

SUMÁRIO

Parte I

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Página

Capítulo 1

Introdução e objetivos

1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	4

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

2.1. Introdução	7
2.2. Aspectos históricos	7
2.2.1. Eventos de graves conseqüências de poluição do ar	8
2.3. Poluente atmosférico - Definição e classificação	13
2.4. Efeitos da poluição do ar	14
2.5. Dioxinas e Furanos – a nova exigência do CONAMA 316	15
2.6. Dispersão dos poluentes na atmosfera	16
2.7. Aspectos gerais da incineração	17
2.7.1. Definições	17
2.7.2. Tipos de incineradores	18
2.8. Alguns parâmetros importantes para a boa qualidade da combustão	20
2.8.1. Tempo de residência	20
2.8.2. Dimensões da câmara	20
2.8.3. Turbulência	20
2.9. Excesso de ar	22
2.9.1. Excesso de ar em trabalhos com combustíveis ultraviscosos	23

2.9.2. Coeficiente de ar primário	24
2.9.3. Coeficiente de ar total	24
2.9.4. Modelos de oxigênio limitante, reação limitante e extinção da chama	24
2.9.5. Tamanho de partícula e PCI do resíduo	25
2.10. Intervalo de tempo de alimentação	26
2.11. Mecanismos da combustão	26
2.11.1. Modelo físico de combustão de uma gota	26
2.11.2. Combustão em leito fluidizado	32
2.12. Monitoramento do processo	33
2.13. Detecção de falha no processo	33
2.14. Otimizando as condições operacionais dos processos	34
2.14.1. Minimização do tempo de residência dos gases do processo de incineração na zona de alta taxa de formação de dioxinas e furanos	34
2.14.2. Resposta de compensação inversa para controle ótimo operacional em plantas de incineradores municipais	35
2.14.3. Efeito da temperatura de incineração	37
2.14.4. Uso de O ₂ puro para enriquecimento do ar de combustão de resíduo	37
2.14.5. Combustão pulsante para redução das emissões de CO	41
2.14.6. Efeitos das variáveis de processo no comportamento de chamas de líquidos	42
2.14.6.1. Características do combustível	42
2.14.6.2. Influência da qualidade do processo de nebulização	42
2.14.6.3. Influência da rotação do fluxo de ar	43
2.14.6.4. Influência da temperatura da câmara de combustão	44
2.14.6.5. Influência da temperatura do ar de combustão	44
2.14.6.6. Melhorias em queima de óleos combustíveis	45
2.14.6.6.1. Temperatura do combustível à entrada do queimador	45
2.14.6.6.2. Pressão de injeção e relação mássica fluído de nebulização/combustível	45
2.14.6.6.3. Índice de rotação do queimador	45
2.14.6.6.4. Temperatura do ar de combustão	46
2.14.6.6.5. Recirculação externa dos gases de combustão	46
2.15. Alguns cuidados ao se trabalhar com processos multivariáveis	47
2.15.1. Efeito de memória	47
2.15.2. Parâmetros médios	48

2.15.3. Mudança de escala	48
2.15.4. Utilizando resultados experimentais de outros trabalhos	49
2.16. Formação e destruição de CO	49
2.17. Minimização da emissão de NO _x na indústria	50
2.18. Equipamentos de controle de poluição do ar	50

Capítulo 3

Experimental

3.1 A unidade de incineração de resíduos perigosos da Clariant (UIR)	52
3.1.1. Descrição geral	52
3.1.2. Descrição do fluxograma de processo	56
3.1.2.1. Forno rotativo (FR)	56
3.1.2.2. Sistema de enriquecimento do ar comburente dos resíduos do FR com O ₂ puro	59
3.1.2.3. Sistema de pulverização de líquidos	59
3.1.2.4. Sistema de degasagem de processo de aminas	61
3.1.2.5. Câmara de pós combustão (CPC) e removedor de escórias	62
3.1.2.5.1. Câmara de pós combustão (CPC)	62
3.1.2.5.2. Removedor de escórias	63
3.1.2.6. Pré resfriador de gases	64
3.1.2.7. Ciclones	65
3.1.2.8. Pós resfriador de gases	67
3.1.2.9. Lavador de gases ácidos tipo Venturi	67
3.1.2.10. Válvula de controle de vazão	71
3.1.2.11. Exaustor dos gases de combustão	71
3.1.2.12. Lavador de recheio	72
3.1.2.13. Lavador alcalino tipo Venturi	72
3.1.2.14. Aglomerador de partículas	76
3.1.2.15. Removedor de névoas	78
3.1.2.16. Chaminé	79
3.1.3. Equipamentos de medição	80
3.2. Testes experimentais	81
3.2.1. Descrição da família de testes	86
3.2.1.1. Testes de tempo de alimentação - família de testes TTA	86

3.2.1.2. Testes de líquido pulverizado – família de testes TPL	87
3.2.1.3. Testes de excesso de ar - família de testes TO2	89
3.3. Os parâmetros estudados neste trabalho – procedimento experimental	90
3.4. Preparação do experimento	91
3.4.1 A elaboração do plano de queima	91
3.4.2. O cronograma diário de testes	92
3.4.3. Medição de material particulado	92

Capítulo 4

Resultados e Discussão

Resultados e discussão	94
4.1. Testes de tempo de alimentação – TTA	95
4.1.1. Resultados experimentais	95
4.1.2. Discussão dos resultados experimentais	97
4.2. Testes de modo de introdução de resíduo líquido	105
4.2.1. Resultados experimentais	106
4.2.2. Discussão dos resultados experimentais	107
4.3. Testes de excesso de oxigênio nos gases de combustão – família de testes TO2	110
4.3.1. Resultados experimentais	110
4.3.2. Discussão dos resultados experimentais	112
4.4. Comparação entre as famílias em relação ao potencial de redução da emissão de material particulado	116

Capítulo 5

Conclusões, recomendações e sugestões para os próximos trabalhos

5.1. Conclusões	118
5.2. Recomendações	118
5.3. Sugestões para os próximos trabalhos	119

Parte II

Apêndices

Apêndice A

Ozônio: um exemplo atual de poluente secundário 121

Apêndice B

Efeitos dos poluentes atmosféricos relacionados principalmente à saúde 127

B.1 Efeitos devido ao material particulado (MP) 127

B.2. Efeitos à saúde pelo monóxido de carbono 128

B.3. Efeitos à saúde por hidrocarbonetos e outros compostos orgânicos 130

B.4. Efeitos à saúde pelo dióxido de nitrogênio (NO₂) 130

B.5. Efeitos à saúde pelo dióxido de enxofre (SO₂) 131

B.6. Efeitos à saúde pelo ozônio (O₃) e outros oxidantes fotoquímicos 132

B.7. Efeitos à saúde devido a outros poluentes 132

Apêndice C

Dioxinas – isômeros, congêneres, toxicidade, formação 134

C.1. Isômeros, congêneres, toxicidade 134

C.2. Combustão e formação de dioxinas e furanos 138

C.2.1. Combustão de líquidos 138

C.2.2. Combustão de sólidos 138

Apêndice D

Tipos de incineradores 142

D.1. Incinerador com forno rotativo 142

D.2. Incinerador de câmaras fixas múltiplas 144

D.3. Incinerador de leito fluidizado 145

D.4. Incinerador de injeção líquida 147

D.5. Incineradores de plasma e outros 148

D.5.1. Incineradores de plasma 148

D.5.2. Microondas no tratamento de lixo hospitalar	152
Apêndice E	
Alguns outros conceitos interessantes	155
E.1. Temperatura adiabática da chama	155
E.2. Velocidade de chama	155
E.3. Estabilização de chamas	156
E.4. A zona luminosa	157
E.5. Teoria de Mallard e Lê Chatelier para a velocidade de chama	157
Apêndice F	
Fuligem e coque	160
F.1. Fuligem	160
F.2. Coque	163
Apêndice G	
Bicos de pulverização	165
G.1. Bicos de pulverização	165
Apêndice H	
Tratamentos de NO _x	170
H.1. Minimização de NO _x na fonte	170
H.2. Tratamentos de NO _x nas emissões gasosas	172
Apêndice I	
Os equipamentos de controle para poluição do ar	174
I.1. Precipitadores eletrostáticos	174
I.2. Filtros manga	175
I.3. Separadores inerciais	177
I.4. Lavadores úmidos	179

I.4.1. Sistema de absorção (colunas de prato e recheio)	180
I.4.2. Lavadores tipo Venturi	181
I.5. Adsorvedores	182
I.6. Condensadores	183
I.7. Removedores de névoas	184
I.8. Pré-resfriadores de gases	184
I.9. Filsorção	185
I.11. Lavadores a seco	185
I.12. Catalisadores	186

Apêndice J

Medidores	189
J.1. Medidores de temperatura	189
J.1.1. Termopares	189
J.1.2. PT 100	190
J.2. Medidor de pressão	191
J.3. Medidores de vazão	191
J.3.1. Medidores Annubar	191
J.3.2. Medidor de vazão por efeito de Coriolis	192
J.3.3. Medidor de vazão por vórtices	194
J.3.4. Medidor de vazão por placa de orifício	195
J.3.5. Medidor de vazão de fluxo magnético	197
J.3.6. Medidor de Venturi	197
J.4. Medidores de pH	198
J.5. Medidor de porcentagem volumétrica de O ₂	199
J.6. Medidor de concentração de CO	200

Apêndice K

Dados experimentais complementares- família de testes TTA	201
TTA1	202
TTA1*	206
TTA2	210
TTA3	215

TTA4	219
Apêndice L	
Dados experimentais complementares- família de testes TLP	223
TLNPBco	224
TLNP1	227
TLNP2	231
TLPBco	234
TLP1	237
TLP2	240
Apêndice M	
Dados experimentais complementares- família de testes TO2	243
	244
TO2BcoABC	246
TO2A	248
TO2B	250
TO2C	252
TO2BcoDE	254
TO2D	256
TO2E	258
Apêndice N	
Equivalências entre % de O ₂ na saída dos gases de combustão e excesso de ar no ar de alimentação, com diferentes % de enriquecimento de O ₂ no ar de alimentação para diversos hidrocarbonetos	259
	262
Tabela N.1 – 21% de O ₂ no ar de entrada para o resíduo	269
Tabela N.2 – 25% de O ₂ no ar de entrada para o resíduo	276
Tabela N.3 – 30% de O ₂ no ar de entrada para o resíduo	283
Tabela N.4 – 35% de O ₂ no ar de entrada para o resíduo	290
Tabela N.5 – 40% de O ₂ no ar de entrada para o resíduo	298