 23225 | | |
| Termofosfato | 165000 | | 29700 | 150000 | | 27000 | | |
| Cloreto de potássio | 569400 | | 341640 | 514800 | | 308880 | | |
| Total (2) | 11393346 | 1095070 | 2130543 | 341640 | 8922431 | 957086 | 1584513 | 308880 |

(*) 100% P₂O₅ MAP= Fosfato de Monoamônio DAP= Fosfato de Diamônio

(1) Estão consideradas as capacidades alternativas e a mistura de utilização declarada pelas empresas brasileiras produtoras desses produtos.

(2) No total de produtos intermediários não está computada a capacidade instalada de nitrocálcio(em vias de interrupção).

As capacidades de produção das indústrias brasileiras de amônia e sulfato de amônio (1999) são as da Tabela 43.

Tabela 43. Material bruto nitrogenado e indústria brasileira intermediária de fertilizantes ^[33].

| Produto / Companhia | Localização / Estado | Capacidade (t/dia) | Regime de carga (dias/ano) | | Processo de produção |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|--------|---------------------------------------|
| | | | Máximo | Normal | |
| Amônia | | | | | |
| Petrobrás | Camaçari-BA | 1100 | 365 | 325 | Reforma de Gás Natural |
| Petrobrás | Laranjeiras- SE | 1250 | 365 | 346 | Reforma de Gás Natural |
| Ultrafertil | Araucária- PR | 1280 | 330 | 314 | Oxidação parcial de resíduo asfáltico |
| Ultrafertil | Piaçaguera- SP | 520 | 330 | 304 | Reforma de Gás de Refinaria |
| Sulfato de Amônio | | | | | |
| Fertilizantes Serrana | Cubatão- SP | 300 | 60 | 40 | |
| Metacril | Camaçari-BA | 180 | 340 | 340 | Subprod. de prod. de caprolactame |
| Nitrocarbono | Camaçari-BA | 277 | 345 | 330 | Subprod. de prod. de caprolactame |
| Uréia | | | | | |
| Petrobrás(1) | Camaçari-BA | 1050 | 365 | 315 | |
| Petrobrás | Laranjeiras-SE | 1800 | 365 | 315 | |
| Ultrafertil | Araucária-PR | 1975 | 330 | 307 | |
| Nitrocálcio | | | | | |
| Ultrafertil (2) | Cubatão-SP | 600 | 330 | 297 | |
| Nitrato de Amônio | | | | | |
| Ultrafertil | Piaçaguera-SP | 1200 | 330 | 314 | |
| Ultrafertil(Ultraprill) (2) | | 243 | 330 | 304 | |

(1) Capacidade alterada para 1500t/dia ,a partir de 2000.

(2) Produção de nitrato de amônio Ultraprill em substituição à de nitrocálcio a partir de 2000.

Em curto prazo há planos para recuperação de 20 a 30 % da produção das plantas de amônia existentes. A localização das mesmas está mostrada na Figura 48 (dados de 1996, época deste estudo).



Figura 48. Localização das indústrias brasileiras de amônia e sulfato de amônio na época do estudo ^[23].

Um ponto importante refere-se ao problema ambiental causado pelo gesso obtido nas plantas de ácido fosfórico. No Brasil há 4 dessas plantas com uma capacidade anual de produção de 787200 t. O processo usa minério de fosfato e ácido sulfúrico para obter ácido fosfórico e gesso.

A produção do gesso obtido em cada planta de ácido fosfórico (1994), está resumida na Tabela 44.

Tabela 44. Gesso produzido em planta de ácido fosfórico-1994^[23].

| Companhia | Localização | Produção estimada | Estoque estimado(t) | Quantidades reutilizáveis | | | |
|--------------|-------------|-------------------|---------------------|---------------------------|--------------|----------------|--------------|
| | | | | Cimento (t) | Consumo(t) | Agricultura(t) | Papel (t) |
| Copebrás | Cubatão SP | 496000 | 6000000 | 70000 | 0 | 30000 | 0 |
| Fosfértil | Uberaba MG | 1800000 | 15000000 | 62000 | 0 | 251000 | 0 |
| Serrana | Cajati SP | 530000 | 4000000 | 380000 | 30000 | 0 | 60000 |
| Ultrafértil | Cubatão SP | 382000 | 5000000 | 92000 | 0 | 150000 | 0 |
| Total | | 3208000 | 30000000 | 604000 | 30000 | 431000 | 60000 |

A quantidade total de gesso não utilizável foi da ordem de 30000000 t no final do ano de 1994. De acordo com essa Tabela a cada ano a produção é em torno de 2000000t de gesso sem uso.

Pesquisas recentes mostram a importância da utilização do enxofre como nutriente na agricultura. Atualmente 2 milhões de hectares de terras agrícolas no Brasil necessitam desse nutriente. O gesso disposto nas plantas de ácido fosfórico contém significativa quantidade de enxofre sem nenhuma utilização. Pelo acima exposto, pode-se concluir que a obtenção de ácido fosfórico por qualquer processo industrial, incluindo os processos de dessulfurização do fluxo de gás(FGD) que produzem gesso como subproduto, não são interessantes para o Brasil.

8.3. Regulamentação brasileira para fertilizantes agrícolas:

De acordo com a legislação "Inspeção e controle de produção e de comércio de fertilizante", o sulfato de amônio necessita mais de 20 % do nitrogênio. O limite permissível para a variação do nitrogênio é 2%.O fertilizante nitrogenado com menos de 18% de nitrogênio também pode ser autorizado como fertilizante nitrogenado numa nova categoria. Não existe limite para metais pesados no fertilizante, mas o seu fabricante precisa garantir que o mesmo é seguro para uso na agricultura. Os novos fertilizantes são autorizados pelo Ministério da Agricultura em 90 dias.

8.4. Demanda de fertilizantes:

O balanço de nutrientes em 1999 é apresentado na Tabela 45^[33]. De acordo com ela, as indústrias brasileiras podem suprir algo em torno de 50% das necessidades de nitrogênio, 67% das de fosfato e apenas 15% das necessidades de potássio. As diferenças são supridas por importação.

Tabela 45. Balanço de nutrientes –1999 ^[33].

| Itens | (mil toneladas) | | | Total |
|--------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| 1) Estoque inicial | 127 | 231 | 259 | 617 |
| 2) Produção(*) | 848 | 1358 | 348 | 2554 |
| 3) Importação (*) | 848 | 681 | 1917 | 3446 |
| 4) Disponibilidade total | 1823 | 2270 | 2524 | 6617 |
| 5) Exportação | 32 | 42 | 17 | 91 |
| 6) Distribuição | 1393 | 1967 | 2079 | 5439 |
| 7) Quebras/ajustes | (184) | 11 | (137) | (310) |
| 8) Estoque Final | 214 | 272 | 291 | 777 |

(*) Inclui fosfato natural para aplicação direta e fosfato natural reativo.

O Brasil também não possui produção natural de enxofre. A necessidade para produção de ácido sulfúrico é suprida por importação do material bruto. O consumo de fertilizante por Estado durante 1999 é mostrado na Tabela 46^[33].

São Paulo é o maior consumidor de fertilizante atingindo 18,8% do total. A seguir comparecem o Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. O total desses quatro estados representa quase 60% do consumo total de fertilizantes no Brasil.

Tabela 46. Demanda de nutrientes por região^[33].

| Região | Estado | FERTILIZANTE DISTRIBUÍDO EM 1999 | | | |
|----------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|---------|
| | | Quantidade (toneladas) | | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | TOTAL |
| Região Sul | | | | | |
| | Rio Gde. do Sul RS | 160156 | 243664 | 239307 | 643127 |
| | Santa Catarina SC | 56235 | 52002 | 47537 | 155774 |
| | Total da Região Sul | 216391 | 295666 | 286844 | 798901 |
| Região Sudeste | | | | | |
| | Espírito Santo ES | 30262 | 15528 | 28610 | 74400 |
| | Distrito Federal DF | 3618 | 7171 | 6092 | 16881 |
| | Goiás GO | 87637 | 208495 | 205929 | 502061 |
| | Mato Grosso MT | 93625 | 287266 | 299074 | 679965 |
| | Mato Gr. Do Sul MS | 36162 | 92050 | 89352 | 217564 |
| | Minas Gerais MG | 248698 | 232480 | 271310 | 752488 |
| | Paraná PR | 205792 | 317417 | 318677 | 841886 |
| | Rio de Janeiro RJ | 3406 | 2515 | 4679 | 10600 |
| | São Paulo SP | 336706 | 336005 | 349767 | 1022478 |
| | Tocantins TO | 4058 | 7600 | 7271 | 18929 |
| | Total da Região Sudeste | 1049964 | 1506527 | 1580761 | 4137252 |

Tabela 46. Demanda de nutrientes por região ^[33] (continuação).

| Região | Estado | FERTILIZANTE DISTRIBUÍDO EM1999 | | | |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|
| | | Quantidade (toneladas) | | | |
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | TOTAL |
| Região Nordeste | | | | | |
| | Alagoas AL | 21381 | 11635 | 24199 | 52215 |
| | Bahia BA | 59078 | 96944 | 111972 | 267994 |
| | Ceará CE | 2291 | 1999 | 3049 | 7339 |
| | Maranhão MA | 5753 | 20009 | 18032 | 43794 |
| | Paraíba PB | 4160 | 1888 | 5464 | 11512 |
| | Pernambuco PE | 18163 | 9506 | 23533 | 51202 |
| | Piauí PI | 1569 | 5939 | 4730 | 12238 |
| | Rio Gde. do Norte RN | 4844 | 3380 | 6846 | 15070 |
| | Sergipe SE | 2747 | 1717 | 2542 | 7006 |
| | Total da Reg. Nordeste | 119986 | 153017 | 200367 | 473370 |
| | Região Norte | 6708 | 11756 | 10901 | 29365 |
| | TOTAL DO BRASIL | 1393049 | 1966966 | 2078873 | 5438888 |

8.5. Tendência de demanda de fertilizantes

A agricultura brasileira possui um grande potencial devido principalmente à disponibilidade de terras planas e existência de capacidade industrial para suprir as necessidades dos principais fertilizantes. A agricultura brasileira também pode melhorar sua produtividade pelo uso de novas tecnologias, aplicação de mais fertilizantes e mecanização do cultivo.

Considerando a taxa histórica de crescimento da produção de culturas agro-vegetais desde 1970 como sendo de 3,7% ao ano, nos anos 2004/5 a sua produção pode ser estimada em 177 milhões de toneladas.

Considerando o consumo de 7,6 % em peso de fertilizante pela produção de culturas agro-vegetais e o crescimento de 9,8 % por ano do NPK por ha. cultivado, o consumo de fertilizante em 2004/5 pode ser estimado em 8117 mil toneladas.

O consumo de nitrogênio em 1999 foi de 1393049 t e o consumo total de fertilizante no mesmo ano foi de 13689482 t.

A produção, importação e consumo de fertilizantes nitrogenados em 1999 é apresentada na Tabela 47^[33].

Tabela 47. Mercado brasileiro de fertilizantes nitrogenados^[33].

| Produção e importação em 1999 (base de N) | | | | | |
|--|-----|----------|------------|---------|-------|
| Fertilizante | N | Produção | Importação | Total | % |
| Uréia | 46% | 539952 | 981697 | 1521649 | 37,3 |
| Sulfato de amônio | 20% | 39534 | 1142926 | 1182460 | 29,0 |
| Nitrato de amônio | 34% | 101891 | 58746 | 160637 | 3,9 |
| Nitrocálcio | 22% | 19322 | 6708 | 26030 | 0,6 |
| MAP | 10% | 77556 | 867755 | 945311 | 23,2 |
| DAP | 18% | 2992 | 33521 | 36513 | 0,9 |
| Amônia (*) | | 66361 | 138571 | 204932 | 5,1 |
| Total | | 847608 | 3229924 | 4077532 | 100,0 |

(*) Amônia utilizada na granulação de fertilizantes simples e complexos.

Como o solo brasileiro é pobre em enxofre os fazendeiros bem informados usam sulfato de amônio como fonte de nitrogênio e enxofre. É interessante saber que a produção e importação desse insumo cresceu em 1999 de 29,8% em relação ao ano anterior.

Pela Tabela 47 acima, nota-se que a quantidade de sulfato de amônio importado é bastante alta em relação ao produzido no País. Além do mais esse consumo tende a crescer anualmente de modo que ele pode ser suprido parcialmente pelo sulfato de amônio produzido pelo sistema de conversão de gases poluentes por feixe de elétrons.

8.6. *Suprimento de fertilizantes*

Exceto para o Rio Grande do Sul, as outras indústrias de fertilizantes estão localizadas nos estados que produzem material bruto como amônia, uréia e rocha fosfática. São Paulo é o maior produtor de fertilizantes. Bahia, Paraná e Sergipe , seguem São Paulo. Os principais consumidores de fertilizantes são os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Paraná.^{[23],[33]}

A importação de matéria prima e fertilizantes intermediários em 1999 é apresentada na Tabela 48^[33]. Como as quantias FOB e CIF são conhecidas, essa Tabela mostra o preço médio de cada produto.

Tabela 48. Importação de matéria prima e fertilizante intermediário-1999^[33].

| | Tonela- das | Quantia (US\$) | | Preço médio(US\$/t) | |
|--|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------|
| | | FOB | CIF | FOB | CIF |
| Produtos Intermediários | | | | | |
| Fertil. orig. animal/vegetal | 143 | 373591,00 | 389795,00 | 2612,52 | 2725,84 |
| Uréia | 981697 | 81525487,00 | 90324302,00 | 83,05 | 92,01 |
| Sulfato de amônio | 1142926 | 67607476,00 | 80480170,00 | 59,15 | 70,42 |
| Nitrato de potássio | 9680 | 3096216,00 | 3377706,00 | 319,86 | 348,94 |
| Nitrato de amônio | 58746 | 4836885,00 | 5515594,00 | 82,34 | 93,89 |
| Nitrato de cálcio | 6708 | 972668,00 | 1039718,00 | 145,00 | 155,00 |
| Nitrato de sódio | 11575 | 1671859,00 | 1917763,00 | 144,44 | 165,68 |
| Outros adub. nitrogenados | 2030 | 476390,00 | 515594,00 | 234,67 | 253,99 |
| Mist. nitrocálcio | 3028 | 298956,00 | 334625,00 | 98,73 | 110,51 |
| Superfosfato-max22%P ₂ O ₅ | 104606 | 9568028,0 | 10782364,00 | 91,47 | 103,08 |
| Superfosfato-max22%a45%P ₂ O ₅ | 3960 | 594020,00 | 626421,00 | 150,01 | 158,19 |
| Superfosfato-min45%P ₂ O ₅ | 250961 | 39242910,00 | 42176512,00 | 156,37 | 168,06 |
| Outros adubos fosfatados | 5724 | 1485464,00 | 1573560,00 | 259,52 | 274,91 |
| Cloreto de potássio | 3190748 | 432701059,00 | 472600479,00 | 135,61 | 148,12 |
| Sulfato de potássio | 42957 | 10171650,00 | 10729340,00 | 236,79 | 249,77 |
| Fertiliz. Mist. N- P- K | 43416 | 8721569,00 | 9313316,00 | 200,88 | 214,51 |
| Fosfato Diamônio | 33521 | 6943496,00 | 7216106,00 | 207,14 | 215,27 |
| Fosfato Monoamônio | 867755 | 171420797,00 | 180054426,00 | 197,55 | 207,49 |
| Fertilizante misto N-P | 44943 | 4097989,00 | 4492003,00 | 91,18 | 99,95 |
| Fertilizante misto P-K | 235 | 234424,00 | 249219,00 | 997,55 | 1060,51 |
| Nitrato de sódio e potássio | 84926 | 17386450,00 | 18662562,00 | 204,72 | 219,75 |
| Outros | 1329 | 3129095,00 | 3217016,00 | 2354,47 | 2420,63 |
| Total | 6891614 | 866556479,00 | 945588591,00 | | |
| Matéria Prima | | | | | |
| Enxofre | 1419415 | 53035732,00 | 66453476,00 | 37,36 | 46,82 |
| Fosfato de cálcio | 672556 | 37663228,00 | 41936466,00 | 56,00 | 62,35 |
| Ácido sulfúrico | 139066 | 3106047,00 | 4287217,00 | 22,34 | 30,83 |
| Ácido fosfórico | 253208 | 60792248,00 | 65764813,00 | 240,09 | 259,73 |
| Amônia | 138571 | 16854592,00 | 18936289,00 | 121,63 | 136,65 |
| Total | 2622816 | 171451847,00 | 197378261,00 | | |
| Total Geral | 9514430 | 1038008326,00 | 1142966852,00 | | |

8.7. Suprimento de amônia

Os dois principais fornecedores de amônia no Brasil, são a Petrobrás e a Ultrafertil. A Petrobrás exporta a maior parte da produção uma vez que o consumo no Nordeste, onde fica a fábrica, é pequeno.

Por outro lado a Ultrafertil supre 120000t por ano de amônia para cerca de 50 empresas na região sul do País. Há tanques de armazenamento desse produto em Araucária-PR (10000t), Cubatão-SP(20000t) e Santos-SP (18000t, para importações). Existe uma capacidade adicional de produção de 1700t por mês na fábrica de Araucária(dado de 1999)^[33].

Os preços comerciais de referência adotados para o estudo de viabilidade foram de US\$ 141 para o sulfato de amônio e US\$ 235 para a amônia. Eles foram estimados com base nos preços FOB e CIF desses produtos no ano de 1996 e acrescidos de 25 % de custos adicionais devidos a seguros, taxas alfandegárias, transporte, etc. Deve-se ressaltar, no entanto, que não houve uma flutuação significativa desses preços em 3 anos, pois em 1999, o valor unitário para exportação de sulfato de amônio era de US\$ 166,19/t (o de importação, US\$ 70,42/t, CIF) e da amônia US\$ 136,65/t CIF (importação) e US\$ 87,38/t para exportação^[33].

9. RESULTADOS DO ESTUDO DE VIABILIDADE NA USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA

9.1. Estudo preliminar

A Empresa responsável pela Usina Termoelétrica Piratininga (EMAE) tem se preocupado com a poluição causada pelos gases oriundos da queima do óleo há alguns anos e iniciou junto com o IPEN-CNEN/SP, estudos concernentes à tecnologia por feixe de elétrons para tratamento de gases, que apresentam as vantagens já apontadas .

Assim, o IPEN colaborou com a EMAE no estudo de conversão de partes poluentes dos gases de combustão de plantas termoelétricas em material bruto para fertilizante.

A Usina normalmente queima óleo com menos de 1% de enxofre. No entanto o corpo técnico da EMAE sugeriu a possibilidade de usar óleo combustível 20% mais barato com 3% de enxofre, utilizando a dessulfurização proporcionada pelo método, para amortizar o investimento necessário.

Nesse estudo foi estimado inicialmente o custo de uma planta de demonstração para tratar os gases provenientes da geração de 50 MW de potência da Usina.

O cálculo foi feito com o auxílio do consultor especialista do IAEA, Dr. Norman Frank. Foi feita também uma discussão sobre aceleradores e tamanhos requeridos. O Dr. Frank trouxe informações do modelo fabricado pela Nissin High Voltage Co. Preliminarmente pode-se usar um equipamento padrão de 300kW para o projeto proposto. Foram admitidas as seguintes condições de entrada:

- Temperatura na entrada do processo: 190 °C (374 °F);
- Umidade presente no gás de queima: 9%;
- Temperatura da entrada do "spray" de água: 26,7 °C (80 °F);
- concentração de SO₂: 2200 ppmV;
- concentração de NO_x : 400 ppmV;
- Temperatura do gás existente no vaso do processo: 75°C (167 °F).

As condições estimadas de saída são apresentadas na Tabela 49.

Tabela 49. Condições estimadas de saída de planta piloto para tratar gases de 50MW da potência gerada da Usina.

| | 80% DE REMOÇÃO | 80% DE REMOÇÃO | 80% DE REMOÇÃO | 90% DE REMOÇÃO |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Vazão do gás de queima (Nm ³ /h) | 120.000 | 172.500 | 225.000 | 120.000 |
| Dose mínima (Mrad) | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,67 |
| Remoção de NO _x & dose (%) | 40 | 40 | 40 | 50 |
| Potência do feixe de elétrons (kW) | 208 | 300 | 392 | 340 |
| NH ₃ requerida (l/h) | 705 | 1009 | 1337 | 792 |
| Subproduto (t/d) | 33 | 47 | 62 | 37 |
| No. de zonas | 1 | 1 | 1 | 1 |

Esse estudo preliminar teve como objetivos:

- Instalação de planta piloto em escala comercial para tratamento de gás por feixe de elétrons, de 50 MW da Usina Termoelétrica Piratininga ;
- Redução da poluição atmosférica devida à operação da Usina Termoelétrica Piratininga;
- Estudo da viabilidade técnico- econômica do processo no Brasil;
- Determinação da eficiência de remoção do SO₂ e NO_x para a queima de óleo contendo até 3 % de enxofre usado na planta - piloto;
- Obtenção de subprodutos utilizáveis que representam uma contribuição para a sociedade;
- Aquisição de dados para extensão do processo para a capacidade total da Usina, 470MW;
- Capacitação de recursos humanos na área ambiental com experiência no processo de tratamento de gases;

- Demonstração aos futuros usuários no Brasil (usinas termoelétricas, siderúrgicas, incineradores, indústrias químicas, de papel e celulose) da viabilidade do processo.

O plano executivo considerado no estudo, consistiu de:

Atividade 1: Coleta de dados sobre a Usina tais como: vazão de gás, temperatura, velocidade, umidade e pressão, concentração de SO₂ e NO_x, O₂, CO₂, CO e materiais particulados;

Atividade 2: Coleta de dados sobre Legislação ambiental;

Atividade 3: Preparação do relatório para licenciamento ambiental EIA/RIMA;

Atividade 4: Preparação do projeto básico de engenharia, incluindo as especificações técnicas para aquisição dos equipamentos e os procedimentos para aprovação legal;

Atividade 5: Aquisição de equipamento;

Atividade 6: Preparação do projeto executivo para cada componente da planta piloto;

Atividade 7: Construção da parte civil;

Atividade 8: Instalação da planta piloto;

Atividade 9: Ensaio operacionais preliminares;

Atividade 10: Ensaio preliminares e otimização do processo usando óleo combustível com até 3% de enxofre;

Atividade 11: Preparação do relatório final com o estudo de viabilidade para aplicação em larga escala .

As metas técnicas traçadas pelo estudo foram :

Meta 1: Adquirir amplo conhecimento técnico sobre todos os parâmetros necessários para o projeto, instalação e operação de planta de demonstração de maneira a atender a legislação ambiental existente;

Meta 2: Avaliação técnica e econômica do processo para remoção de gases provenientes da queima de óleo com 3% de enxofre para futura utilização na Usina em substituição ao óleo de 1%, com comparação com processos convencionais;

Meta 3: Capacitar profissionais nas empresas energéticas para serem monitores / multiplicadores do “know-how” adquirido, repassando os conceitos, procedimentos e a tecnologia.

O custo estimado para essa instalação é apresentado na Tabela 50.

Tabela 50. Custo estimado para planta piloto para tratar gases de unidade de 50MW de potência gerada na Usina .

| | ITENS | CUSTO ESTIMADO (US\$) |
|----|--|--------------------------|
| 1 | Aquisição + instalação do acelerador | 2500000 + 300000 |
| 2 | Resfriador tipo “spray” | 400000 |
| 3 | Precipitador eletrostático | 1800000 |
| 4 | Sistema de manuseio do subproduto | 500000 |
| 5 | Armazenamento de NH ₃ | 500000 |
| 6 | Analísadores, monitoração e sistemas de controle | 800000 |
| 7 | Edifício do acelerador, construção, câmara de reação | 1500000 |
| 8 | Sistema de dutos de gás de queima | 800000 |
| 9 | Sistema elétrico | 500000 |
| 10 | Sistema de ventilação, sistema de resfriamento, (sala do acelerador) | 500000 |
| 11 | Engenharia, supervisão, treinamento | 1200000 |
| 12 | Contingência | 1200000 |
| | Total | 12500000 |

O estudo ainda previu o detalhamento das especificações dos seguintes equipamentos:

Queimador: queimador de óleo ou carvão para produzir energia térmica ou elétrica;

ESP: precipitador eletrostático para reduzir o conteúdo de cinza após o queimador;

Trocador de calor: para reduzir a temperatura do gás na entrada ou aumentar a temperatura na saída por fluxo adicional de ar ou de água;

Resfriador: instalado verticalmente após o queimador e ESP e é usado para aumentar o conteúdo de água no gás .

Injetor de amônia: para manter quantidades estequiométricas de amônia no gás;

Vaso de reação: tubulação, montada horizontalmente com irradiação em multiestágio;

Acelerador: para iniciar as reações químicas no gás;

Sistema analítico e de controle: para se ter um controle automático do processo;

Coletor: precipitador eletrostático ou filtro de manga para coleta do subproduto fertilizante;

Sistema de manuseio do subproduto: para preparar o subproduto em forma de pó ou grão.

Ventilador: para manter o fluxo de gases nos dutos e no coletor do subproduto.

9.2. Estudo de viabilidade

Em função da preocupação do Governo brasileiro com a poluição do ar e ainda com os subsídios do estudo preliminar, foi feita em dezembro de 1996 uma solicitação oficial do Ministério da Ciência e Tecnologia à JCI - Japan Consulting Institute para fazer Estudos de Viabilidade para 3 Usinas pertencentes cada uma delas a 3 distintas concessionárias de energia elétrica em 3 estados do País onde o uso das usinas térmicas podem causar ou já causam problemas de poluição do ar. Elas foram a Usina de Jorge Lacerda da Eletrosul, atual Gerasul situada em Tubarão - SC e queimando carvão; Usina Presidente Médici da CEEE, atual CGTE, situada em Uruguaiana - RS e também queimando carvão; e

finalmente a Usina Termoelétrica Piratininga da Eletropaulo, atualmente da EMAE, queimando óleo em São Paulo, objeto deste estudo.

A JCI aceitou formalmente o convite para fazer esses estudos baseados no processo por feixe de elétrons desenvolvido e patenteado pela firma japonesa EBARA Co.

Esses estudos foram então planejados para serem desenvolvidos através de 2 missões japonesas: a primeira em março de 1997 para estudar a situação da poluição do ar nas 3 usinas escolhidas para estudo, bem como colher os dados técnicos necessários, entrevistas com os corpos técnicos dessas usinas, históricos operacionais e de manutenção e outras informações necessárias para a elaboração desses estudos. Após essa primeira missão, a JCI preparou preliminares dos estudos que foram submetidos às concessionárias brasileiras para serem avaliados e comentados em conjunto com o Ministério da Ciência e Tecnologia e o IPEN. A segunda missão ocorreu em agosto de 1997 e seu objetivo foi o de pesquisar detalhes sobre a produção e consumo de fertilizantes e amônia no Brasil e também de determinar as localizações das bases de produção e das respectivas redes de distribuição. Aproveitou-se ainda essa missão para colher dados sobre custos de construção e aquisição de equipamentos necessários para executar as instalações previstas nos estudos. Durante essas missões os técnicos japoneses foram sempre acompanhados e assistidos pelos corpos funcionais do Ministério da Ciência e Tecnologia, do IPEN e das concessionárias de energia elétrica entre os quais se incluíram o autor desta Dissertação e sua orientadora.

Baseado no exposto acima, a JCI preparou o Estudo de viabilidade para tratamento de gases de uma unidade de potência 135 MW da Usina Termoelétrica Piratininga, básico para nossa Dissertação, intitulado "Feasibility Study Report on Installation Project of Air Pollution Control Plant at Piratininga Thermal Power Plant in Federative Republic of Brazil " - november, 1997^[23]. Esse estudo apresenta a seguinte itemização básica :

- 1) Dados gerais sobre o Brasil
- 2) Situação da poluição do ar no Brasil
- 3) Metas do controle da poluição do ar
- 4) Tecnologias de controle da poluição do ar
- 5) Oferta e demanda de fertilizantes no Brasil
- 6) Características e situação da poluição do ar nas usinas termoelétricas estudadas
- 7) Descrição técnica do sistema de feixe de elétrons
- 8) Capital e investimento necessários

- 9) Avaliação econômica
- 10) Efeitos da instalação do sistema proposto
- 11) Conclusões e Recomendações

9.3. Principais Resultados do Estudo de Viabilidade

9.3.1. Custo Total do Projeto

O custo total deste projeto para tratamento dos gases de combustão de uma unidade de 135 MW foi avaliado em US\$ 29300000,00. Esse custo foi detalhado em subitens conforme a Tabela 51.

Tabela 51. Custo do projeto para tratamento de gases de 135 MW da Usina^[23].

(Unidade : mil US\$)

| | Moeda Estrangeira | Moeda Local | Subtotal |
|----------------------------|-------------------|-------------|----------|
| Engenharia & Projeto | 1880 | 1750 | 3630 |
| Equipamentos | 13640 | 2750 | 16390 |
| Transporte | 180 | 50 | 230 |
| Parte Civil | | 4280 | 4280 |
| Instalação | | 4120 | 4120 |
| Supervisor | 120 | 30 | 150 |
| Sobressalentes | 440 | | 440 |
| Treinamento | 60 | | 60 |
| Subtotal | 16320 | 12980 | 29300 |
| Taxas e Impostos | a verificar | a verificar | |
| Total(Estrangeira & Local) | | 29300 | |

Notas: (1) Os valores na tabela acima foram calculados na taxa de câmbio de 120 yens por dólar.

(2) O custo do projeto foi dividido em moeda local e moeda estrangeira.

A moeda local cobre o custo do equipamento, materiais e serviços fornecidos no Brasil como parte civil, execução da instalação, transporte, engenharia, etc.

A moeda estrangeira cobre o custo do equipamento e material importado, supervisão e engenharia, etc.

9.3.2. Condições de Financiamento

O custo total do projeto foi avaliado sob as seguintes condições :

- (A) Empréstimo de Banco estrangeiro:

(1) Condições de Financiamento:

- Taxa de juros estimada : 2,3 % ao ano.
- Período de amortização : 10 anos após o término da construção da planta.
- Cobertura: 85% da parte em moeda estrangeira e a parte em moeda nacional equivalente a 15% da parte em moeda estrangeira.
- Custo de financiamento: 3% do valor total do empréstimo.

(2) Pagamento à vista :

O restante do custo total do projeto que não é coberto pelo Banco estrangeiro é assumido como a ser pago pelo Governo Brasileiro à vista.

(3) Condições de pagamento padrão para o custo total do projeto:

- Parte em Moeda estrangeira:
Pagamento antecipado 15%
F.O.B. 85%

- Parte em Moeda nacional:
Pagamento antecipado 15%
Pagamento financiado 85%

- (B) Empréstimo estrangeiro de longo prazo:

(1) Condição de financiamento:

- Taxa de juros estimada: 1,8 % ao ano.
- Período de amortização: 25 anos.
- Cobertura : Parte em moeda estrangeira ou 60% do custo do projeto.

(2) Pagamento à vista:

O restante do custo total do projeto não coberto por este empréstimo é assumido como sendo pago à vista pelo governo Brasileiro.

(3) Condições de pagamento padrão para o custo total do projeto:

- Parte em Moeda estrangeira:
Pagamento antecipado 15%
F.O.B. 85%

- Parte em Moeda nacional:
Pagamento antecipado 15%
Pagamento financiado 85%

9.3.3. Avaliação Econômica do Projeto

- Método e Condições de Avaliação Econômica:

A avaliação econômica do sistema de feixe de elétrons proposto para a unidade n. 3 ou 4 a ser modificada da Usina T. Piratininga segue o seguinte método e condições :

- Sumário do custo total do projeto :

A Tabela 52 mostra o resumo do custo total de construção do projeto para o sistema proposto de tratamento de gases a ser avaliado nesta seção :

Tabela 52. Custos totais do projeto para duas modalidades de financiamento ^[23]

(unidade: mil US\$)

| | Caso A | Caso B |
|-------------------------|--------|--------|
| Parte em moeda estrang. | 16320 | 17820 |
| Parte em moeda local | 12980 | 12980 |
| Total | 29300 | 30800 |

Nota: Serão acrescentados US\$1500000 na parte em moeda estrangeira como taxa de consultoria no Caso B.

- Premissas Econômicas :

(1) Depreciação : Método aritmético ("straight line") de 30 anos de duração.

(2) Taxa de juros : Caso A:2,3% ao ano.

Caso B:1,8 % ao ano.

(ver na Tabela 53 ,o cálculo da amortização anual)

(3) Taxa de Consumo de Potência Auxiliar: 2,0 %

(4) Capacidade considerada : 135 MW

- (5) Fator de Carga anual da Usina : 70 %
- (6) Custo de Manutenção : 1,5 % do custo de construção por ano
- (7) Número de funcionários necessários para operar o sistema : 7 pessoas
- (8) Custo mensal por funcionário : US\$ 1000
- (9) Custo de utilidades e subprodutos
 - a . Energia Elétrica : US\$ 42/MWh
 - b . Água do processo :US\$ 0,02/t
 - c . Vapor :US\$1,50/t
 - d . Amônia: US\$235/t
 - e . Subproduto :US\$ 141/t
- (10) Consumo de utilidades (DE-SOx base 80%)
 - a . Energia elétrica : 2500 kWh
 - b . Água do processo :18,7 t/h
 - c . Vapor :5,7 t/h
 - d . Amônia: 867 kg/h
- (11) Produção de subproduto : 3362 kg/h
- (12) taxa de câmbio : 120 yens por dólar

Nota : 1) As taxas de juro mencionadas acima são para esta avaliação econômica. Mas é possível que elas tenham flutuação no futuro.

Tabela 53. Cálculo da amortização anual ^[23]

(1) Caso A : Financiamento de banco estrangeiro

Quantia: Equivalente à porção de moeda estrangeira

Taxa de juros : 2,3 % ao ano

Parcelas de pagamento: 12 anos, bianualmente, incluindo o período de Construção de 2 anos (20 prestações)

Custo de Financiamento: 3% do total

P : Empréstimo Total

| ANO PRESTAÇÃO | | | FINANCIAMENTO BANCÁRIO | |
|---------------|----|----|--|-------------|
| | | | $P \times 1,03 \{1 - (\text{PRESTAÇÃO})^{-1} / 20\} \times 2,3 \% / 2$ | |
| 1 | - | - | $1,03P \times (1 + 1^{-1}) \times 0,0115$ | $= 0,0237P$ |
| 2 | - | - | $x(1 + 1^{-1}) \times$ | $= 0,0237P$ |
| 3 | 1 | 2 | $x(1 + 0,95) \times$ | $= 0,0231P$ |
| 4 | 3 | 4 | $x(0,9 + 0,85) \times$ | $= 0,0207P$ |
| 5 | 5 | 6 | $x(0,8 + 0,75) \times$ | $= 0,0184P$ |
| 6 | 7 | 8 | $x(0,7 + 0,65) \times$ | $= 0,0160P$ |
| 7 | 9 | 10 | $x(0,6 + 0,55) \times$ | $= 0,0136P$ |
| 8 | 11 | 12 | $x(0,5 + 0,45) \times$ | $= 0,0113P$ |
| 9 | 13 | 14 | $x(0,4 + 0,35) \times$ | $= 0,0089P$ |
| 10 | 15 | 16 | $x(0,3 + 0,25) \times$ | $= 0,0065P$ |
| 11 | 17 | 18 | $x(0,2 + 0,15) \times$ | $= 0,0041P$ |
| 12 | 19 | 20 | $x(0,1 + 0,05) \times$ | $= 0,0018P$ |
| TOTAL | | | 0,1718P | |
| AMORTIZAÇÃO | | | $0,1718 / 12 \times 100 = 1,43 \% \text{ POR ANO}$ | |

Tabela 53. Cálculo da amortização anual ^[23](continuação).

(2) Caso B: Financiamento de banco estrangeiro a longo prazo

Quantia: Maior valor entre porção de moeda estrangeira ou 60% do custo do projeto

Taxa de juros: 1,8 % ao ano

Parcelas de pagamento: 25 anos, bianualmente, incluindo o período prévio de 7 anos(36 prestações)

P: Empréstimo Total

| ANO | PRESTAÇÃO | FINANCIAMENTO BANCÁRIO DE LONGO PRAZO |
|-------------|-----------|---|
| | | $P \times 1,03\{1-(PRESTAÇÃO)- 1\} / 36 \} \times 1,8 \% / 2$ |
| 1 | - | $P \times (1 + 1) \times 0,009 = 0,018P$ |
| 2 | - | $x (1 + 1) \times = 0,018P$ |
| 3 | - | $x (1 + 1) \times = 0,018P$ |
| 4 | - | $x (1 + 1) \times = 0,018P$ |
| 5 | - | $x (1 + 1) \times = 0,018P$ |
| 6 | - | $x (1 + 1) \times = 0,018P$ |
| 7 | - | $x (1 + 1) \times = 0,018P$ |
| 8 | 1 | $x (1 + 0,972) \times = 0,018P$ |
| 9 | 3 | $x (0,944 + 0,917) \times = 0,017P$ |
| 10 | 5 | $x (0,889 + 0,861) \times = 0,016P$ |
| 11 | 7 | $x (0,833 + 0,806) \times = 0,015P$ |
| 12 | 9 | $x (0,778 + 0,750) \times = 0,014P$ |
| 13 | 11 | $x (0,722 + 0,694) \times = 0,013P$ |
| 14 | 13 | $x (0,667 + 0,639) \times = 0,012P$ |
| 15 | 15 | $x (0,611 + 0,583) \times = 0,011P$ |
| 16 | 17 | $x (0,556 + 0,528) \times = 0,010P$ |
| 17 | 19 | $x (0,500 + 0,472) \times = 0,009P$ |
| 18 | 21 | $x (0,444 + 0,417) \times = 0,008P$ |
| 19 | 23 | $x (0,389 + 0,361) \times = 0,007P$ |
| 20 | 25 | $x (0,333 + 0,306) \times = 0,006P$ |
| 21 | 27 | $x (0,278 + 0,250) \times = 0,005P$ |
| 22 | 29 | $x (0,222 + 0,194) \times = 0,004P$ |
| 23 | 31 | $x (0,167 + 0,139) \times = 0,003P$ |
| 24 | 33 | $x (0,111 + 0,039) \times = 0,002P$ |
| 25 | 35 | $x (0,056 + 0,028) \times = 0,001P$ |
| TOTAL | | 0,297P |
| AMORTIZAÇÃO | | $0,297 / 25 \times 100 = 1,19 \% \text{ POR ANO}$ |

- Resultado da Avaliação:

As avaliações econômicas foram obtidas como se segue. O aumento da tarifa de eletricidade descrito neste capítulo é provocado pelo empréstimo em moeda estrangeira e cobertura do custo operacional. O empréstimo em moeda local também precisa ser considerado para cálculo total da tarifa quando necessário.

Caso A: Empréstimo em moeda estrangeira:

Baseado no método e condições de avaliação econômica expostos no início desta seção, o sistema de feixe de elétrons foi avaliado economicamente e o resultado está resumido na Tabela 54. De acordo com essa Tabela o impacto no aumento da tarifa de eletricidade é de US\$ 0,97/MWh.

Tabela 54. Avaliação econômica do sistema básico EBARA (DE-SOx na base de 80%) - Caso A ^[23].

| Planta | | Usina T. Piratininga, unds. 3 ou 4 | |
|---|--|---|-------------------------|
| Capacidade | | 370000Nm ³ /h (135 MW) | |
| Financiamento | | Empréstimo bancário, total US\$16320000 | |
| | | CÁLCULO | TOTAL |
| 2. CUSTO FIXO | | | |
| (1) DEPRECIÇÃO | US\$ 29300000/ 30 anos | | US\$ 976667 |
| (2) JUROS | US\$ 16320000 x 1,43/100/ano | | US\$ 233376 |
| (3) CUSTO DE MANUT. | US\$ 29300000 x 1,5/ 100/ ano | | US\$ 439500 |
| (4) CUSTO DE OPER. | US\$ 1000/mês x 12 meses /ano x 7 pessoas | | US\$ 84000 |
| SUBTOTAL | | #3 | US\$ 1733543 |
| 3. CUSTO ANUAL CUSTO DE OPER. | | #4= #1-#2+#3 | #4 US\$ 774663 |
| 4. CUSTO ANUAL ELETRICIDADE | | (135000 x (100-2)/100- 2500) kWx 8760 h/ano x 0,70 | #5 795933600 kWh/ano |
| 10. CRESCIMENTO DO CUSTO DE TARIFA DE ELETRICIDADE | | #6= #4/#5 | 0,00097/kWh |

Assim o custo da tarifa passa de US\$ 42,00/MWh para US\$ 42,97/MWh em virtude da instalação desse sistema nas unidades 3 ou 4 da Usina T. Piratininga, sendo seu aumento percentual de 2,3 %.

Deve-se lembrar que o resultado desta avaliação é calculado na taxa de câmbio de 120 yens por dólar e essa taxa deverá influir consideravelmente neste projeto dependendo das condições econômicas brasileiras.

Caso B: Empréstimo em moeda estrangeira em financiamento de longo prazo:

Baseado no método e condições da avaliação econômica descrita no início desta seção, o sistema proposto foi economicamente avaliado e o resultado foi resumido na Tabela 55.

De acordo com essa tabela a instalação do sistema de feixe de elétrons para as unidades 3 ou 4 causa um impacto de US\$0,102/MWh na tarifa de eletricidade.

Assim ela passa de US\$ 42,00/MWh para US\$ 43,02/MWh, correspondendo a um acréscimo de 2,4 %.

Deve-se lembrar que o resultado desta avaliação é calculado na taxa de câmbio de 120 yens por dólar e essa taxa deverá influir consideravelmente neste projeto dependendo das condições econômicas brasileiras.

9.3.4. Efeito da instalação do sistema proposto

- Efeito esperado na poluição do ar:

(a) Redução no nível de emissão de SO₂, NO_x e particulados :

Instalando-se o sistema proposto o nível de emissão de SO₂ e NO_x deverá decrescer conforme mostra a Tabela 56.

Tabela 56. Redução esperada na poluição do ar da Usina T. Piratininga^[23]

| (80% DE-SO _x , 65% DE- NO _x) | |
|---|---------------------------|
| Vazão de gases (base úmida) | 370000 Nm ³ /h |
| Entrada de SO ₂ | 2040 ppmV |
| Entrada de NO _x | 160 ppmV |
| Entrada de particulado | 400 mg/ Nm ³ |
| Entrada de H ₂ O | 10%V2 |
| Saída SO ₂ | 408 ppmV |
| Saída NO _x | 56ppmV |
| Saída de particulado | 50mg/Nm ³ |
| Redução de SO ₂ | 1553 kg/h |
| Redução de NO _x | 71 kg/h |
| Redução de particulado | 117 kg/h |

Redução de SO₂:

Vazão de Gás (base seca) X (conc. SO₂) x 64/22,4 X Efic. remoção de SO₂
 =(370000 X 0,9) X (2040 X 10⁻⁶) X 64/22,4 X 0,80 = 1553 kg/h

Redução de NO_x (como NO₂):

Vazão de Gás (base seca) X (conc. NO₂) x 46/22,4 X Efic. remoção de NO₂
 =(370000 X 0,9) X (160 X 10⁻⁶) X 46/22,4 X 0,65 = 71 kg/h

Redução de Particulado:

Vazão de Gás (base seca) X (Entrada de particulado - Saída de particulado)
 =(370000 X 0,9) X (400-50) X 10⁻⁶=117 kg/h

Como apresentado na Tabela 56 acima, podem ser obtidas simultaneamente utilizando esse sistema, uma redução de SO₂ de 1553kg/h, de NO_x de 71 kg/h e de particulado de 117 kg/h.

A redução total anual considerando um fator de carga de 70%, foi estimada conforme abaixo:

Redução de SO₂:

1553X 365 X 24X 0,7 = 9552996 kg/ano =9523 t/ano

Redução de NO_x (como NO₂):

71X 365 X 24X 0,7 = 435372 kg/ano =435 t/ano

Redução de Particulado:

117X 365 X 24X 0,7 = 714444 kg/ano =714 t/ano

Essa quantidade reduzida de SO₂ será de aproximadamente 15,6% da emissão anual total da planta assumindo-se o uso do óleo 3 contendo até 3% de enxofre, conforme mostra a Tabela 57.

Tabela 57. Quantidade estimada de emissões de SO₂ para plena carga (470 MW, Usina Termoelétrica Piratininga)^[23]

| Conteúdo de Enxofre (%) | Consumo de óleo (t/mês) | Emissão de SO ₂ (t/mês) | Emissão de SO ₂ (t/ano) |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 (óleo1B) | 85800 | 1698,8 | 20385,6 |
| 3 | 85800 | 5096,4 | 61156,8 |
| 5 (óleo1A) | 85800 | 8494,0 | 101928 |

Nota: Preço do óleo R\$0,1246/kg (tipo 1A) e R\$0,1549/kg (tipo 1B)

9.3.5. Efeito na economia e na indústria

(1) Efeito no custo da eletricidade :

O estudo de viabilidade foi baseado em unidade de 100-150 MW (135 MW) com um alto fator de carga. Como resultado, sugeriu -se um pequeno aumento na tarifa de geração.

Essas plantas tendo uma produção de gases por unidade de eletricidade relativamente alta podem suportar os custos de construção do sistema.

Para novas unidades com maior capacidade como 300 a 500 MW no entanto, essas produzirão uma quantidade muito menor de gases por unidade de energia elétrica. No entanto, o custo de construção do sistema decresce proporcionalmente e assim pode ser esperado um pequeno aumento nos custos de geração baseados no estudo.

(2) Uso de óleo com alto teor de enxofre :

As chances de uma melhoria significativa na qualidade do ar e nos padrões de emissão de SO_2 abrem uma perspectiva favorável para utilização de óleo com alto teor de enxofre nas plantas termoelétricas reduzindo assim significativamente os seus custos operacionais. Isso poderá se estender para as indústrias brasileiras que usam esse tipo de óleo.

(3) Recuperação dos subprodutos para fertilizantes :

- a) subproduto produzido no processo terá um papel de substituto no mercado brasileiro de sulfato de amônio visto que hoje 80 % desse produto é importado.
- b) A deficiência de enxofre no solo brasileiro é fato bem conhecido e que foi ressaltado em relatório específico da FAO.

Assim o sulfato de amônio produzido como subproduto será de importância significativa no aumento da produção da agricultura brasileira.

9.3.6. Operação e manutenção do sistema proposto

1. Necessidades de operação e manutenção :

De modo geral o número e o grau do pessoal de operação requerido para a operação do sistema de feixe de elétrons é o abaixo listado. No caso particular estudado da Usina Piratininga no entanto poderão ser deslocados operadores que já trabalham nessa planta para serem alocados em tempo parcial no novo sistema.

Sob a atual condição de projeto a sala de controle para o novo sistema proposto será localizado dentro da sala de controle da própria usina. Os operadores da planta estarão assim em condições de monitorar também o novo sistema.

Tabela 58. Equipe de operação necessária ao sistema^[23]

| | Número | Cobertura | Operadores da usina em tempo parcial | Operadores exclusivos do novo sistema |
|--------------------------|--------|-----------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| (1) Supervisor da planta | 1 | DU | 1 | 0 |
| (2) Engenheiro | 1 | DU | 1 | 0 |
| (3) Operador de turno | 8 | DC | 4 | 4 |
| (4) Operador diurno | 3 | DU | 0 | 3 |
| Total | 12 | | 6 | 7 |

Nota : DU = Dias de semana em horário diurno

DC = Dias em turno completo

2. Discussão da operação e manutenção:

(1) Modificações operacionais durante partida e variação de carga:

a . Partida

As reações de dessulfurização (De-SO_x) e denitrificação (De-NO_x) ocorrem imediatamente após o acelerador de feixe de elétrons ser ligado. O regime permanente é então atingido e mantido apenas após alguns minutos.

Assim é necessário apenas esperar um certo tempo durante a partida para se evitar condensação ácida abaixo do ponto de orvalho no sistema. Todas as ações subsequentes para acomodar variações nas condições operacionais incluindo vazão e temperatura de gases e concentração de SO₂ são completamente automáticas.

b . Variações de carga :

Essas variações trazem mudanças nas condições de operação tais como fluxo e temperatura dos gases. Enquanto esse sistema requer modificações na energia aplicada e na quantidade de amônia injetada para acompanhar as variações da vazão dos gases, todos esses ajustes se dão automaticamente de acordo com o sinal de entrada da vazão de gases através de instrumentação apropriada. Assim o operador não precisa fazer operações adicionais em resposta às variações de carga para controlar a energia introduzida no processo pelo feixe de elétrons e/ou a razão de amônia injetada. Do mesmo modo o sistema é equipado com detectores para monitorar a temperatura do gás e a temperatura de saída do vaso de reação. Esses valores detectados servem como base para o controle automático do volume de água injetada através do "spray"

no vaso de reação. Como conseqüência não é necessário para a equipe de operação tomar qualquer ação particular em resposta às variações de carga.

(2) Precauções na manutenção do sistema de feixe de elétrons:

O sistema consiste de uma torre de resfriamento, do acelerador do feixe de elétrons, precipitador, separador e aquecedor gás-gás. Todos esses equipamentos exceto o acelerador de elétrons são equipamentos normalmente utilizados em qualquer termoelétrica. Não há assim cuidados especiais necessários a esses equipamentos. No entanto, é necessário cuidado especial com o acelerador de feixe de elétrons que deve sofrer manutenção anualmente.

Tabela 59. Intervalos de manutenção para acelerador de elétrons.^[23]

| Manutenção do acelerador de elétrons | Intervalo |
|--------------------------------------|---------------------|
| Substituição dos filamentos | Uma vez cada 2 anos |
| Substituição do fole da janela | Uma vez por ano |

(3) Intervalos de Manutenção e necessidade de parada do sistema para manutenção :

Basicamente o sistema poderá sofrer manutenção na parada normal anual das unidades (1 a 2 meses por ano). Assim não é necessário parar as unidades apenas para realizar as manutenções no acelerador.

(4) Período de Indisponibilidade das unidades para instalação do sistema:

A instalação desse sistema é independente da operação da usina. Os serviços de conexão do novo sistema com a parte já em funcionamento da planta leva cerca de 1 semana e não necessita de uma parada de unidade. Essa parada poderá ser totalmente evitada fazendo coincidir esse serviço com uma das manutenções regulares da planta.

9.3.7. Lista dos equipamentos a serem instalados

São os seguintes os equipamentos adicionais a serem instalados com o novo sistema proposto:

1. Trocador de calor para resfriamento de gás

Quantidade: 1

Tipo: Fluxo vertical e paralelo

Dimensão : largura: 5,6 m x comprimento: 3,5 m x altura :9,9 m

Componentes adicionais: Bomba de água de circulação
Sistema de tratamento de água
Sistema de drenagem de água

2. Equipamento da reação principal

Quantidade: 1

Tipo: Fluxo horizontal

Dimensão : largura: 2,5 m x comprimento: 8,0 m x altura :4,6 m

Componentes : Bocal de injeção
Tanque de armazenamento de água do "spray"
Bomba, aquecedor a vapor e chaparia

3. Equipamento do feixe de elétrons

a) Acelerador

Quantidade: 3

Tipo: varredura

Capacidade : 800 kV x 500 mA

b) Fonte de potência

Quantidade: 1+1

Tipo: Fonte de potência de alta tensão em c.c.

Capacidade : 800 kV x 1000 mA, 800 kV x 500 mA.

c) Componentes adicionais : cabo conector ,painel de controle, soprador.

4. Equipamento de coleta do subproduto

Quantidade: 1

Tipo: precipitador eletrostático do tipo seco ,fluxo horizontal.

Componentes: esteira transportadora do subproduto.

5. Equipamento de granulação do subproduto

Quantidade: 1

Tipo: compactador de rolos.

Componentes: caçambas.

6. Instalação de suprimento de amônia

a) Tanque de amônia

Número :2

Tipo cilíndrico horizontal

b) Evaporador

Quantidade : 1

c) Outros componentes:

Acumulador de gás de amônia , bomba.

7. Equipamento de ventilação

Quantidade: 1

Tipo: centrífugo.

Capacidade: 10000 m³/min a 65 °C.

8. Equipamento de recuperação de energia

Quantidade: 1

Tipo: aquecedor de gás tipo Ljungstrom.

9.3.8. Cronograma Preliminar de Instalação

O cronograma preliminar para a instalação do sistema é apresentado a seguir e foi também utilizado para os cálculos econômicos preliminares.

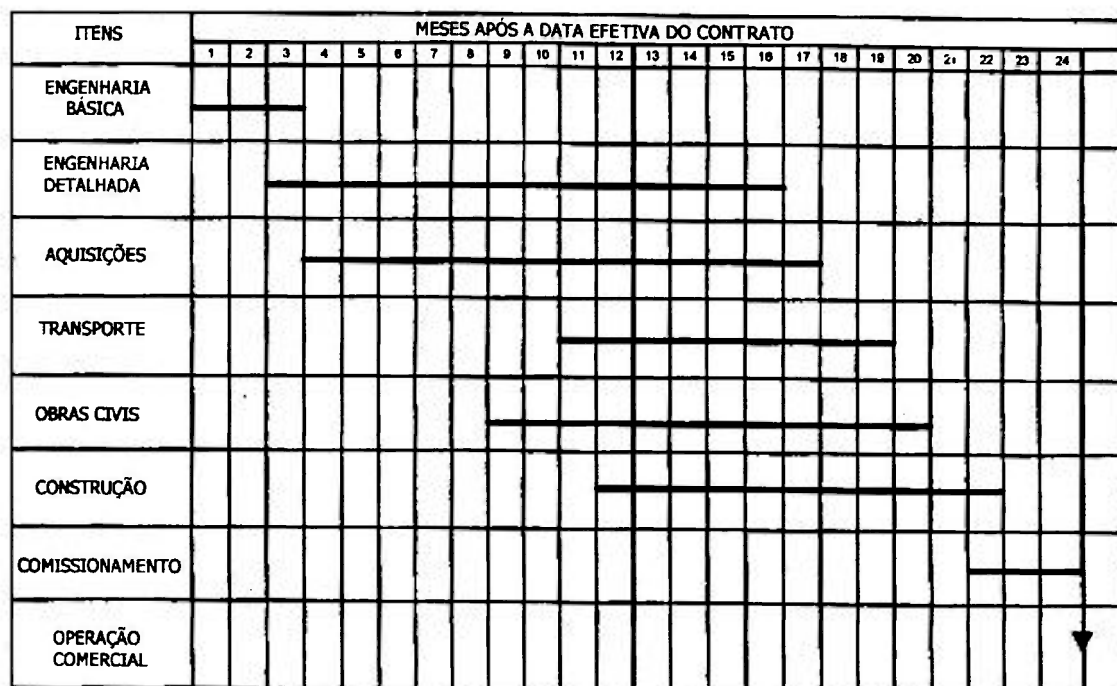


Figura 49 Cronograma preliminar de instalação do projeto Ebara na Usina Termoelétrica Piratininga ^[23].

9.3.9. Arranjo físico e fluxograma do processo

Para o fluxograma do processo, veja Figura 43.

Para o arranjo físico dos equipamentos, veja Figura 8.6.(1) da referência [23].

10. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão que apresentaremos foi feita pela equipe técnica da Usina Termoelétrica Piratininga, da qual fizemos parte, na ocasião do recebimento do Estudo da JCI^[23] em meados de 1997 e até hoje apresenta em seus principais pontos uma consistência adequada, motivo pelo qual a apresentaremos a seguir^[24].

- O estudo considera o óleo combustível com 3% de enxofre que é o usualmente produzido pelas refinarias de São Paulo, embora o limite estabelecido pelo DNC seja de 5%.
- O estudo também considera que a eficiência de remoção será de 80% e 65% respectivamente para o SO₂ e o NO_x. O acréscimo de eficiência de remoção do NO_x, irá encarecer o acelerador de elétrons e no momento a legislação ainda não é impositiva com relação a esse poluente. O critério de remoção do SO₂ é tal que se fôr recebido óleo com 5% de enxofre, a emissão de SO₂ corresponderá à do óleo tipo 1B. Se fôr recebido óleo com 2 a 3% de enxofre, o mais provável, as emissões de SO₂ serão sensivelmente menores do que as atuais.
- A composição dos gases de combustão considerada no estudo, foi calculada com base em usinas similares no Japão, sendo necessário efetuar as medições reais dos teores de SO₂, NO_x, água, particulados, etc. na Usina T. Piratininga, antes de se efetuar o projeto básico.
- O sistema terá à plena carga de 135 MW um consumo de 2500 kWh/h que corresponde à 1,85% da potência elétrica da unidade, de 5,7 m³/h de vapor e de 18,7 m³/h de água do ciclo. Adicionalmente será necessário dispor de amônia na razão de 867 kg/h.

10.1.Principais vantagens

- Remoção simultânea de SO₂ e NO_x em processo único .Embora a regulamentação do controle do NO_x não esteja ainda em vigor ela existe e é restritiva em todos os países desenvolvidos e se encontra em fase de implantação no Brasil.
- O processo é seco não requerendo sistema complexo de tratamento de efluentes líquidos.
- O sistema é relativamente simples e requer menor espaço do que outras alternativas de remoção.
- Conversão de SO₂ e NO_x em fertilizantes que hoje são importados em sua maioria, para complementar as necessidades do Brasil. Esses fertilizantes terão a vantagem adicional de praticamente não apresentarem metais pesados em sua composição^[5].
- Cabe ainda lembrar que a CETESB desde a década de 80 tem exercido pressão quanto ao controle dos efluentes gasosos emanados pela Usina T. Piratininga. Essa pressão tem piorado com o tempo, exacerbada inclusive por telefonemas de reclamação da população circunvizinha. Como o sistema a ser instalado possui um precipitador eletrostático, essas reclamações diminuiriam inclusive as referentes às limpezas de fuligem das caldeiras e às emissões involuntárias proporcionadas pelo sistema de queimadores das unidades. Essa última seria uma vantagem complementar às já proporcionadas pelo sistema a ser instalado. A imagem da Empresa perante a opinião pública seria extremamente beneficiada por controlar a poluição e também por fornecer fertilizante para a agricultura nacional.

10.2.Principais problemas do processo a ser aplicado na Usina T. Piratininga

- O primeiro deles é o custo de instalação de US\$29,3 milhões sem contar impostos e despesas alfandegárias para a instalação do sistema em uma unidade de 135 MW da Usina T. Piratininga. Nesse custo também não estão incluídos os referentes à:

- demolição e remoção de equipamento e instalações existentes nem de solução de obstáculos subterrâneos ;
- chaminé;
- fundação;
- tubulações, dutos e cabos fora do limite de instalação do sistema;
- transporte e armazenagem de amônia;
- transporte do fertilizante produzido;
- materiais consumíveis e utilidades para comissionamento e partida;

Considerando um fator de carga de 85% a unidade a ser modificada consumirá por ano $0,25 \text{ t/h} \times 135\text{MW} \times 8760 \text{ h} \times 0,85 = 250000\text{t}$ de óleo combustível; ainda considerando que o sistema de conversão de partes poluentes de gases permitirá a utilização do combustível do tipo 1A (R\$ 0,1248/kg) que é mais barato do que o tipo 1B (R\$ 0,1549/kg) atualmente em uso; resulta que a economia anual decorrente da implantação do sistema devido ao uso de combustível mais barato será de $250000\text{t} \times \text{R}\$(154,90-124,80) = \text{R}\$ 7,5$ milhões;

Assim a amortização do investimento (sem considerar os juros) ocorreria em 5 anos.

Entretanto as unidades da Usina T. Piratininga não têm operado a plena carga, sendo que na realidade a operação da unidade tem sido com fator de carga de 18%.

Nesse caso a economia anual—se operasse apenas a unidade com o sistema de conversão—seria de apenas R\$ 1,6 milhões para 53000t/ano de consumo de combustível. Nesse caso podemos inferir que o sistema não se justifica economicamente e que apenas deveria ser considerado se houvesse imposição das autoridades de meio ambiente para o controle da poluição das emissões na usina.

Ainda mais a usina será adaptada para a queima do gás natural proveniente do Gasoduto Brasil- Bolívia vindo a queimar esse combustível junto com o atual óleo combustível: isso abaixará ainda mais o consumo de óleo combustível nas unidades da usina.

De qualquer maneira cabe a elaboração de um estudo econômico paramétrico usando diferentes fatores de carga e considerando ainda dentro desses a razão de queima de óleo combustível /gás natural para verificar qual o fator mínimo de carga que tornará o projeto atraente considerando a queima complementar de gás natural. Cabe também nesse estudo o detalhamento desses custos para verificar possíveis reduções e ainda considerando se o preço do fertilizante produzido viabiliza economicamente a manutenção e operação da planta .

- O segundo grande problema é a necessidade adicional de $18,7 \text{ m}^3/\text{h}$ de água pura e $5,7\text{m}^3/\text{h}$ de vapor que não são disponíveis na área da usina uma vez que a produção conjunta de todos os poços semiartesianos e superficiais e o

fornecimento externo da SABESP, da ordem de 25 m³/h, é suficiente apenas para atender as necessidades de reposição da água do ciclo térmico para a operação da usina.

Cabe notar que é possível tratar a água do Canal Pinheiros para essa finalidade: entretanto o custo desse tratamento considerando o investimento para sua construção e os produtos químicos para sua operação, apenas para esta nova instalação, torna virtualmente inviável essa solução para o caso proposto. A não ser que se pense numa solução global para, antes se resolver o problema da poluição do Canal Pinheiros, solução esta atualmente altamente necessária e desejável, tendo em vista os inúmeros problemas técnicos (além dos ambientais) que essa água produz na operação e manutenção da Usina Piratininga (além das outras usinas e equipamentos operados pela Emae neste Canal, incluindo também a limitação de geração na usina Henry Borden em Cubatão, por interdição do bombeamento do Canal Pinheiros para o reservatório Billings, por razões ambientais).

10.3. Tópicos a serem verificados para aperfeiçoamento do estudo

Deverá ser verificado se a emissão remanescente, após o sistema de tratamento de particulados de 50 mg/Nm³ e de amônia de 30 ppm são aceitáveis pela legislação brasileira.

Deverá ser verificado junto aos compradores do fertilizante, qual a influência de particulados de cinzas no subproduto, já que é mencionado que essa contaminação reduz o valor comercial do fertilizante produzido, embora esse fertilizante terá praticamente nenhum traço de metais pesados.

Outro aspecto a considerar é a contaminação da água de borrifamento com as cinzas, as quais são separadas por um equipamento específico. Desde que podem ser produzidas até 40 t/dia desse resíduo, deverá ser verificada qual destino deve ser dado ao mesmo e seu custo.

Deve ainda haver um parecer específico da área financeira da empresa quanto às condições de financiamento do projeto.

Deve também haver um parecer específico da área jurídica sobre como a empresa que é do setor elétrico poderá comercializar o fertilizante, isto é levando-se em consideração o aspecto institucional dentro do estatuto da empresa, da legislação que rege o setor elétrico, etc.

Deverão ainda ser verificados com as empresas envolvidas no estudo, maiores detalhes sobre:

- A manutenção da planta e como ela será feita no Brasil: aquisição de sobressalentes, serviços, assistência técnica .
- O treinamento do pessoal encarregado de operar, manter e supervisionar a planta.
- O recebimento e o manuseio da amônia .
- O manuseio e transporte do fertilizante .
- O processo corrosivo no resfriador gás - gás e reaquecedor dos gases de combustão e a conservação do equipamento considerando-se inclusive regimes de carga não contínuos como regime de carga mínima e pontas com paradas .
- O espaço requerido para o controle do sistema nas salas de controle existentes na planta.
- Discussão sobre quantidade de pessoal em turno e em dedicação total/parcial face à realidade da empresa.

11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:

O método de tratamento de gases tóxicos com feixe de elétrons tem grande aplicabilidade no Brasil, principalmente no setor de geração de energia elétrica, dada a crescente participação do parque térmico nesse setor, confirmada pelo Plano Diretor 2015 da Eletrobrás. Entre as alternativas estão as termoeletricas a gás natural, óleo combustível e carvão aproveitando o potencial carbonífero do sul do País^[4]. O processo de feixe de elétrons se aplica à queima desses dois últimos combustíveis e representa uma alternativa viável para queimá-los com mínima poluição ambiental. Para o gás natural, este processo não indica muita vantagem, uma vez que esse combustível é praticamente isento de enxofre e o NO_x pode ser praticamente removido no processo de queima do gás natural.

Outras aplicações deste processo, são: usinas petroquímicas, indústrias químicas, siderúrgicas, incineradores (para remover SO₂, NO_x, dioxinas), fontes de H₂S, compostos orgânicos voláteis e tratamento de gases de túneis rodoviários.

Como o Brasil é um país onde a agricultura é uma atividade econômica muito importante, sendo parte do fertilizante nela utilizado importado, uma aplicação dos subprodutos poderá ser o seu uso como fertilizante, que tem a vantagem adicional de ser praticamente isento de metais pesados.

O processo foi patenteado pela Ebara Corporation e continua sendo investigado em várias instituições nestes últimos anos (Estados Unidos, Alemanha, Japão e Polônia)^{[5],[6]}. Destes testes em larga escala concluiu-se basicamente que o processo é viável, sendo especialmente útil para usinas termoeletricas, principalmente para as usinas já existentes já que não requerem muito espaço para instalação. Uma instalação de laboratório com fluxo de gás de 20L/min, foi implantada no IPEN-CNEN/SP para estudo deste processo^{[2],[3],[14]}. Atualmente está sendo construída uma planta de demonstração, em termoeletrica a carvão, para 100MW (~270.000Nm³/h) na Polônia e uma similar está em operação comercial na China^{[9],[11],[22]}.

O custo estimado do processo é de US\$209,50 por kilowatt e foi apresentado pela Ebara Corporation em seu relatório final ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, baseado no preço de US\$1,66 por watt para o custo do acelerador^[18].

O presente status de desenvolvimento dos aceleradores permite a construção de unidades de 500kW a um custo em de 2 a 5 US\$/W. Em uma

planta de 100MW, deve ser usado um acelerador de 1000kW de potência, para se conseguir uma eficiência de remoção de 90% para SO₂ e 80% para NO_x, a uma dose de 7kGy. O custo dos aceleradores representa aproximadamente 25% do investimento de capital.

O custo do processo depende principalmente da porcentagem de remoção dos óxidos de nitrogênio, o qual depende fortemente da dose de irradiação, definindo portanto a potência do acelerador. Remoções de 40% ou menores diminuem o custo do processo.

Aproximadamente 60% do custo do processo envolve a parte de projetos de engenharia e construção, podendo ser realizada por técnicos e empresas nacionais. A aquisição dos equipamentos que não são fabricados no Brasil tais como aceleradores, analisadores etc. poderão ser adquiridos por importação direta ou através de seus representantes no País.

As técnicas convencionais de tratamento de gases retiram o óxido de enxofre mas geram subprodutos de baixo ou nenhum valor comercial. A retirada dos óxidos de nitrogênio é feita em separado por redução catalítica seletiva que usa amônia para converter os óxidos de nitrogênio em N₂. A grande maioria dos processos clássicos geram resíduo aquoso, gerando grandes problemas de estocagem. Os métodos convencionais de dessulfurização podem ser divididos nas seguintes categorias: sistemas a seco e úmido (FGD)^[17].

Métodos secos e úmidos podem ser aplicados também para a redução de poluentes NO_x. Como exemplo de método, podemos citar o de redução catalítica seletiva (SCR).

Porém, o processo de feixe de elétrons apresenta vantagens em relação a esses métodos: remove simultaneamente SO₂ e NO_x, apresenta altos níveis de eficiência, não produz resíduo aquoso / pastoso, o produto final pode ser usado como fertilizante, não apresentando assim problemas de disposição de rejeitos, apresenta custos competitivos, é seguro, fácil de operar inclusive nas partidas e paradas, não gera radioatividade e tem excelente aplicabilidade no caso de reforma e repotenciação de instalações termoelétricas.^[9,19]

Com o desenvolvimento desta pesquisa, esperamos introduzir esta técnica no Brasil, já que possui grandes aplicações na área do meio ambiente. A pesquisa pretende contribuir para a diminuição da poluição atmosférica com a transferência desta tecnologia, principalmente porque o Brasil tem pouca experiência na área de tratamento de gases de combustão.

O maior impacto do projeto proposto no estudo, é oferecer à sociedade brasileira uma técnica de remoção de gases poluentes que seja muito eficiente (impacto social e ambiental) e requeira, ao mesmo tempo, custos menores de investimento e operação (impacto econômico).

Os resultados deste projeto podem ser utilizados pelo setor de geração de energia elétrica, por exemplo pela EMAE, que utiliza óleo combustível com 1%

de enxofre na Usina Termoelétrica Piratininga e pode ter uma economia de 20%, utilizando um óleo com 3% de enxofre, se utilizar o método de tratamento de gases e a Gerasul ou a CGTE que utilizam carvão que contém enxofre.

Os resultados do estudo de viabilidade feito para a Usina Termoelétrica Piratininga mostraram a aplicabilidade do processo de conversão de partes poluentes em subproduto para fertilizante por feixe de elétrons na instalação, para tratar os gases provenientes da queima de óleo combustível necessário para gerar 135 MW elétricos: o investimento pode ser amortizado com um pequeno aumento tarifário e/ou utilização de óleo com maior teor de enxofre do que o atualmente utilizado, para amortizar o investimento (desde de que a Usina funcione com um fator de carga razoavelmente alto).

Recomendamos um estudo complementar de engenharia contemplando os seguintes itens complementares ao estudo de viabilidade:

- (1) Confirmação das condições para implantação do projeto com atualização dos dados relativos a valores utilizados no Estudo de Viabilidade como preços de combustíveis, insumos como a amônia, fator de carga atual da Usina considerando inclusive o uso de gás natural, já em curso.
- (2) Alternativas de fornecimento de equipamentos e serviços para a construção da planta desse processo, levando-se em consideração o mercado nacional.
- (3) Avaliação qualitativa dos sistemas de distribuição e preços para a amônia e o subproduto fertilizante, já que o estudo não considerou uma segunda fase da pesquisa, sobre o sistema de distribuição de amônia líquida no país, produto fundamental para o processo considerado e também do potencial de comercialização efetiva do subproduto, confirmando a robustez da aplicação do processo.
- (4) Os resultados já comprovados de performance desse sistema na sua primeira planta comercial na China e de outras plantas piloto já existentes no Japão, na Polônia, nos EUA .
- (5) Restantes considerações expostas no item 10.3. *Tópicos a serem verificados para aperfeiçoamento do estudo.*

Recomendamos às autoridades, a aceleração da implementação de um ambiente adequado tributário, legislativo e financeiro, que favoreça a implementação, pela iniciativa privada, de soluções como a proposta neste estudo. As principais podem ser as seguintes:

- 1) Redução de impostos (exemplo: ICMS), para as empresas que se dispuserem a investir na geração de energia, com preservação do meio ambiente;
- 2) Incentivo à busca de financiamentos a juros baixos, dentro de programas do Banco Mundial, para este tipo de investimento;

- 3) Criação do imposto ambiental, que atualmente não seria uma medida muito política mas que pode ser estudada para implementação após a fase de transição econômica que o País atravessa atualmente. O imposto ou taxa ambiental é um instrumento econômico para gestão ambiental através do qual o poder público intervém no sentido de limitar a contaminação do meio ambiente, ou seja dos custos que os agentes poluentes impõem aos outros membros da sociedade. Consiste em taxar o agente poluidor de tal forma que provoque uma correção da sua atividade até o ponto socialmente desejável^[25]. Essa taxa deverá fazer com que o gerador de poluição passe a tomar decisões considerando a incorporação dos custos da poluição para a sociedade. Esse instrumento está muito bem detalhado no artigo de Gustavo Souto Maior, "Imposto Ambiental/ Taxação – Um Instrumento Econômico de Gestão Ambiental" publicado na Revista Baiana de Tecnologia- Tecbahia v. 15,n.1, jan /abr. 2000 p.68 a76^[25]. Um instrumento como esse pode se fazer necessário para produzir incentivos para que ocorram pesquisas visando a redução dos níveis de emissão de poluentes. Esse imposto inclusive forçará as empresas a adotarem políticas de gestão ambiental pois, um imposto recebido periodicamente influenciará permanentemente as decisões gerenciais de uma empresa^[25]. Evidentemente haverá problemas de aceitação política desse instrumento, principalmente dos setores que se beneficiam do comércio internacional, que acharão sempre que os impostos aplicados podem provocar diminuição de competitividade nos produtos produzidos --- embora organizações internacionais como a ISO estejam preocupadas e empenhadas em introduzir normas de gestão ambiental no comércio internacional. A Holanda, Noruega e Dinamarca usam impostos ambientais e foram considerados, por um estudo de 1996 do Instituto de Desenvolvimento de Gestão, como os três países mais competitivos da Europa [25, citação de AEMA-AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE. El tributo ambiental: aplicación y efectividad sobre el medio ambiente e La aplicación y la efectividad de los impuestos ambientales]. Em suma, apesar das limitações desse instrumento, ele pode proporcionar benefícios à pesquisa e inovação tecnológica dentro da iniciativa privada, aumentando as probabilidades de que projetos inovadores como o exposto nesta Dissertação, venham a ser implementados em futuro próximo.

Gostaríamos finalmente de reforçar um alerta às autoridades de que os sintomas de problemas respiratórios e cardiovasculares da população da Região Metropolitana de São Paulo, apesar dos programas de controle de poluição, cresceram significativamente no período 1986-1998 ^[29]: isto se deve em grande parte ao crescente número de veículos nessa Região. Porém, uma unidade termoelétrica de 135MW com fator de carga de 70%, funcionando a óleo na Região, sem equipamento de eliminação ou conversão de gases poluentes, mesmo funcionando com óleo até 1% de teor de enxofre, lança à atmosfera, cerca de 9523 toneladas adicionais por ano de SO₂, 435 toneladas adicionais de

NO_x e 714 toneladas anuais adicionais numa bacia aérea já extremamente sobrecarregada pela poluição veicular.

Se isso continuar sem se tomar as devidas providências corretivas, além de causar crescente desgaste político junto à comunidade, poderá provocar significativos prejuízos à cidade de São Paulo, se forem computadas as horas perdidas dessa população afetada adicionalmente pela poluição causada por essa Usina. Essa é uma pesquisa, dentro do que temos conhecimento, ainda a ser feita – e que certamente exigirá uma base de dados bem mais consolidada do que atualmente dispomos – mas que poderá indicar quantitativamente a extensão desse prejuízo. Inclusive, com a crescente reivindicação política proporcionada pelas ONG's, pode o Governo ter que no futuro vir a desembolsar significativas indenizações a essa população, a exemplo do ocorrido no Japão, onde há legislação compensatória para danos à saúde provocados por poluição.

De qualquer maneira em São Paulo e mesmo a nível global, é crescente a necessidade de se gerar energia elétrica a partir de fontes combustíveis fósseis e a tendência desse tipo de geração parece ser crescente a curto e médio prazo. Há então necessidade de uma política clara e definida com relação a esse tipo de geração que não exclua a preservação ambiental e humana.

Sob o ponto de vista estratégico para o Governo é altamente interessante que se implante esse processo em pelo menos essa fonte poluidora, para que se avalie "in loco" sua performance e para que outras indústrias já existentes ou outros empreendimentos importantes como incineradores / usinas de lixo, possam se beneficiar desses resultados.

7.2.4. Regulamentação da emissão de NO_x no Japão

Na Tabela 35 são apresentados os limites de emissão de NO_x que foram estabelecidas pelo governo japonês. Esses limites de emissão, no entanto, são algumas vezes insuficientes para prevenir a poluição ambiental dependendo das condições específicas das diversas áreas consideradas.

Tabela 35. Padrões de emissão para NO_x no Japão ^[35]

| Fonte de gases | Capacidade (1000Nm ³ /h) | Limites* (ppm) * em 1984 |
|---|--|-----------------------------|
| Caldeira(gás) (O ₂ = 5%) | >500 | 60 |
| | 100~500 | 100 |
| | 40~100 | 100 |
| | 10~40 | 130 |
| | <10 | 150 |
| Caldeira(óleo) (O ₂ = 4%) | >500 | 130 |
| | 100~500 | 150 |
| | 40~100 | 150 |
| | 10~40 | 150 |
| | <10 | 180 |
| Caldeira(carvão) (O ₂ = 6%) | >700 | 200 |
| | 40~700 | 250 |
| | < 40 | 300 |
| Siderúrgica | >100 | 220 |
| | 10~100 | 220 |
| | < 10 | 220 |
| Forno de cimento | >100 | 250 |
| | <100 | 350 |
| Fornalha fab. de vidro | | 450 |
| Incinerador | >40 | 250 |
| | <40 | 250 |
| Fornalha de coque | >100 | 170 |
| | <100 | 170 |
| Planta de ácido nítrico | | 200 |

Cada governo local como prefeituras, cidade, região, são autorizados a estabelecer limites ou padrões locais. Na Tabela 36 é apresentada uma série de valores acordados de emissão para diversas usinas termoeletricas japonesas^[23].

12. APÊNDICE

RESOLUÇÃO CONAMA N.º 237, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1992

(Dispõe sobre o licenciamento ambiental).

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentadas pelo Decreto n.º 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regulamento Interno, e considerando a necessidade de revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente; considerando a necessidade de se incorporar ao sistema de licenciamento ambiental os instrumentos de gestão ambiental, visando o desenvolvimento sustentável e a melhoria contínua; considerando as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA n.º 011/94, que determina a necessidade de revisão no sistema de licenciamento ambiental; considerando a necessidade de regulamentação de aspectos do licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente que ainda não foram definidos; considerando a necessidade de ser estabelecido critério para exercício da competência para o licenciamento a que se refere o artigo 10 da Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981; considerando a necessidade de se integrar a atuação dos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA na execução da Política Nacional do Meio Ambiente, em conformidade com as respectivas competências, RESOLVE:

Art. 1.º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

II - Licença Ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

III - Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

III - Impacto Ambiental Regional: é todo e qualquer impacto ambiental que afete diretamente (área de influência direta do projeto), no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados.

Art. 2.º - A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1.º - Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução.

§ 2.º - Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do Anexo 1, levando em consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade.

Art. 3.º - A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Parágrafo único - O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento.

Art. 4.º - Compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, órgão executor do SISNAMA, o licenciamento ambiental, a que se refere o artigo 10 da Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, de empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, a saber:

I - localizadas ou desenvolvidas conjuntamente no Brasil e em país limítrofe; no mar territorial; na plataforma continental; na zona econômica exclusiva; em terras indígenas ou em unidades de conservação do domínio da União;

II - localizadas ou desenvolvidas em dois ou mais Estados;

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais do País ou de um ou mais Estados;

IV - destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN;

V - bases ou empreendimentos militares, quando couber, observada a legislação específica.

§ 1.º - O IBAMA fará o licenciamento de que trata este artigo após considerar o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos Estados e Municípios em que se localizar a atividade ou empreendimento, bem como, quando couber, o parecer dos demais órgãos competentes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, envolvidos no procedimento de licenciamento.

§ 2.º - O IBAMA, ressalvada sua competência supletiva, poderá delegar aos Estados o licenciamento de atividade com significativo impacto ambiental de âmbito regional, uniformizando, quando possível, as exigências de atividade com significativo impacto ambiental estadual ou do Distrito Federal o licenciamento ambiental dos

empreendimentos e atividades:

I - localizadas ou desenvolvidas em mais de um Município ou em unidades de conservação de domínio estadual ou do Distrito Federal;

II - localizadas ou desenvolvidas nas florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente relacionadas no artigo 2.º da Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, e em todas as que assim forem consideradas por normas federais, estaduais ou municipais;

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais de um ou mais Municípios;

IV - delegados pela União aos Estados ou ao Distrito Federal, por instrumento legal ou convênio.

Parágrafo único - O órgão ambiental estadual ou do Distrito Federal fará o licenciamento de que trata este artigo após considerar o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos Municípios em que se localizar a atividade ou empreendimento, bem como, quando couber, o parecer dos demais órgãos competentes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, envolvidos no procedimento de licenciamento.

Art. 6.º - Compete ao órgão ambiental municipal, ouvidos os órgãos competentes da União, dos Estados e do Distrito Federal, quando couber, o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e daquelas que lhe forem delegadas pelo Estado por instrumento legal ou convênio.

Art. 7.º - Os empreendimentos e atividades serão licenciados em um único nível de competência, conforme estabelecido nos artigos anteriores.

Art. 8.º - O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Parágrafo único - As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

Art. 9.º - O CONAMA definirá, quando necessário, licenças ambientais específicas, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

Art. 10 - O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às seguintes etapas:

- I - Definição pelo órgão ambiental competente, com a participação do empreendedor, dos documentos, projetos e estudos ambientais necessários ao início do processo de licenciamento correspondente à licença a ser requerida;
- II - Requerimento da licença ambiental pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais pertinentes, dando-se a devida publicidade;
- III - Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de visitas técnicas, quando necessárias;
- IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, uma única vez, em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;
- V - Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente;
- VI - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, decorrentes de audiências públicas, quando couber, podendo haver reiteração da solicitação quando os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;
- VII - Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico;
- VIII - Deterimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade.

§ 1.º - No procedimento de licenciamento ambiental deverá constar, obrigatoriamente, a certidão da Prefeitura Municipal, declarando que o local e o tipo de empreendimento ou atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e ocupação do solo e, quando for o caso, a autorização para supressão de vegetação e a outorga para o uso da água, emitidas pelos órgãos competentes.

§ 2.º - No caso de empreendimentos e atividades sujeitos ao estudo de impacto ambiental - EIA, se verificada a necessidade de nova complementação em decorrência de esclarecimentos já prestados, conforme incisos IV e VI, o órgão ambiental competente, mediante decisão motivada e com a participação do empreendedor, poderá formular novo pedido de complementação.

Art. 11 - Os estudos necessários ao processo de licenciamento deverão ser realizados por profissionais legalmente habilitados, às expensas do empreendedor.

Parágrafo único - O empreendedor e os profissionais que subscrevem os estudos previstos no caput deste artigo serão responsáveis pelas informações apresentadas, sujeitando-se às sanções administrativas, civis e penais.

Art. 12 - O órgão ambiental competente definirá, se necessário, procedimentos específicos para as licenças ambientais, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

§ 1.º - Poderão ser estabelecidos procedimentos simplificados para as atividades e empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental, que deverão ser aprovados pelos respectivos Conselhos de Meio Ambiente.

§ 2.º - Poderá ser admitido um único processo de licenciamento ambiental para pequenos empreendimentos e atividades similares e vizinhos ou, para aqueles integrantes de planos de desenvolvimento aprovados previamente, pelo órgão governamental competente, desde que defina a responsabilidade legal pelo conjunto de empreendimentos ou atividades.

§ 3.º - Deverão ser estabelecidos critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental, visando a melhoria contínua e o aprimoramento do desempenho ambiental.

Art. 13 - O custo de análise para a obtenção da licença ambiental deverá ser estabelecido por dispositivo legal, visando o ressarcimento, pelo empreendedor, das despesas realizadas pelo órgão ambiental competente.

Parágrafo único - Facultar-se-á ao empreendedor acesso à planilha de custos realizados pelo órgão ambiental para a análise da licença.

Art. 14 - O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de análise diferenciados para cada modalidade de licença (LP, LI e LO), em função das peculiaridades da atividade ou empreendimento, bem como para a formulação de exigências complementares, desde que observado o prazo máximo de 6 (seis) meses a contar do ato de protocolar o requerimento até seu deferimento ou indeferimento, ressalvados os casos em que houver EIA/RIMA e/ou audiência pública, quando o prazo será de até 12 (doze) meses.

§ 1.º - A contagem do prazo previsto no caput deste artigo será suspensa durante a elaboração dos estudos ambientais complementares ou preparação de esclarecimentos pelo empreendedor.

§ 2.º - Os prazos estipulados no caput poderão ser alterados, desde que justificados e com a concordância do empreendedor e do órgão ambiental competente.

Art. 15 - O empreendedor deverá atender à solicitação de esclarecimentos e complementações, formuladas pelo órgão ambiental competente, dentro do prazo máximo de 4 (quatro) meses, a contar do recebimento da respectiva notificação.

Parágrafo único - O prazo estipulado no caput poderá ser prorrogado, desde que justificado e com a concordância do empreendedor e do órgão ambiental competente.

Art. 16 - O não cumprimento dos prazos estipulados nos artigos 14 e 15, respectivamente, sujeitará o licenciamento à ação do órgão que detenha competência para atuar supletivamente e o empreendedor ao arquivamento de seu pedido de licença.

Art. 17 - O arquivamento do processo de licenciamento não impedirá a apresentação de novo requerimento de licença, que deverá obedecer aos procedimentos estabelecidos no artigo 10, mediante novo pagamento de custo de análise.

Art. 18 - O órgão ambiental competente estabelecerá os prazos de validade de cada tipo de licença, especificando-os no respectivo documento, levando em consideração os seguintes aspectos:

I - O prazo de validade da Licença Prévia (LP) deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 (cinco) anos.

II - O prazo de validade da Licença de Instalação (LI) deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 6 (seis) anos.

III - O prazo de validade da Licença de Operação (LO) deverá considerar os planos de controle ambiental e será de, no mínimo, 4 (quatro) anos e, no máximo, 10 (dez) anos.

§ 1.º - A Licença Prévia (LP) e a Licença de Instalação (LI) poderão ter os prazos de validade prorrogados, desde que não ultrapassem os prazos máximos estabelecidos nos incisos I e II.

§ 2.º - O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de validade específicos para a Licença de Operação (LO) de empreendimentos ou atividades que, por sua natureza e peculiaridades, estejam sujeitos a encerramento ou modificação em prazos inferiores.

§ 3.º - Na renovação da Licença de Operação (LO) de uma atividade ou empreendimento, o órgão ambiental competente poderá, mediante decisão motivada, aumentar ou diminuir o seu prazo de validade, após avaliação do desempenho ambiental da atividade ou empreendimento no período de vigência anterior, respeitados os limites estabelecidos no inciso III.

§ 4.º - A renovação da Licença de Operação (LO) de uma atividade ou empreendimento deverá ser requerida com antecedência mínima de 120 (cento e vinte) dias da expiração de seu prazo de validade, fixado na respectiva licença, ficando este automaticamente prorrogado até a manifestação definitiva do órgão ambiental competente.

Art. 19 - O órgão ambiental competente, mediante decisão motivada, poderá modificar os condicionantes e as medidas de controle e adequação, suspender ou cancelar uma licença expedida, quando ocorrer:

I - Violação ou inadequação de quaisquer condicionantes ou normas legais.

II - Omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição da licença.

III - superveniência de graves riscos ambientais e de saúde.

Art. 20 - Os entes federados, para exercerem suas competências licenciatórias, deverão ter implementados os Conselhos de Meio Ambiente, com caráter deliberativo e participação social e, ainda, possuir em seus quadros ou a sua disposição profissionais legalmente habilitados.

Art. 21 - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, aplicando seus efeitos aos processos de licenciamento em tramitação nos órgãos ambientais competentes, revogadas as disposições em contrário, em especial os artigos 3.º e 7.º da Resolução CONAMA n.º 001, de 23 de janeiro de 1986.

GUSTAVO KRAUSE GONÇALVES SOBRINHO
Presidente
RAIMUNDO DEUSDARÁ FILHO
Secretário-Executivo

ANEXO 1

ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

- Extração e tratamento de minerais**
- pesquisa mineral com guia de utilização
 - lavra a céu aberto, inclusive de aluvião, com ou sem beneficiamento
 - lavra subterrânea com ou sem beneficiamento
 - lavra garimpeira
 - perfuração de poços e produção de petróleo e gás natural
- Indústria de produtos minerais não metálicos**
- beneficiamento de minerais não metálicos, não associados à extração
 - fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos tais como: produção de material cerâmico, cimento, gesso, amianto e vidro, entre outros.
- Indústria metalúrgica**
- fabricação de aço e de produtos siderúrgicos
 - produção de fundidos de ferro e aço/forjados/arames/re laminados com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia
 - metalurgia dos metais não-ferrosos, em formas primárias e secundárias, inclusive ouro
 - produção de laminados/ligas/artefatos de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia
 - relaminação de metais não-ferrosos, inclusive ligas
 - produção de soldas e anodos
 - metalurgia de metais preciosos
 - metalurgia do pó, inclusive peças moldadas
 - fabricação de estruturas metálicas com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia
 - fabricação de artefatos de ferro/aço e de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia
 - tempera e cementação de aço, recozimento de arames, tratamento de superfície
- Indústria mecânica**
- fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico e/ou de superfície
- Indústria de material elétrico, eletrônico e comunicações**
- fabricação de pilhas, baterias e outros acumuladores
 - fabricação de material eletrônico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática
 - fabricação de aparelhos elétricos e eletrodomesticos
- Indústria de material de transporte**
- fabricação e montagem de veículos rodoviários e ferroviários, peças e acessórios
 - fabricação e reparo de embarcações e estruturas flutuantes
- Indústria de madeira**
- serraria e desdobramento de madeira
 - preservação de madeira
 - fabricação de chapas, placas de madeira aglomerada, prensada e compensada
 - fabricação de estruturas de madeira e de móveis
- Indústria de papel e celulose**
- fabricação de celulose e pasta mecânica
 - fabricação de papel e papelão
 - fabricação de artefatos de papel, papelão, cartão, cartão e fibra prensada
- Indústria de borracha**
- beneficiamento de borracha natural
 - fabricação de câmara de ar e fabricação e condicionamento de pneumáticos

1436

- fabricação de laminados e fios de borracha
 - fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex
- Indústria de couros e peles**
- secagem e salga de couros e peles
 - curtimento e outras preparações de couros e peles
 - fabricação de artefatos diversos de couros e peles
 - fabricação de cola animal
- Indústria química**
- produção de substâncias e fabricação de produtos químicos
 - fabricação de produtos derivados do processamento de petróleo, de rochas betuminosas e da madeira
 - fabricação de combustíveis não derivados de petróleo
 - produção de óleos/gorduras/ceras vegetais-animais/óleos essenciais vegetais e outros produtos da destilação da madeira
 - fabricação de resinas e de fibras e fios artificiais e sintéticos e de borracha e látex sintéticos
 - fabricação de pólvora/explosivos/detonantes/munição para caça-desporto, fósforo de segurança e artigos pirotécnicos
 - recuperação e refino de solventes, óleos minerais, vegetais e animais
 - fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos
 - fabricação de preparados para limpeza e polimento, desinfetantes, inseticidas, germicidas e fungicidas
 - fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes
 - fabricação de fertilizantes e agroquímicos
 - fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários
 - fabricação de sabões, detergentes e velas
 - fabricação de perfumarias e cosméticos
 - produção de álcool etílico, metanol e similares
- Indústria de produtos de matéria plástica**
- fabricação de laminados plásticos
 - fabricação de artefatos de material plástico
- Indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos**
- beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos
 - fabricação e acabamento de fios e tecidos
 - tingimento, estamparia e outros acabamentos em peças do vestuário e artigos diversos de tecidos
 - fabricação de calçados e componentes para calçados
- Indústria de produtos alimentares e bebidas**
- beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares
 - maladouras, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal
 - fabricação de conservas
 - preparação de pescados e fabricação de conservas de pescados
 - preparação, beneficiamento e industrialização de leite e derivados
 - fabricação e refinação de açúcar
 - refino/preparação de óleo e gorduras vegetais
 - produção de manteiga, cacau, gorduras de origem animal para alimentação
 - fabricação de fermentos e leveduras
 - fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais
 - fabricação de vinhos e vinagre
 - fabricação de cervejas, chopes e maltes
 - fabricação de bebidas não alcoólicas, bem como engarrafamento e gaseificação de águas minerais
 - fabricação de bebidas alcoólicas
- Indústria de fumo**
- fabricação de cigarros/charutos/cigarilhas e outras atividades de beneficiamento do fumo

165

1437

Indústrias diversas

- usinas de produção de concreto
- usinas de asfalto

Obras civis

- rodovias, ferrovias, hidrovias, metropolitanos
- barragens e diques
- canais para drenagem
- reificação de curso de água
- abertura de barras, embocaduras e canais
- transposição de bacias hidrográficas
- outras obras de arte

Serviços de utilidade

- produção de energia termoelétrica
- transmissão de energia elétrica
- estações de tratamento de água
- interceptores, emissários, estação elevatória e tratamento de esgoto sanitário
- tratamento e destinação de resíduos industriais (líquidos e sólidos)

→ Tratamento/disposição de resíduos especiais tais como: de agroquímicos e suas embalagens usadas e de serviço de saúde, entre outros

- tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas
- dragagem e derrocamentos em corpos d'água
- recuperação de áreas contaminadas ou degradadas

Transporte, terminais e depósitos

- transporte de cargas perigosas
- transporte por dutos
- marinas, portos e aeroportos
- terminais de minério, petróleo e derivados e produtos químicos
- depósitos de produtos químicos e produtos perigosos

Turismo

- complexos turísticos e de lazer, inclusive parques temáticos e autódromos

Atividades diversas

- parcelamento do solo
- distrito e pólo industrial

Atividades agropecuárias

- projeto agrícola

- criação de animais

- projetos de assentamentos e de colonização

Uso de recursos naturais

- silvicultura
- exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais
- atividade de manejo de fauna exótica e caudouro de fauna silvestre
- utilização do patrimônio genético natural
- manejo de recursos aquáticos vivos
- introdução de espécies exóticas e/ou geneticamente modificadas
- uso da diversidade biológica pela biotecnologia

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 238, DE 22 DE DEZEMBRO DE 1997

(Aprova a Política Nacional de Controle da Desertificação).

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e considerando que o tema desertificação vem sendo discutido pela comunidade internacional desde 1977, quando da realização, em Nairobi, da Conferência Internacional das Nações Unidas para o Combate à Desertificação; considerando que a partir da Conferência de Nairobi foi criado o Plano de Ação de Combate à Desertificação-PACD, que visava desenvolver ações em âmbito mundial, com a adesão voluntária dos países que participaram da Conferência; considerando as avaliações do PACD, feitas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, mostram que os resultados obtidos foram mais do que modestos. Os recursos necessários não foram investidos, a maioria dos países com graves problemas de desertificação não assumiram compromissos com ações nacionais, e programas consistentes de capacitação e formação de recursos humanos não foram desenvolvidos; considerando que no caso do Brasil, a falta de decisão política e de consenso da comunidade científica sobre o problema motivou disputas conceituais e metodológicas que provocaram dispersão de esforços e inviabilizaram a formação de linhas de pesquisa suficientemente claras para permitir o aporte de recursos e a definição de áreas de estudo; considerando que durante a Rio 92, tendo por base as discussões havidas durante a Conferência Internacional sobre Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável no Semi-Árido - ICID, realizada no Ceará em janeiro de 1992, foi negociada a elaboração, no contexto das Nações Unidas, de uma Convenção Internacional de Combate à Desertificação e à Seca. A Convenção foi organizada durante o ano de 1993 e concluída em 17 de junho de 1994, e o Brasil, assim como mais de cem países, já a assinaram; considerando os compromissos da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, o Governo brasileiro, por intermédio do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - MMA e da Agência Brasileira de Cooperação celebrou um acordo de cooperação técnica com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD visando a preparação do Plano Nacional de Combate à Desertificação - PNCD, tendo a Fundação Grupo Esquel Brasil - FGEB como agência implementadora. Esse acordo obteve, posteriormente, o apoio da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação - FAO e do PNUMA; considerando a Agenda 21 e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, foi realizado workshop com a participação de instituições e técnicos envolvidos com a temática, objetivando a discussão e definição dos marcos de uma política nacional de controle da desertificação; considerando que os resultados dessa interação interinstitucional e multidisciplinar pretendem servir de base para a formulação das políticas de controle da desertificação que assegurem: às comunidades afetadas, melhores condições de vida; às agências e órgãos federais, maior capacidade de indução do desenvolvimento com sustentabilidade ambiental; à comunidade internacional, o firme propósito de contribuir para o desenvolvimento sustentável em nível global;

Art. 1.º - Aprova a Política Nacional de Controle da Desertificação, conforme publicado no Boletim Interno do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.

Art. 2.º - Entra em vigor na data de sua publicação, e revogam-se as disposições em contrário.

GUSTAVO KRAUSE GONÇALVES SOBRINHO
Presidente do Conselho
RAIMUNDO DEUSDARA FILHO
Secretário-Executivo

Resolução CONAMA n.º 003/91
Resolução CONAMA n.º 003/91
Resolução CONAMA n.º 003/91

II - FUMAÇA

a) Padrão Primário

- 1 - concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

- 1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

III - PARTÍCULAS INALÁVEIS

a) Padrão Primário e Secundário

- 1 - concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

IV - DIÓXIDO DE ENXOFRE

a) Padrão Primário

- 1 - concentração média aritmética anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

- 1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

V - MONÓXIDO DE CARBONO

a) Padrão Primário e Secundário

- 1 - concentração média de 8 (oito) horas de 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico de ar (9 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.
- 2 - concentração média de 1 (uma) hora de 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico de ar (35 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VI - OZÔNIO

a) Padrão Primário e Secundário

- 1 - concentração média de 1 (uma) hora de 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VII - DIÓXIDO DE NITROGÊNIO

a) Padrão Primário

- 1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) microgramas por metro cúbico de ar.

b) Padrão Secundário

- 1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 1 (uma) hora de 190 (cento e noventa) microgramas por metro cúbico de ar.

Art. 4.º - Ficam estabelecidos os seguintes métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos a serem definidos nas respectivas Instruções Normativas:

- a) PARTICULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO - Método do Amostrador de Grandes Volumes ou Método Equivalente.
- b) FUMAÇA - Método de Refletância ou Método Equivalente.
- c) PARTICULAS INALÁVEIS - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.

RESOLUÇÃO CONAMA N.º 003, DE 28 DE JUNHO DE 1990

(Dispõe sobre a ampliação do monitoramento e controle dos poluentes atmosféricos).

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso II, do art. 6.º, da Lei n.º 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei n.º 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto n.º 99.274, de 6 de junho de 1990, e considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País; considerando que a Portaria GM 0231, de 27.04.76, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito; considerando o previsto na Resolução CONAMA n.º 005, de 15.06.89, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, RESOLVE:

Art. 1.º - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único - Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- I - IMPROPRIO, NOCIVO OU OFENSIVO À SAÚDE;
- II - INCONVENIENTE AO BEM-ESTAR PÚBLICO;
- III - DANOSO AOS MATERIAIS, À FAUNA E À FLORA;
- IV - PREJUDICIAL À SEGURANÇA, AO USO E GOZO DA PROPRIEDADE E ÀS ATIVIDADES NORMAIS DA COMUNIDADE.

Art. 2.º - Para os efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes conceitos:

- I - PADRÕES PRIMÁRIOS DE QUALIDADE DO AR - são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- II - PADRÕES SECUNDÁRIOS DE QUALIDADE DO AR - são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único - Os padrões de qualidade do ar serão o objetivo a ser atingido mediante a estratégia de controle fixada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Art. 3.º - Ficam estabelecidos os seguintes Padrões de Qualidade do Ar:

I - PARTICULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO

a) Padrão Primário

- 1 - concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

- 1 - concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar.
- 2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

- d) DIÓXIDO DE ENXOFRE - Método de Pararonsilina ou Método Equivalente.
 e) MONÓXIDO DE CARBONO - Método do Infra-vermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.
 f) OZÔNIO - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.
 g) DIÓXIDO DE NITROGÊNIO - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

§ 1.º - Constitui-se *Método de Referência*, os métodos aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e na ausência deles os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente.

§ 2.º - Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA.

§ 3.º - Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25 °C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

Art. 5.º - O monitoramento da qualidade do ar e atribuição dos Estados.

Art. 6.º - Ficam estabelecidos os *Níveis de Qualidade do Ar* para elaboração do **Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar**, visando providências dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

§ 1.º - Considera-se *Episódio Crítico de Poluição do Ar* a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2.º - Ficam estabelecidos os Níveis de **ATENÇÃO, ALERTA e EMERGÊNCIA**, para a execução do Plano.

§ 3.º - Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de DIÓXIDO DE ENXOFRE, PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO, PRODUTO ENTRE PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO E DIÓXIDO DE ENXOFRE, MONÓXIDO DE CARBONO, OZÔNIO, PARTÍCULAS INALÁVEIS, FUMAÇA, DIÓXIDO DE NITROGÊNIO, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4.º - As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de **ATENÇÃO e de ALERTA** tem por objetivo evitar o atingimento do **Nível de EMERGÊNCIA**.

§ 5.º - O **Nível de Atenção** será declarado quando, prevenido-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
 b) concentração de PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 microgramas (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
 c) produto, igual a 65 x 10³, entre a concentração de DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂) e a concentração de PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
 d) concentração de MONÓXIDO DE CARBONO (CO), média de 8 (oito) horas, de 17.000 (dezesete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);
 e) concentração de OZÔNIO, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;
 f) concentração de PARTÍCULAS INALÁVEIS, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;
 g) concentração de FUMAÇA, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;
 h) concentração de DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂), média de 1 (uma) hora, de 1.130 (um mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

1258

§ 6.º - O **Nível de Alerta** será declarado quando, prevenido-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 1.600 (um mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;
 b) concentração de PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;
 c) produto, igual a 261 x 10³, entre a concentração de DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂) e a CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
 d) concentração de MONÓXIDO DE CARBONO (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);
 e) concentração de OZÔNIO, média de 1 (uma) hora, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
 f) concentração de PARTÍCULAS INALÁVEIS, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico;
 g) concentração de FUMAÇA, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico;
 h) concentração de DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂), média de 1 (uma) hora de 2.260 (dois mil duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico.

§ 7.º - O **Nível de Emergência** será declarado quando, prevenido-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) concentração de DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;
 b) concentração de PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
 c) produto, igual a 393 x 10³, entre a concentração de DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂) e a concentração de PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
 d) concentração de MONÓXIDO DE CARBONO (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);
 e) concentração de OZÔNIO, média de 1 (uma) hora, de 1.000 (um mil) microgramas por metro cúbico;
 f) concentração de PARTÍCULAS INALÁVEIS, médias de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
 g) concentração de FUMAÇA, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
 h) concentração de DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂), média de 1 (uma) hora, de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

§ 8.º - Cabe aos Estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuar-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa.


§ 9.º - Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

§ 10 - Outros Padrões de Qualidade do Ar para poluentes, além dos aqui previstos, poderão ser estabelecidos pelo CONAMA, se isto vier a ser julgado necessário.

168

1259

Art. 7.º - Enquanto cada Estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, sub-item 2.3, da Resolução CONAMA n.º 005/89, serão adotados os padrões mínimos de qualidade do ar estabelecidos nesta Resolução.

 A Resolução CONAMA n.º 005/89 institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR

Art. 8.º - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

TÂNIA MARIA TONELLI MUNHOZ
JOSE A. LUTZENBERGER

RESOLUÇÃO CONAMA N.º 006, DE 17 DE OUTUBRO DE 1990

(Dispõe a necessidade de comunicar aos órgãos ambientais a aplicação de dispersantes químicos em vazamentos, derrames e descargas de petróleo e seus derivados).

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso I, do § 2.º, do art. 8.º do seu Regimento Interno e com base no art. 5.º do Decreto 83.540/79, e considerando que o derrame de petróleo e seus derivados constitui uma das principais fontes de poluição das águas; considerando que a exploração de campos submarinos em plataformas continentais e as operações de transporte envolvem o movimento crescente de petróleo e seus derivados; considerando que as atividades que envolvem o petróleo e seus derivados constituem risco potencial à saúde e ao meio ambiente, e considerando que a aplicação de dispersantes químicos para óleo é uma opção viável, apesar de restrições que devem ser observadas, RESOLVE:

Art. 1.º - A produção, importação, comercialização e uso de dispersantes químicos empregados nas ações de combate aos derrames de petróleo e seus derivados somente poderá ser feita após prévia avaliação e registro junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.

Art. 2.º - A aplicação de dispersantes químicos em vazamentos, derrames e descargas de petróleo e seus derivados deverá ser comunicada ao Órgão Estadual de Meio Ambiente com jurisdição sobre a área atingida e ao IBAMA, num prazo não superior a 24 horas, identificando o local e o nome do produto aplicado, e a respectiva quantidade.

Art. 3.º - Para cada aplicação de dispersante químico o responsável técnico elaborará relatório circunstanciado remetendo-o ao Órgão Estadual de Meio Ambiente envolvido e ao IBAMA, no prazo de 15 dias.

Art. 4.º - O IBAMA estabelecerá, através de Instruções Normativas, os procedimentos e exigências complementares que se façam necessárias para a aplicação da presente Resolução.

Art. 5.º - A não observância desta Resolução sujeitará os infratores às penas previstas na legislação vigente.

Art. 6.º - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

TÂNIA MARIA TONELLI MUNHOZ
JOSE A. LUTZENBERGER

RESOLUÇÃO CONAMA N.º 008, DE 06 DE DEZEMBRO DE 1990

(Estabelece, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes fixas de poluição).

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pela Lei n.º 8.928, de 12 de abril de 1990, regulamentadas pelo Decreto n.º 99.274, de 06 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regulamento Interno, e considerando o previsto na Resolução CONAMA n.º 05, de 15 de junho de 1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, considerando a necessidade do estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) em fontes fixas de poluição; considerando, que o estabelecimento deste mecanismo, em nível nacional, constitui-se no mais eficaz instrumento de controle da poluição atmosférica, em conjunto com os limites máximos de emissão de combustão externa já fixados pelo PROCONVE, considerando que, entre toda a tipologia industrial, os processos de combustão externa constituem-se no maior contingente de fontes fixas de poluentes atmosféricos, o que justifica ser a primeira atividade a ter emissões regulamentadas em nível nacional, RESOLVE:

Art. 1.º - Estabelecer, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (setenta megawatts) e superiores.

§ 1.º - A definição de limites máximos de emissão é aquela dada pela Resolução CONAMA n.º 05, de 15.06.89, que instituiu o PRONAR.

§ 2.º - Para os efeitos desta Resolução fontes novas de poluição são aquelas parte ncentes a empreendimentos cujas LP venha a ser solicitada aos órgãos licenciadores competentes após a publicação desta Resolução.

§ 3.º - Entende-se por processo de combustão externa em fontes fixas toda a queima de substâncias combustíveis realizada nos seguintes equipamentos: caldeiras; geradores de vapor; centrais para a geração de energia elétrica; fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica; incineradores e gasificadores.

Art. 2.º - Para efeitos desta Resolução, ficam definidos os seguintes limites máximos de emissão para particular totais e dióxido de enxofre (SO₂), expressos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível e densidade volumétrica, consoante a classificação de usos pretendidos definidas pelo PRONAR.

2.1) Para novas fontes fixas com potência nominal total igual ou inferior a 70 MW (setenta megawatts).

2.1.1) Áreas Classe 1

2.1.1.1) Áreas a serem atmosféricamente preservadas (Unidades de Conservação com exceção das (APA'S).

Nestas áreas fica proibida qualquer atividade econômica que gere poluição do ar.

2.1.1.2) Áreas a serem atmosféricamente conservadas (lazer, turismo, estâncias climáticas, hidrominerais e hidrotermais)

a) Partículas Totais

- 120 (cento e vinte) gramas por milhão de quilocalorias.

b) Densidade Calorimétrica

- Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente a Escala de Ringelmann n.º 01, exceto na operação de ramonagem e na partida do equipamento.

c) Dióxido de Enxofre (SO₂)

- 2.000 (dois mil) gramas por milhão de quilocalorias.

d) O limite de consumo de óleo combustível por fonte fixa, (correspondente à capacidade nominal total do(s) equipamento(s)), será de 3.000 toneladas por ano. Consumos de óleo superiores ao ora estabelecido, ou o uso de outros combustíveis estarão sujeitos à aprovação do órgão Estadual do Meio Ambiente por ocasião do licenciamento ambiental.

2.1.2) Áreas Classe II e III

a) Partículas Totais

- 350 (trezentos e cinquenta) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível).

- 1.500 (hum mil e quinhentos) gramas por milhão de quilocalorias (para carvão mineral).

b) Densidade Calorimétrica

- Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente a Escala de Ringelmann n.º 01, exceto na operação de ramonagem e na partida do equipamento.

c) Dióxido de Enxofre (SO₂)

- 5.000 (cinco mil) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível e carvão mineral).

2.2) Para novas fontes fixas com potência nominal total superior a 70 MW (setenta megawatts).

2.2.1) Áreas Classe I

Nestas áreas não será permitida a instalação de novas fontes fixas com este porte.

2.2.2) Áreas Classe II e III

a) Partículas Totais

- 120 (cento e vinte) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível).

- 800 (oitocentos) gramas por milhão de quilocalorias (para carvão mineral).

b) Densidade Calorimétrica

- Máximo de 2% (vinte por cento), equivalente a Escala de Ringelmann n.º 01, exceto na operação de ramonagem ou na partida do equipamento.

c) Dióxido de Enxofre (SO₂)

- 2.000 (dois mil) gramas por milhão de quilocalorias para óleo combustível e carvão mineral).

Art. 3.º - Para outros combustíveis, exceto óleo combustível e carvão mineral, caberá aos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente o estabelecimento de limites máximos de emissão para partículas totais, dióxido de enxofre e, se for o caso, outros poluentes, quando do licenciamento ambiental do empreendimento.

Art. 4.º - Cabe aos órgãos Estaduais de Meio Ambiente propor aos governos de seus respectivos estados o enquadramento de suas áreas Classe I e III, conforme já previsto na Resolução CONAMA n.º 05/89 e Resolução CONAMA n.º 05/89 e Resolução CONAMA n.º 03/90.

Art. 5.º - O atendimento aos limites máximos de emissão aqui estabelecidos, não exime o empreendedor do atendimento a eventuais exigências de controle complementares, conforme a legislação vigente.

Art. 6.º - A verificação do atendimento aos limites máximos de emissão fixado através desta Resolução, quando do fornecimento da L.O.-Licença de Operação, poderá ser realizada pelo órgão ambiental licenciador ou pela Empresa em Licenciamento, desde que com acompanhamento do referido órgão ambiental licenciador.

Art. 7.º - Os limites máximos de emissão aqui fixados são passíveis de uma 1.ª revisão dentro de dois anos, e em seguida a cada 05 (cinco) anos, quando também poderão ser, eventualmente, acrescentados outros poluentes gerados nos processos de combustão externa em fontes fixas.

Art. 8.º - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

TÂNIA MARIA TONELLI MUNHOZ
JOSÉ A. LUTZENBERGER

§ 1º - Os despejos referidos no inciso II deste artigo, deverão ser lançados à rede pública através de ligação única, cabendo à entidade responsável pelo sistema público admitir, em casos excepcionais, o recebimento dos efluentes por mais de uma ligação.

§ 2º - A incorporação de águas de refrigeração dos despejos industriais só poderá ser feita mediante autorização expressa da entidade responsável pelo sistema público de esgotos, após verificação da possibilidade técnica do recebimento daquelas águas e o estabelecimento das condições para tal, vedada a utilização de água de qualquer origem com finalidade de diluir efluentes líquidos industriais.

1) **Art. 19-D** - O lançamento de efluentes em sistemas públicos de esgotos será sempre feito por gravidade e, se houver necessidade de recalque os efluentes deverão ser lançados em caixa de quebra-pressão da qual partirão por gravidade para a rede coletora

(1) **Art. 19-E** - O lançamento de despejos industriais à rede pública de esgoto será provido de dispositivo de amostragem e/ou medição na forma estabelecida em normas editadas pela entidade responsável pelo sistema.

(1) **Art. 19-F** - Para efeito de aplicação das sanções cabíveis, as entidades responsáveis pelos sistemas públicos de esgotos comunicarão à CETESB as infrações constatadas, no tocante ao lançamento de despejos em suas respectivas redes em desconformidade com o estatuído neste Regulamento.

TÍTULO III Da Poluição do Ar

CAPÍTULO I Das Normas Para Utilização e Proteção do Ar

SEÇÃO I Das Regiões de Controle de Qualidade do Ar

Art. 20 - Para efeito de utilização e preservação do ar, o território do Estado de São Paulo fica dividido em 11 (onze) Regiões, denominadas Regiões de Controle de Qualidade do Ar - RCQA.

§ 1º - As regiões a que se refere este artigo deverão coincidir com as 11 (onze) Regiões Administrativas do Estado, estabelecidas no Decreto estadual n. 52.576, de 12 de dezembro de 1970, a saber:

- 1 - Região da Grande São Paulo - RCQA 1;
- 2 - Região do Litoral - RCQA 2;
- 3 - Região do Vale do Paraíba - RCQA 3;
- 4 - Região de Sorocaba - RCQA 4;
- 5 - Região de Campinas - RCQA 5;
- 6 - Região de Ribeirão Preto - RCQA 6;
- 7 - Região de Bauru - RCQA 7;
- 8 - Região de São José do Rio Preto - RCQA 8;
- 9 - Região de Araçatuba - RCQA 9;
- 10 - Região de Presidente Prudente - RCQA 10;
- 11 - Região de Marília - RCQA 11.

§ 2º - Para a execução de programas de controle da poluição do ar, qualquer Região de Controle de Qualidade do Ar poderá ser dividida em sub-regiões, constituídas de um, de dois ou mais Municípios, ou, ainda, de parte de um ou de partes de vários Municípios.

(1) Acrescentado pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80

Art. 21 - Considera-se ultrapassado um padrão de qualidade do ar, numa Região ou Sub-Região de Controle de Qualidade do Ar, quando a concentração aferida em qualquer das Estações Medidoras localizadas na área correspondente exceder, pelo menos, uma das concentrações máximas especificadas no artigo 29.

Art. 22 - Serão estabelecidos por decreto padrões especiais de qualidade do ar aos Municípios considerados estâncias balneárias, hidrominerais ou climáticas, inclusive exigências específicas para evitar a sua deterioração.

Art. 23 - Considera-se saturada, em termos de poluição do ar, uma Região ou Sub-Região, quando qualquer valor máximo dos padrões de qualidade do ar nelas estiver ultrapassado.

Art. 24 - Nas Regiões ou Sub-Regiões consideradas saturadas, a CETESB poderia estabelecer exigências especiais para atividades que lancem poluente.

Art. 25 - Nas Regiões ou Sub-Regiões ainda, não consideradas saturadas, será vedado ultrapassar qualquer valor máximo dos padrões de qualidade do ar.

SEÇÃO II

Das Proibições e Exigências Gerais

Art. 26 - Fica proibida a queima ao ar livre de resíduos sólidos, líquidos ou de qualquer outro material combustível, exceto mediante autorização prévia da CETESB, para:

I - treinamento de combate a incêndio;

II - evitar o desenvolvimento de espécies indesejáveis, animais ou vegetais, para proteção à agricultura e à pecuária.

Art. 27 - Fica proibida a instalação e o funcionamento de incineradores domiciliares ou prediais, de quaisquer tipos.

Art. 28 - A CETESB, nos casos em que se fizer necessário, poderá exigir:

I - a instalação e operação de equipamentos automáticos de medição com registradores, nas fontes de poluição do ar, para monitoramento das quantidades de poluentes emitidos, cabendo a esse órgão, à vista dos respectivos registros, fiscalizar seu funcionamento;

II - que os responsáveis pelas fontes de poluição comprovem a quantidade e qualidade dos poluentes atmosféricos emitidos, através de realização de amostragens em chaminé, utilizando-se de métodos aprovados pelo referido órgão;

III - que os responsáveis pelas fontes poluidoras construam plataformas e forneçam todos os requisitos necessários à realização de amostragens em chaminés.

CAPÍTULO II

Dos Padrões

SEÇÃO I

Dos Padrões de Qualidade

Art. 29 - Ficam estabelecidos para todo o território do Estado de São Paulo os seguintes Padrões de Qualidade do Ar:

I - para partículas em suspensão:

a) - 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração média geométrica anual; ou

b) - 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas, podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano.

II - para dióxido de enxofre:

a) - 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração média aritmética anual: ou

b) - 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior: concentração média de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano.

III - para monóxido de carbono:

a) -10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração da máxima média de 8 (oito) horas consecutivas, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano; ou

b) - 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior concentração da máxima média de 1 (uma) hora, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano.

IV - para oxidantes fotoquímicos: 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior concentração da máxima média de 1 (uma) hora, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano.

§ 1º - Todas as medidas devem ser corrigidas para a temperatura de 25°C (vinte e cinco graus Celsius) e pressão de 760 mm (setecentos e sessenta milímetros) de mercúrio.

§ 2º - Para a determinação de concentrações das diferentes formas de matéria, objetivando compará-las com os Padrões de Qualidade do Ar, deverão ser utilizados os métodos de análises e amostragem definidos neste regulamento ou normas dele decorrentes, bem como Estações Medidoras localizadas adequadamente, de acordo com critérios da CETESB.

§ 3º - A frequência de amostragem deverá ser efetuada no mínimo por um período de 24 (vinte e quatro horas) a cada 6 (seis) dias, para dióxido de enxofre e partículas em suspensão, e continuamente para monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos.

§ 4º - Os Padrões de Qualidade do Ar, para outras formas de matéria, serão fixados por decreto.

Art. 30 - Para os fins do parágrafo 2º do artigo anterior, ficam estabelecidos os seguintes métodos:

I - para partículas em suspensão: Método de Amostrador de Grandes Volumes, ou equivalente, conforme Anexo I deste Regulamento;

II - para dióxido de enxofre: Método de Pararosanilina ou equivalente, conforme Anexo 2 deste Regulamento;

III - para monóxido de carbono: Método de Absorção de Radiação Infravermelho não Dispersivo, ou equivalente, conforme Anexo 3 deste Regulamento;

IV - para oxidantes fotoquímicos (como Ozona): Método da Luminescência Química, ou equivalente, conforme Anexo 4 deste Regulamento.

Parágrafo Único - Consideram-se Métodos Equivalentes todos os Métodos de Amostragem de Análise que, testados pela CETESB, forneçam respostas equivalentes aos métodos de referência especificados nos Anexos deste Regulamento, no que tange às características de confiabilidade, especificidade, precisão, exatidão, sensibilidade, tempo de resposta, desvio de zero, desvio de calibração, e de outras características consideráveis ou convenientes, a critério da CETESB.

SEÇÃO II
Dos Padrões de Emissão

(1) **Art. 31** - Fica proibida a emissão de fumaça, por parte de fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior ao Padrão 1 da Escala de Ringelmann, salvo por:

- I - um único período de 15 (quinze) minutos por dia, para operação de aquecimento de fornalha;
- II - um período de 3 (três) minutos, consecutivos ou não, em qualquer fase de 1 (uma) hora

(2) **Parágrafo Único** - Em qualquer fase de 1 (uma) hora, quando da realização da operação de aquecimento de fornalha, o período referido no inciso II deste artigo já está incluído no período de 15 (quinze) minutos referido no inciso I.

(3) **Art. 32** - Nenhum veículo automotor a óleo diesel poderá circular ou operar no território do Estado de São Paulo emitindo pelo tubo de descarga fumaça com densidade calorimétrica superior ao Padrão 2 da Escala Ringelmann, ou equivalente, por mais de 5 (cinco) segundos consecutivos, exceto para partida a frio.

(4) **§ 1º** - Caberá à CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e à Polícia Militar do Estado de São Paulo sob a orientação técnica da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, fazer cumprir as disposições deste artigo, impondo aos infratores as penalidades previstas no artigo 80 deste Regulamento.

(3) **§ 2º** - Não se aplica o disposto nos artigos 83, 87, 92, 94 e 98 deste Regulamento às infrações previstas neste artigo

(5) **§ 3º** - Constatada a infração, o agente credenciado da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental ou da Polícia Militar lavrará, no ato, o Auto de Infração e imposição de penalidade de multa, contendo a identificação do veículo, o local, hora e data da infração e a penalidade aplicada.

(3) 1 - o recolhimento das multas aplicadas em decorrência deste parágrafo, deverá ser feito em qualquer agência do BANESPA S/A. - Banco do Estado de São Paulo, e na falta desta, junto à Caixa Econômica do Estado de São Paulo S/A.- CEESP, ou em estabelecimento bancário, autorizado, através de guia Modelo RD-1 - Multas de Trânsito em Código a ser definido.

(4) **§ 4º** - As multas impostas por infração das disposições deste artigo serão publicadas no "Diário Oficial" do Estado, para ciência do infrator.

(4) **§ 5º** - Não será renovada a licença de trânsito de veículo com débito de multas impostas por infração das disposições deste artigo.

(3) 1 - para controle das multas aplicadas em função do licenciamento dos veículos, será implantado um sistema integrado entre a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria da Fazenda, Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo - PRODESP e o Departamento Estadual de Trânsito - DETRAN dará as informações necessárias."

Art. 33 - Fica proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera, em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora.

(2) **Parágrafo Único** - A constatação da percepção de que trata este artigo será efetuada por técnicos credenciados da CETESB.

- (1) Padrões Homologados pela Portaria SEMA nº 2, de 19.01.77
- (2) Com redação dada pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80
- (3) Com redação dada pelo Decreto nº 29.027, de 18.10.88
- (4) Com redação dada pelo Decreto nº 28.313, de 04.04.88
- (5) Com redação dada pelo Decreto nº 28.429, de 27.05.88

(2) **Art. 33-A** - Fica proibida a emissão de poluentes pelas fontes poluidoras existentes em 9 de setembro de 1976, instaladas nos municípios da RCQA 1, em quantidades superiores aos padrões de emissão constantes do Anexo 6.

§ 1º - A CETESB poderá, a seu critério, exigir que as fontes de poluição referidas no "caput" deste artigo controlem suas emissões, utilizando a melhor tecnologia prática disponível ou se transfiram para outro local, quando situada em desconformidade com as normas municipais de zoneamento urbano ou com o uso do solo circunvizinho.

§ 2º - Os padrões de emissão constantes do Anexo 6 vigorarão pelo período mínimo de 10 (dez) anos, para as fontes de poluição que adotarem as medidas de controle necessárias para atendê-los.

(1) **Art. 33-B** - As fontes de poluição instaladas no Município de Cubatão e existentes em 9 de setembro de 1976, deverão observar os "Padrões de Emissão" constantes do Anexo 8, ficando proibida emissão de poluentes em quantidades superiores.

§ 1º - A CETESB poderá exigir que as fontes de poluição referidas neste artigo controlem suas emissões, utilizando a melhor tecnologia prática disponível, ou que se transfiram para outro local, quando situadas em desconformidade com as normas de zoneamento urbano ou sejam incompatíveis com o uso do solo circunvizinho.

§ 2º - Os sistemas de controle da poluição do ar deverão estar providos de instrumentos que permitam a avaliação de sua eficiência instalados em locais de fácil acesso para fins de fiscalização.

§ 3º - Caberá às fontes de poluição demonstrar a CETESB que suas emissões se encontram dentro dos limites constantes do Anexo 8.

Art. 2º - As fontes de poluição, a que se refere este Decreto deverão submeter à apreciação da CETESB, no prazo de 120 (cento e vinte) dias a contar da publicação, seus projetos de sistemas de controle dos poluentes e de equipamentos que possibilitem a aferição de sua eficiência operacional, acompanhados do respectivo cronogramas de implantação.

§ 1º - Os padrões de emissão constantes do anexo 8, vigorarão pelo período mínimo de 10 (dez) anos, contados da vigência deste Decreto, para as fontes de poluição que adotarem todas as medidas necessárias para atendê-lo

Art. 3º - O Anexo 8, referido neste Decreto, passa a integrar o Regulamento aprovado pelo Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976.

SEÇÃO III

Dos Padrões de Condicionamento e Projeto para Fontes Estacionárias

Art. 34 - O lançamento de efluentes provenientes da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos deverá ser realizado através de chaminé.

Art. 35 - Toda fonte de poluição do ar deverá ser provida de sistema de ventilação local exaustora e o lançamento de efluentes na atmosfera somente poderá ser realizado através de chaminé, salvo quando especificado diversamente neste Regulamento ou em normas dele decorrentes.

(1) Acrescentado pelo Decreto 18.386, de 22.01.82, retificado em 01.04.82 e que dispõe em seus artigos 2º e 3º:

(2) Com redação dada pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80

Parágrafo Único - As operações, processos ou funcionamento dos equipamentos de britagem, moagem, transporte, manipulação, carga e descarga de material fragmentado ou particulado, poderão ser dispensados das exigências referidas neste artigo, desde que realizados a úmido, mediante processo de umidificação permanente.

Art. 36 - O armazenamento de material fragmentado ou particulado deverá ser feito em silos adequadamente vedados, ou em outro sistema de controle de poluição do ar de eficiência igual ou superior, de molde a impedir o arraste, pela ação dos ventos, do respectivo material.

Art. 37 - Em áreas cujo uso preponderante for residencial ou comercial, ficará a critério da CETESB especificar o tipo de combustível a ser utilizado por novos equipamentos ou dispositivos de combustão.

Parágrafo Único - Incluem-se nas disposições deste artigo os fornos de panificação e de restaurantes e caldeiras para qualquer finalidade.

Art. 38 - As substâncias odoríferas resultantes das fontes a seguir enumeradas deverão ser incineradas em pós-queimadores, operando a uma temperatura mínima de 750°C (setecentos e cinquenta graus Celsius), em tempo de residência mínima de 0,5 (cinco décimos) segundos, ou por outro sistema de controle de poluentes, de eficiência igual ou superior:

- I - torrefação e resfriamento de café, amendoim, castanha de caju e cevada;
- II - autoclaves e digestores utilizados em aproveitamento de matéria animal;
- III - estufas de secagem ou cura para peças pintadas, envernizadas ou litografadas;
- IV - oxidação de asfalto;
- V - defumação de carnes ou similares;
- VI - fontes de sulfeto de hidrogênio e mercaptanas;
- VII - regeneração de borracha.

§ 1º - Quando as fontes enumeradas nos incisos deste artigo se localizarem em áreas cujo uso preponderante for residencial ou comercial, o pós-queimador deverá utilizar gás como combustível auxiliar. Em outras áreas, ficará a critério da CETESB a definição do combustível.

§ 2º - Para efeito de fiscalização, o pós-queimador deverá estar provido de indicador de temperatura na câmara de combustão, em local de fácil visualização.

Art. 39 - As emissões provenientes de incineradores de resíduos sépticos e cirúrgicos hospitalares deverão ser oxidadas em pós-queimador que utilize combustível gasoso, operando a uma temperatura mínima de 850°C (oitocentos e cinquenta graus Celsius) e em tempo de residência mínima de 0,8 (oito décimos) segundos, ou por outro sistema de controle de poluentes de eficiência igual ou superior.

Parágrafo único - Para fins de fiscalização, o pós-queimador a que se refere este artigo deverá conter marcador de temperatura na câmara de combustão, em local de fácil visualização.

Art. 40 - As operações de cobertura de superfícies realizadas por aspersão, tais como pintura ou aplicação de verniz a revólver, deverão realizar-se em compartimento próprio provido de sistema de ventilação local exaustora e de equipamento eficiente para a retenção de material particulado.

Art. 41 - As fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

Parágrafo único - A adoção da tecnologia preconizada neste artigo, será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão.

Art. 42 - Fontes novas de poluição do ar, que pretendam instalar-se ou funcionar, quanto a localização, serão:

I - obrigadas a comprovar que as emissões provenientes da instalação ou funcionamento não acarretarão, para a Região ou Sub-Região tida como saturada, aumento nos níveis dos poluentes que as caracterizem como tal;

II - proibidas de instalar-se ou de funcionar quando, a critério da CETESB, houver o risco potencial a que alude o inciso V do artigo 3º deste Regulamento, ainda que as emissões provenientes de seu processamento estejam enquadradas nos incisos I, II, III e IV do mesmo artigo.

§ 1º - Para configuração do risco mencionado no inciso II, levar-se-á em conta a natureza da fonte, bem como das construções, edificações ou propriedades, passíveis de sofrer os efeitos previstos no inciso V do artigo 39.

§ 2º - Ficará a cargo do proprietário da nova fonte comprovar, sempre que a CETESB o exigir, o cumprimento do requisito previsto no inciso I.

CAPÍTULO III

Do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar

(1) **Art. 43** - Fica instituído o Plano de Emergência para episódios críticos de poluição do ar, visando coordenar o conjunto de medidas preventivas a cargo do Governo do Estado, dos Municípios das entidades privadas e da comunidade que objetivam evitar graves e iminentes riscos à saúde da população.

§ 1º - Considera-se episódio crítico de poluição do ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à sua dispersão.

§ 2º - O Plano de Emergência será executado pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, em articulação com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil - CEDEC

(2) **Art. 44** - Para execução do Plano de Emergência de que trata este Capítulo ficam estabelecidos os níveis de Atenção, de Alerta e de Emergência.

(1) § 1º - Para a ocorrência de qualquer dos níveis enumerados neste artigo serão consideradas as concentrações de dióxido de enxofre material particulado, concentração de monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos, bem como as previsões meteorológicas e os fatos e fatores intervenientes, previstos e esperados.

(1) § 2º - As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos níveis de Atenção e de Alerta tem por objetivo evitar o atingimento do Nível de emergência.

(1) **Art. 45** - Para efeito de execução de ações previstas neste plano, as áreas sujeitas a Episódios Críticos de Poluição do Ar poderão ser divididas em Zonas de Interesse de Controle - ZIC, classificadas em função do poluente cuja concentração é capaz de, nelas, originar episódios críticos de poluição.

Parágrafo único - As Zonas de Interesse de Controle serão estabelecidas pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, a partir da análise das variáveis ambientais e urbanísticas sendo periodicamente revistas para ajuste de seus perímetros.

(1) **Art. 46** - Será declarado o Nível de Atenção quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

(1) Com redação dada pelo Decreto nº 28.313, de 04.04.88 - retificado em 21.04.88
(2) Com redação dada pelo Decreto nº 28.429, de 27.05.88

I - concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;

II - concentração de material particulado, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

III - produto, igual a 65×10^3 , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de material particulado ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

IV - concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 17.000 (dezessete mil) microgramas por metro cúbico;

V - concentração de oxidantes fotoquímicos, média de 1 (uma) hora, expressa em ozona, de 200 (duzentos) microgramas por metro cúbico.

(1) **Art. 47** - Será declarado o Nível de Alerta quando, prevendo-se manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

I - concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 1.600 (mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;

II - Concentração de material particulado, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico,

III - produto, igual a 261×10^3 , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de material particulado - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

IV - concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico;

V - concentração de oxidantes fotoquímicos, média de 1 (uma) hora, expressa em ozona, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico.

(1) **Art. 48** - Será declarado o Nível de Emergência quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

I - concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;

II - concentração de material particulado média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

III - produto, igual a 393×10^3 , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de material particulado - ambas as microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

IV - concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico;

V - concentração de oxidantes fotoquímicos, média de 1 (uma) hora, expressa em ozona, de 1.200 (mil e duzentos) microgramas por metro cúbico.

(1) Com redação dada pelo Decreto nº 28.313, de 04.04.88 - retificado em 21.04.88

(1) **Art. 49** - Caberá ao Secretário de Estado do Meio Ambiente declarar os Níveis de Atenção e de Alerta, e ao Governador o de Emergência, podendo a declaração efetuar-se por qualquer dos meios de comunicação de massa.

(1) **Art. 50** - Nos períodos previsíveis de estagnação atmosférica, as fontes de poluição do ar, dentro das áreas sujeitas a Episódios Críticos de Poluição, ficarão sujeitas às seguintes restrições:

I - a circulação ou estacionamento de veículos automotores poderá ser restringida ao nível e pelo tempo necessários à prevenção do atingimento do Nível de Emergência ou do agravamento da deterioração da qualidade do ar;

II - a emissão de poluentes por fontes estacionárias ficará sujeita a restrições de horário, podendo ser exigida sua redução ao nível e pelo tempo necessários à prevenção do atingimento do Nível de Emergência.

(1) **Art. 50-A** - Durante os episódios críticos, as fontes de poluição do ar estarão sujeitas às seguintes restrições:

I - quando declarado Nível de Atenção devido a monóxido de carbono e/ou oxidantes fotoquímicos, será solicitada a restrição voluntária do uso de veículos automotores particulares;

II - quando declarado Nível de Atenção, devido a material particulado e/ou dióxido de enxofre:

a) a limpeza de caldeiras por sopragem somente poderá realizar-se das 12:00 (doze) às 16:00 (dezesseis) horas;

b) os incineradores somente poderão ser utilizados das 12:00 (doze) às 16:00 (dezesseis) horas;

c) deverão ser adiados o início de novas operações e processamentos industriais e o reinício dos paralisados para manutenção ou por qualquer outro motivo;

d) deverão ser eliminadas imediatamente as emissões de fumaça preta por fontes estacionárias, fora dos padrões legais, bem como a queima de qualquer material ao ar livre

III - quando declarado Nível de Alerta, devido a monóxido de carbono e/ou oxidantes fotoquímicos, ficará restringido o acesso de veículos automotores à zona atingida, no período das 6:00 (seis) às 21:00 (vinte e uma) horas;

IV - quando declarado Nível de Alerta, devido a dióxido de enxofre e/ou partículas em suspensão:

a) ficam proibidas de funcionar as fontes estacionárias de poluição do ar estiverem em desacordo com o presente Regulamento mesmo dentro do prazo para enquadramento;

b) ficam proibidas a limpeza de caldeiras por sopragem e o uso de incineradores;

c) devem ser imediatamente extintas as queimas de qualquer tipo, ao ar livre;

d) devem ser imediatamente paralisadas as emissões, por fontes estacionárias, de fumaça preta fora dos padrões legais;

e) fica proibida a entrada ou circulação, em área urbana, de veículos a óleo diesel emitindo fumaça preta fora dos padrões legais.

V - quando declarado Nível de Emergência, devido a monóxido de carbono e/ou oxidantes fotoquímicos, fica proibida a circulação e estacionamento de veículos automotores na zona atingida;

(1) Acrescentado pelo Decreto nº 28.313, de 04.04.88

VI - quando declarado Nível de Emergência, devido ao dióxido de enxofre e/ou material particulado:

- a) fica proibido o processamento industrial, que emita poluentes;
- b) fica proibida a queima de combustíveis líquidos e sólidos em fontes estacionárias;
- c) fica proibida a circulação de veículos a óleo diesel.

Parágrafo único - Em casos de necessidade, a critério da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, poderão ser feitas exigências complementares.

(1) **Art. 50-B** - Caberá à CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e também a Polícia Militar, sob a orientação técnica da CETESB, o cumprimento deste artigo, obedecido o disposto nos parágrafos do artigo 32 deste Regulamento.»

TÍTULO IV **Da Poluição do Solo**

Art. 51 - Não é permitido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar Ou acumular no solo resíduos, em qualquer estado da matéria, desde que poluentes, na forma estabelecida no artigo 3º deste Regulamento.

Art. 52 - O solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular.

Parágrafo único - Quando a disposição final, mencionada neste artigo, exigir a execução de aterros sanitários, deverão ser tomadas medidas adequadas para proteção das águas superficiais e subterrâneas, obedecendo-se normas a serem expedidas pela CETESB.

Art. 53 - Os resíduos de qualquer natureza, portadores de patogênicos, ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, a critério da CETESB, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou condicionamento, adequados, fixados em projetos específicos, que atendam aos requisitos de proteção de meio ambiente.

Art. 54 - Ficam sujeitos à aprovação da CETESB os projetos mencionados nos artigos 52 e 53, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção.

Art. 55 - Somente será tolerada a acumulação temporária de resíduos de qualquer natureza, na fonte de poluição ou em outros locais, desde que não ofereça risco de poluição ambiental.

Art. 56 - O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza, de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria fonte de poluição.

§ 1º - A execução, pelo Município, dos serviços mencionados neste artigo, não eximirá a responsabilidade da fonte de poluição, quanto a eventual transgressão de normas deste Regulamento, específicas dessa atividade.

§ 2º - O disposto neste artigo aplica-se também aos lodos, digeridos ou não, de sistemas de tratamento de resíduos e de outros materiais.

(1) Acrescentado pelo Decreto nº 28.313, de 04.04.88 e dada nova redação pelo Decreto nº 28.429, de 27.05.88.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Advanced radiation chemistry research: current status**. Vienna ,Oct. 1995. (IAEA-TECDOC-834).
- [2]. CAMPOS, C.A.; PEREZ , H .E. B.; POLI ,D .C .R. Dosimetric studies for gas flow irradiation by electron-beam.In: INTERNATIONAL MEETING ON RADIATION PROCESSING,9., Sept. 11-16, 1994, Istanbul. **Proceedings** ...[S.l. : s. n., s.d.].
- [3]. CAMPOS,C.A.;PEREZ,H.E.B.;VIEIRA,J.M.;POLI,D.C.R.;SOMESSARI,S.L.; BRUZINGA,W.A.; ALBANO,G.D.C. Desenvolvimento de um sistema calorimétrico para dosimetria de gases em fluxo contínuo, irradiados com feixe de elétrons. In : CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR(CGEN) , 5., ago. 29- set.2, 1994, Rio de Janeiro. **Anais ...**, Rio de Janeiro: ABEN, 1994. v.2. p. 659 - 661.
- [4]. ELETROBRÁS - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A.. **PLAN 2015:National Electric Energy Plan, 1993 - 2015.**, Executive Report Summary. Rio de Janeiro: Apr. 1994. v.1.
- [5]. CHMIELEWSKI, A. G. **Electron Beam Gaseous Pollutants Treatment**. Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology,1999. (Raporty IchTJ. SERIA B nr 1/99).
- [6]. CHMIELEWSKI,A. G. Industrial demonstration plant for electron beam flue gas treatment. **Radiat. Phys. Chem.**, v.46. n. 4/6. p. 1063-1066, 1995.
- [7]. CHMIELEWSKI ,A. G.; ILLER, E.; ROMANOWSKI ,M. **Pilot plant for electron beam SO₂ and NO_x removal**.Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 1991. (Report INCT-2125/VI)
- [8]. CHMIELEWSKI, A. G.; ILLER, E.; ZIMEK, Z.; LICKI, J. Pilot plant for electron beam flue gas treatment. **Radiat Phys. Chem.**,v.40,n.4,p. 321-325,1992.
- [9]. FRANK, N. W. Introduction and historical review of electron beam processing for environmental pollution control. **Radiat Phys. Chem.**, v.45, n.6, p. 989-1002, 1995.

- [10]. HASHIMOTO ,S.; NAMBA, H.; TOKUNAGA ,O. Factors affecting removal of NO_x and SO_2 . In: **Electron beam flue gas treatment-research cooperation among JAERI, IAEA and INCT**. Tokyo: Japan Atomic Energy Research Inst., 1996, p.7-16. (JAERI - Research 96-053).
- [11]. LI GENLI . The experimental facility and results of removal of SO_2 and NO_x in flue gases by the electron beam process at SINR , Academia Sinica. **Radiat. Phys. Chem.** ,v. 40, n. 4, p.295 ,1992.
- [12]. PAUR,H. R.; JORDAN, S. Aerosol formation in the electron beam dry scrubbing process. **Radiat. Phys. Chem.**, v.31, n.1/3, p.9-13,1988.
- [13]. POLI, D.C.R.; LIMA, W.; CALVO, W.A.P.; ALY, O.F.; ANSON, J.M.A.; NETTO, N.F.A.; FRANK, N.W. Pre-feasibility study for an electron beam flue gas treatment demonstration plant to Eletropaulo's Piratininga Power Plant. In :INTERNATIONAL PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON RADIATION TECHNOLOGY FOR CONSERVATION OF THE ENVIRONMENT, Sept. 8-12,1997,Zakopane.**Proceedings...** [S. l.: s.n.],1997.
- [14]. POLI, D.C.R.; OSSO Jr., J.A.; RIVELLI, V.; VIEIRA, J.M. Present state of EB removal of SO_2 and NO_x from combustion flue gases in Brazil. **Radiat. Phys. Chem.**, v.46, n. 4/6, p.1133-1136, 1995.
- [15]. POLI, D.C.R.; RIVELLI, V.; LAROCA, M.E.M. Estudo sobre o tratamento de gases tóxicos SO_2 e NO_x provenientes de combustão de óleo ou carvão por aceleradores de elétrons. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA ,6.,E SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 1., out. 18-22, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**[S. l. :s. n.],1993. v.3. p.965-970.
- [16]. POLI, D.C.R.; VIEIRA, J.M.; CAMPOS, C.A. **Tratamento de gases tóxicos SO_2 e NO_x por irradiação com feixe de elétrons**. São Paulo: 1993. (IPEN -Pub -381).
- [17]. POLI, D.C.R.; VIEIRA, J.M.; CAMPOS, C.A.; RELA, P.R.; RIVELLI, V.; ALBUQUERQUE, A.M. Treatment of coal-fired flue gas by electron beam irradiation. Short Communication. In: REGIONAL SEMINARY ON RADIATION AND ISOTOPE APPLICATIONS TO THE ENVIRONMENT, Aug.9-13,1993,Santiago.**Proceedings...**Santiago: [s.n.],1993,p.13-14 (INIS-CL-006).
- [18]. POLI, D.C.R.; VIEIRA, J.M.; CAMPOS, C.A.; RIVELLI, V. Estudo sobre o tratamento de gases tóxicos SO_2 e NO_x provenientes de combustão de óleo ou carvão por aceleradores de elétrons. In:ENCONTRO NACIONAL DE APLICAÇÕES NUCLEARES,2,out. 25-29, 1993, Caxambu. **Anais...**Rio de Janeiro: ABEN,1993.p.163-164.
- [19]. POLI, D.C.R.; ZIMEK, Z.A.; VIEIRA, J.M.; RIVELLI, V. Electron beam removal of SO_2 and NO_x from combustion flue gases in Brazil - National and International Cooperation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REGIONAL INTEGRATION IN NUCLEAR ENERGY - LAS/ANS, July 2-6,1995 ,Rio de Janeiro. **Proceedings ...** Rio de Janeiro:[s.n.], 1995.

- [20]. POLI, D.C.R.; ZIMEK, Z.A.; VIEIRA, J.M.; RIVELLI, V. Technical and economical feasibility study of the electron beam process for SO₂ and NO_x removal from combustion flue gases in Brazil. In: SMIRT - POST CONFERENCE SEMINAR ON APPLICATIONS OF INTELLIGENT SOFTWARE SYSTEMS IN POWER PLANT, PROCESS PLANT AND STRUCTURAL ENGINEERING, 13, Aug. 21-23, 1995, São Paulo. **Proceedings ...**, [S.l:s.n.], 1997. p.229-244. (C.C.R. EUR 17669 EN, 1997).
- [21]. BRASIL. Secretaria do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Resolução N^o.008 de 6 de dezembro de 1990. Estabelece, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes fixas de poluição. In: VENTURA, V.J., RAMBELLI, A.M., **Legislação Federal sobre o Meio Ambiente**. São Paulo: Vana, 1999. p. 1262-1263.
- [22]. ZIMEK Z., CHMIELEWSKI A. G. Present tendencies in construction of industrial electron accelerators applied in radiation processing. **Nukleonika**, v.38, n. 2, p. 3-20, 1993.
- [23]. JAPAN CONSULTING INSTITUTE . **Feasibility study Report on installation project of air pollution control plant at Piratininga Thermal Power Plant in Federative Republic of Brazil**. Tokyo: Nov. 1997.
- [24]. EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA. **Estudo de viabilidade do projeto de tratamento de gases da Usina Termoelétrica Piratininga**. São Paulo: EMAE, maio 1998. (Relatório Interno).
- [25]. SOUTO MAIOR, G. Imposto ambiental: taxaço, um instrumento econômico de gestão ambiental. **R. Baiana Tecnol.: Tecbahia**, v. 15, n.1, p.68 -76, 2000.
- [26]. FREITAS, C. U. **Explorando modelos e Indicadores para o estabelecimento de vigilância dos efeitos na saúde decorrentes da poluição atmosférica na cidade de São Paulo**. São Paulo: 2000. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, USP. p.40.
- [27]. WALTHER, R. Studies of the acute effects of London smog, and their relevance to present day conditions. In: **HEALTH effects of air pollution and the Japanese Compensation Law** [S.I.]: Battelle Press, 1984. p.47.
- [28]. GUIMARÃES, C.A. **Um estudo comparativo dos riscos à saúde pública e dos impactos ambientais na geração de eletricidade pelo uso da energia nuclear, hidroelétrica e termoelétrica a carvão mineral**. São Paulo: 1982. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. p.123.

- [29]. RIBEIRO, H. ***Air pollution and respiratory disease in São Paulo, Brazil(1986-1998) : a contribution of medical geography.***São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. 1998. p.4.
- [30]. BRASIL.Constituição (1988). ***Constituição [da] República Federativa do Brasil.***Brasília,DF: Senado Federal,1988.
- [31]. SÃO PAULO(Estado).Constituição Estadual(1992).In: ***Legislação estadual-control de poluição ambiental atualizado até dezembro de 1998.***São Paulo: Cetesb,1999.
- [32]. COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. ***Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 1999.*** São Paulo: Cetesb,2000.
- [33]. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. ***Anuário estatístico do setor de fertilizantes 1999.*** São Paulo : Anda,2000.