



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

**CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES GASOSAS DA CENTRAL DE
VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA LIPOR**

Análise da Eficiência do Sistema de Tratamento de Gases

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre
em Engenharia do Ambiente

Autora:

Liliana Rosa Baltazar Cardoso

Orientadora:

Professora M^a da Conceição Alvim-Ferraz

Departamento de Engenharia Química

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Orientador pela empresa:

Dr. Abílio Almeida

LIPOR

Porto, Julho 2010

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professora M^a da Conceição Alvim-Ferraz e Dr. Abílio Almeida, por toda a ajuda e atenção que me deram.

Ao Engenheiro José Paulo Ferreira da Silva por dispensar algum do seu tempo a rever o meu trabalho.

À Helena, Tiago, Mariana, Diogo e Ana.

Resumo

Este trabalho analisa as emissões gasosas da Central de Valorização Energética da LIPOR desde 2000 (ano em que a referida instalação entrou em funcionamento) até 2009, fazendo a comparação com os limites legais impostos. Esta análise permite uma visão mais global do funcionamento da Central. Os dados utilizados foram obtidos a partir dos relatórios mensais elaborados pela LIPOR. Também é avaliada a eficiência do sistema tratamento de gases, que é constituído por um reactor e um filtro de mangas, em cada linha de tratamento de resíduos. Este sistema possibilita o controlo dos poluentes no fluxo gasoso, antes de este ser emitido para a atmosfera, permitindo, assim o cumprimento dos valores - limite de emissão impostos por lei. Foram ainda estimados factores de emissão com base na massa de cada poluente emitida por ano e a respectiva massa de resíduos queimados, sendo comparados com factores de emissão publicados.

Palavras-chave:

Central de Valorização Energética da LIPOR, poluentes, monitorização, valores - limite de emissão.

Abstract

This work analyzes the gaseous emissions from the LIPOR's Energy Recovery Central since 2000 (the year that the plant went into operation) until 2009, making the comparison with legal limits. This analysis allows a more global view of the Central's operation. Data was obtained through monthly reports prepared by LIPOR. The efficiency of the gas treatment, which consists of one reactor and a fabric filter in each line of waste treatment, was also evaluated. This system enables the control of pollutants in the gas stream, before it is emitted into the atmosphere, thus enabling compliance with the emission limit values imposed by law. Emission factors, based on the mass of each pollutant emitted per year and its mass of burned waste, were also estimated and compared with published emission factors.

Key-words: LIPOR's Energy Recovery Central, pollutants, monitoring, emission limit values.

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
SIGLAS	XV
SÍMBOLOS QUÍMICOS	XVII
UNIDADES	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O AR E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	1
1.2. IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	2
1.3. POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES E TIPOS DE FONTES DE EMISSÃO	3
1.4. CARACTERIZAÇÃO E CONTROLO DE EMISSÕES GASOSAS.....	5
1.5. INCINERAÇÃO DE RSU (RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS).....	8
1.6. LEGISLAÇÃO.....	11
2. LIPOR	17
2.1. A CENTRAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA LIPOR II.....	18
2.1.1. <i>Funcionamento</i>	18
2.1.2. <i>Sistema de Tratamento de Gases</i>	21
2.2. PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO	27
3. OBJECTIVOS DO TRABALHO DESENVOLVIDO	31
4. ANÁLISE DE DADOS	33
4.1. COMPARAÇÃO COM A LEGISLAÇÃO.....	33
4.1.1. <i>Monitorização em contínuo</i>	34
4.1.2. <i>Monitorização pontual</i>	43
4.2. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE GASES	54
4.3. CÁLCULO DE FACTORES DE EMISSÃO	55

5. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

Índice de Figuras

Figura 1	Resumo da legislação relativa à qualidade do ar e às emissões atmosféricas...	15
Figura 2	Central de Valorização Energética da LIPOR II. Fonte: LIPOR, 2002.	18
Figura 3	Circuito dos RSU na Central de Valorização Energética. Fonte: LIPOR, 2010. 20	
Figura 4	Esquema da Central de Valorização Energética. Fonte: LIPOR, 2010.....	21
Figura 5	Esquema do funcionamento reactor. Fonte: BREF, 2004.....	23
Figura 6	Reactor da Central.....	23
Figura 7	Filtro de mangas. Fonte: BREF, 2004.....	25
Figura 8	Telas de tecido poroso (mangas) no interior do filtro. Fonte: Alvim-Ferraz e Chibante, 2008.....	25
Figura 9	Esquema do fluxo gasoso no interior do filtro de mangas.....	26
Figura 10	Injectores de ar comprimido no filtro de mangas.....	26
Figura 11	Analísadores. 1 – Analísador de mercúrio; 2- Analísador FTIR..	29
Figura 12	Amostradores na conduta de extracção de gases.....	29
Figura 13	Concentrações máximas das médias diárias para as partículas, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.....	37
Figura 14	Concentrações máximas das médias diárias para o HCl, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.....	38
Figura 15	Concentrações máximas das médias diárias para o COT, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.....	39
Figura 16	Concentrações máximas das médias diárias para o HF, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.	39
Figura 17	Concentrações máximas das médias diárias para o SO ₂ , registadas anualmente e VLE para as médias diárias.....	40
Figura 18	Concentrações máximas das médias diárias para o NO _x , registadas anualmente e VLE para as médias diárias.....	41
Figura 19	Concentrações máximas das médias diárias para o CO, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.	42
Figura 20	Concentrações máximas das médias diárias para o NH ₃ , registadas anualmente e VLE para as médias diárias.....	43
Figura 21	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para as dioxinas e furanos (amostragens trimestrais ou duas amostragens anuais).	46

Figura 22	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para as dioxinas e furanos (amostragens trimestrais ou duas amostragens anuais).....	47
Figura 23	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Pb, Cr, Cu e Mn: (amostragens trimestrais).....	48
Figura 24	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Pb, Cr, Cu e Mn (amostragens trimestrais).....	48
Figura 25	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Ni e As (amostragens trimestrais).....	49
Figura 26	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Ni e As (amostragens trimestrais).....	49
Figura 27	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, e V (duas amostragens anuais).....	50
Figura 28	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V (duas amostragens anuais).....	50
Figura 29	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Hg (amostragens trimestrais).....	51
Figura 30	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Hg (amostragens trimestrais).....	51
Figura 31	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Hg (amostragens pontuais).....	52
Figura 32	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Hg (amostragens pontuais).....	52
Figura 33	Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Tl (duas amostragens anuais).	53
Figura 34	Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Tl (duas amostragens anuais).	53

Índice de Tabelas

Tabela 1	Tecnologias e dispositivos para controlo de poluentes	7
Tabela 2	Classificação dos sistemas de tratamento de gases ácidos.....	7
Tabela 3	Valores - limite de emissão para as médias diárias de partículas totais, HCl, COT, HF, SO ₂ , NO _x , CO e NH ₃ , monitorizados em contínuo.	36
Tabela 4	VLE para o período de amostragem fixado, relativos a metais pesados, dioxinas e furanos, até 2005.	44
Tabela 5	VLE para o período de amostragem fixado e frequências de amostragem, relativos a metais pesados, dioxinas e furanos, após 2005.	45
Tabela 6	Concentração dos poluentes (mg/Nm ³) antes e após o sistema de tratamento de gases e eficiência do tratamento.....	55
Tabela 7	Massa de poluente emitida e massa de resíduos tratada entre 2007 e 2009.....	56
Tabela 8	Factores de emissão estimados para cada poluente.....	57
Tabela 9	Comparação dos factores de emissão estimados e publicados (g/t).....	59

Siglas

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COT	Carbono Orgânico Total
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
DL	Decreto-Lei
EPER	<i>European Pollutant Emission Register</i> – Registo Europeu de Emissões Poluentes
GIC	Grandes Instalações de Combustão
IDAD	Instituto do Ambiente e Desenvolvimento
LIPOR	Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAH	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
PCB	Policloro bifenis
PCDD	Policlorodibenzodioxinas
PCDF	Policlorodibenzonfuranos
PCIP	Prevenção e Controlo Integrado da Poluição
PM _{2,5}	Partículas finas
PM ₁₀	Partículas inaláveis
PME _{Ext}	Programa de Monitorização Externa
PRTR	<i>Pollutant Release and Transfer Register</i> - Registo de Emissões e Transferências de Poluentes
PTN	Condições normais de pressão e temperatura
PVC	Policloreto de Vinilo
RNCS	Redução Não-Catalítica Selectiva
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
TEN	Tectos de Emissão Nacional
TEQ	<i>Toxic Equivalent</i> - Equivalente Tóxico

UIR	Unidades de Incineração de Resíduos
VLE	Valor - Limite de Emissão

Símbolos e fórmulas

As	Arsénio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CaSO ₃	Sulfito de cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Cr	Crómio
Cu	Cobre
HCl	Ácido clorídrico
HF	Ácido fluorídrico
Hg	Mercúrio
HgCl ₂	Cloreto de mercúrio
Mn	Manganês
N ₂	Azoto
N ₂ O	Óxido Nitroso
(NH ₂) ₂ CO	Ureia
NH ₃	Amoníaco
Ni	Níquel
NO	Óxido de azoto
NO ₂	Dióxido de azoto
NO _x	Óxidos de azoto
Pb	Chumbo
Sb	Antimónio
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre

SO _x	Óxidos de enxofre
Tl	Tálio
V	Vanádio

Unidades

atm	Atmosfera
bar	Bar
g	Grama
h	Hora
K	Grau Kelvin
kg	Quilograma
kPa	Quilopascal
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
MW	Megawatt
ng	Nanogramas
nm	Nanómetro
°C	Grau Centígrado
ppmv	Partes por milhão (em volume)
s	Segundo
t	Tonelada
µg	Micrograma

1. INTRODUÇÃO

1.1. O AR E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O ar é o recurso natural que está mais disponível, sendo um bem essencial para o ser humano, pois apenas se consegue viver alguns minutos sem respirar. O acesso a um ar de qualidade aceitável é fundamental, sendo um pré-requisito para a saúde e o bem – estar humano (Alvim-Ferraz, 2005; EEA, 2010).

As actividades humanas são as principais responsáveis pela contaminação do ar. A poluição atmosférica devida às actividades humanas existe, pelo menos, desde que o Homem aprendeu a usar o fogo, mas tomou maiores proporções desde a Revolução Industrial. O aumento da poluição atmosférica, resultante do uso em larga escala de fontes de energia fósseis e do crescimento da produção e utilização de produtos químicos, tem sido acompanhado pela tomada de consciência por parte das pessoas dos seus efeitos negativos sobre a saúde e o meio ambiente. Além disso, o conhecimento sobre a natureza, a quantidade, o comportamento físico e os efeitos dos poluentes atmosféricos aumentou consideravelmente nos últimos anos. No entanto, ainda é necessário saber mais (WHO, 2000). A poluição atmosférica está relacionada com a presença de poeira, névoa, fumo ou outra matéria particulada, vapor, gás, substâncias odoríferas ou energia, em quantidades

que possam ser prejudiciais para a saúde e o bem-estar humano, assim como para a vida animal e vegetal. É a forma de poluição com repercussão mais global pois os poluentes podem ser transportados para locais muito distantes de onde foram emitidos – a poluição atmosférica não conhece fronteiras (Alvim-Ferraz, 2005; EEA, 2010).

1.2. IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica causa problemas a nível global como o efeito de estufa, as alterações climáticas, a depleção da camada de ozono e a deposição ácida, devido ao transporte de poluentes a longas distâncias (Alvim-Ferraz, 2005; Nevers, 2000). Os poluentes têm impactos directos sobre a saúde humana, as plantas, os animais e os materiais.

Nos humanos, os efeitos são, principalmente, do foro respiratório e cardiovascular, podendo levar à morte, em função da concentração dos poluentes e do tempo de exposição. Podem ocorrer situações de exposição a baixas concentrações de poluentes durante um período de tempo prolongado, resultando daí efeitos crónicos. A exposição a elevadas concentrações durante curtos períodos de tempo está relacionada com episódios pontuais de poluição ou acidentes industriais, de que resultam efeitos agudos (Alvim-Ferraz, 2005; Nevers, 2000; WHO, 2005). No entanto, a saúde pública pode também ser indirectamente afectada através da captação de poluentes pelas plantas e animais, resultando na entrada de produtos químicos na cadeia alimentar ou na sua presença em água potável, constituindo, assim, fontes adicionais de exposição humana. Os efeitos directos dos poluentes atmosféricos sobre as plantas, os animais e o solo podem influenciar a estrutura e a função dos ecossistemas, incluindo a sua capacidade de auto-regulação, o que afecta a qualidade de vida (WHO, 2000).

Os efeitos da poluição nos edifícios e materiais verificam-se nas tintas, pneus e outros materiais de borracha que sofrem corrosão em ambientes poluídos. Os danos dependem também da concentração e do tempo de exposição. No entanto, os efeitos mais preocupantes são nos monumentos feitos de mármore, que são danificados pela deposição ácida.

Os poluentes também têm efeitos na visibilidade devido à interação da luz com as partículas em suspensão. Por exemplo, alguns *smogs*¹ urbanos têm uma aparência acastanhada devido ao dióxido de azoto (NO₂) que contém (o NO₂ é dos poucos poluentes que apresenta coloração) (Nevers, 2000).

1.3. POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES E TIPOS DE FONTES DE EMISSÃO

Os poluentes são emitidos por fontes, depois são transportados, diluídos e modificados química e fisicamente na atmosfera. Finalmente chegam a um receptor onde prejudicam a saúde humana, edifícios, materiais e vegetação (Nevers, 2000). Os poluentes podem ser emitidos para a atmosfera a partir de:

- Fontes naturais, que podem ser a vegetação, os processos de decomposição biológica, os fogos florestais e as erupções vulcânicas. Estas levam a uma concentração natural de fundo que depende das fontes locais e de condições meteorológicas específicas;
- Fontes antropogénicas, que derivam das actividades humanas, tais como os processos industriais, os processos de queima de combustíveis fósseis para a produção de electricidade e para os transportes e a agricultura. Estas fontes são as principais responsáveis pela poluição atmosférica (Alvim-Ferraz, 2005; Nevers, 2000).

¹ O *smog* é um fenómeno que resulta da mistura de um processo natural - o nevoeiro - com os poluentes contidos nos gases emitidos pelas actividades industriais e queima de combustíveis fósseis, originando um tipo de nevoeiro que pode ser altamente tóxico. O *smog* afecta sobretudo as vias respiratórias e os olhos (Infopédia, 2010).

Entre os poluentes emitidos por fontes naturais encontram-se as partículas, o metano, o monóxido de carbono (CO), entre outros. Os principais poluentes emitidos por fontes antropogénicas são óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de azoto (NO_x), CO, hidrocarbonetos e partículas (Alvim-Ferraz, 2008).

As fontes de poluição podem ainda classificar-se em difusas, quando se referem a fontes de poluição dispersas numa vasta área, e pontuais, quando a emissão de poluentes é feita de forma confinada, através de uma chaminé. Podem ainda classificar-se em fontes estacionárias, como por exemplo uma fábrica, e fontes móveis, que incluem o tráfego rodoviário, aéreo, marítimo e fluvial (EPA, 2010).

Os poluentes podem classificar-se de acordo com a sua origem, composição química e estado físico. Assim, quanto à sua origem os poluentes podem ser classificados em:

- Poluentes primários – existem na atmosfera desde que sejam emitidos por uma fonte (uma fábrica, um veículo). São exemplos de poluentes primários SO_x, NO_x e os hidrocarbonetos;
- Poluentes secundários – formam-se na atmosfera através de reacções fotoquímicas, de oxidação, e outras reacções químicas de poluentes primários, envolvendo componentes naturais da atmosfera, principalmente oxigénio e água. O exemplo mais conhecido é o caso do ozono.

De acordo com a composição química os poluentes classificam-se em:

- Orgânicos – contêm principalmente carbono e hidrogénio, mas também oxigénio, azoto, fósforo, enxofre;
- Inorgânicos – tais como, CO, SO_x, dióxido de carbono (CO₂), ozono, sulfatos, nitratos.

Relativamente ao estado físico os poluentes podem ser:

- Particulados – estão presentes na atmosfera na forma sólida ou líquida, finamente divididos. Podem ser partículas primárias ou secundárias, abrangendo uma grande

variedade de tamanhos. Por exemplo as partículas secundárias podem ter 1 a 2 nm de diâmetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$);

- Gasosos – incluem substâncias gasosas ou vapores, que entram facilmente no sistema respiratório humano (Alvim-Ferraz, 2005; WHO, 2005).

1.4. CARACTERIZAÇÃO E CONTROLO DE EMISSÕES GASOSAS

Há dois tipos de medições relativas aos poluentes atmosféricos: as medições ambiente, ou seja a medição das concentrações de poluentes no ar que respiramos, ou monitorização ambiental, e as medições na fonte, que dizem respeito à medição da concentração de poluentes emitidos por uma fonte. As concentrações no ar ambiente devem ser medidas para avaliar se o ar que respiramos é realmente seguro. Quanto às emissões na fonte, por exemplo numa fábrica, estas devem ser efectuadas para verificar se a legislação está a ser cumprida. Para além dos requisitos legais, as emissões devem ser quantificadas para avaliar a eficiência dos dispositivos de controlo da poluição (Nevers, 2000).

Para caracterizar as emissões gasosas é necessário conhecer as características:

- Dos poluentes, tais como a concentração (para partículas é expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que para compostos gasosos é expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou ppmv); as propriedades físico-químicas; a corrosividade; a explosividade; a abrasividade; a toxicidade, entre outros;
- Da corrente gasosa, tais como o caudal (expresso em m^3/s ou kg/s); a temperatura; a pressão; a humidade; as propriedades físico-químicas, entre outros (Alvim-Ferraz e Chibante, 2008).

A caracterização das emissões gasosas pode ser feita através de:

- Recolha de amostras e análise físico-química: para as amostragens é introduzida uma sonda na chaminé para extrair (sugar) uma amostra da emissão gasosa – amostragem extractiva; para a maioria das chaminés, a velocidade e concentração

do fluxo de gás varia de ponto para ponto ao longo do tempo, pelo que deve ser obtido o valor médio das várias medições;

- Balanços mássicos;
- Cálculo de factores de emissão: são valores representativos que relacionam a quantidade de poluente emitido para a atmosfera com a actividade associada a essa emissão (Nevers, 2000; Alvim-Ferraz e Chibante, 2008).

Os factores de emissão são geralmente expressos em quantidade do poluente dividida por uma unidade de peso, volume, distância ou duração da actividade do emissor (ex: quilogramas de partículas emitidas por quilogramas de carvão queimado). Esses factores facilitam a estimativa das emissões de várias fontes de poluição do ar. Na maioria dos casos são apenas as médias de todos os dados disponíveis de qualidade aceitável (EPA, 2010).

O controlo das emissões gasosas tem diferentes abordagens. Uma delas é fazer a diluição dos poluentes. Esta opção era muito utilizada no passado, tanto para o ar como para a água. Pode dar-se como exemplo a utilização de chaminés altas, de forma a diluir os poluentes antes que chegassem ao solo (a utilização de chaminés altas pode diminuir a concentração na zona envolvente mas leva os poluentes para outros locais mais distantes); o despejo de esgotos nos cursos de água, sem qualquer tratamento, esperando-se que a água os diluísse, ou pelo menos, que os afastasse. Hoje em dia a melhor opção é prevenir a emissão de efluentes prejudiciais do que tentar tratá-los através da diluição. Esta última opção deve ser um complemento da redução de emissões, ou seja, tratamento das emissões seguido de diluição. Outra das abordagens é reduzir as emissões através da alteração do processo, das tecnologias ou matérias-primas utilizadas, ou seja, prevenir a poluição. Muitas vezes é a solução mais económica. A última abordagem passa pela utilização de dispositivos ou tecnologias de fim-de-linha, que tratam os gases emitidos, removendo ou destruindo os contaminantes, para que possam ser descarregados no ambiente de forma aceitável. Embora muito utilizados, é sempre mais importante prevenir a formação de poluentes (Nevers, 2000).

Na Tabela 1 encontram-se algumas das tecnologias e dispositivos utilizados no controlo dos poluentes mais comuns presentes nas emissões gasosas.

Tabela 1 - Tecnologias e dispositivos para controlo de poluentes.

Poluente	Tecnologias / Dispositivos de controlo
Partículas	Câmaras de sedimentação, ciclones, filtros de mangas, lavadores (<i>scrubbers</i>), electrofiltros ou precipitadores electrostáticos.
Gases ácidos (SO _x , HCl)	Lavadores húmidos e secos, mecanismos de absorção.
NO _x	Incineração térmica e catalítica, redução catalítica selectiva, redução não-catalítica selectiva, redução catalítica não-selectiva.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Sistemas de adsorção e absorção, oxidação térmica e catalítica, sistemas de recuperação de vapor.

Os sistemas tratamento de gases ácidos podem classificar-se de três formas: húmidos; semi-húmidos e secos. Neste tipo de tratamento é adicionado um reagente alcalino, que permite remover os referidos gases. A Tabela 2 indica o estado físico dos reagentes e dos produtos de reacção para cada tipo de sistema.

Tabela 2 - Classificação dos sistemas de tratamento de gases ácidos.

Sistema	Reagente	Produto da reacção
Húmido	Líquido	Líquido
Semi-húmido	Líquido	Seco
Seco	Seco	Seco

Estes sistemas podem ser de passagem única ou regeneráveis, ou seja, há recirculação do reagente alcalino. Os sistemas de passagem única são mais económicos, mas os sistemas regeneráveis são mais eficientes. Os sistemas a húmido são mais eficientes, enquanto que os sistemas a seco são mais económicos (Alvim-Ferraz e Chibante, 2009).

1.5. INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Uma vez que este trabalho incide sobre uma central de valorização energética de RSU, torna-se necessário analisar o processo de incineração e os poluentes daí resultantes.

O processo de incineração consiste na queima de substâncias, numa área fechada, sob condições controladas. Durante a queima, a câmara de combustão do incinerador é alimentada com resíduos. À medida que os resíduos são queimados uma fracção da sua massa é transformada em gases. Estes gases podem atingir uma temperatura tal que os compostos orgânicos existentes podem quebrar as suas ligações, separando-os nos seus constituintes elementares. Estes elementos combinam-se com o oxigénio formando gases estáveis que, por sua vez, são libertados para a atmosfera, após atravessarem sistemas de tratamento (Mata e Coutinho, 2003). Do processo de incineração de resíduos resultam: CO₂, CO, HCl, HF, SO_x, NO_x, partículas, metais pesados, dioxinas e furanos e COV:

- CO - É um gás tóxico, sem cheiro, que se forma durante a combustão incompleta de compostos de carbono. É produzido quando o oxigénio ou a temperatura são insuficientes para que ocorra a oxidação completa a CO₂. Uma medição contínua dos níveis de CO permite avaliar a eficiência do processo de incineração. Se as emissões de CO forem baixas, as emissões de COV também são baixas (e vice-versa) (BREF, 2004);
- Compostos ácidos (HCl, HF) - Há muitos resíduos que contêm compostos de cloro, alguns deles orgânicos (que podem ser provenientes, por exemplo, de produtos feitos em PVC). Durante a combustão, os componentes orgânicos são destruídos e o cloro é convertido em ácido clorídrico (HCl). A formação de ácido fluorídrico (HF) é idêntica à do HCl, sendo as principais fontes deste poluente, na incineração de RSU, os plásticos ou os têxteis que contenham flúor (BREF, 2004);
- SO_x - Se os resíduos contiverem compostos de enxofre, será formado, principalmente, dióxido de enxofre (SO₂) durante a incineração. No entanto, em condições apropriadas, o trióxido de enxofre (SO₃) também se pode formar. O enxofre pode ser proveniente dos resíduos de papel e de plástico (BREF, 2004);

- NO_x - São emitidos vários óxidos de azoto das unidades de incineração, no entanto o monóxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO₂) são os mais importantes. Apesar de terem diferentes propriedades químicas e físicas e diferentes impactos ambientais, são agrupados e a soma dos dois é designada por NO_x. Os óxidos de azoto podem formar-se de três formas: a partir da conversão do azoto contido no combustível, que neste caso são os resíduos (NO_x combustível); durante a combustão (NO_x térmico); através da reacção com radicais CH, intermediando a formação de HCN. Este último mecanismo de formação tem relativamente pouca importância na incineração de resíduos (Alvim-Ferraz, 2005; BREF, 2004);
- Partículas - O material particulado, a maior parte finamente dividido, acumula-se no fundo da câmara de combustão, ou é transportado pelo efluente gasoso (Almeida et al, 1999). Este material particulado inclui as PM₁₀, ou partículas inaláveis, que têm um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm, e as PM_{2,5}, ou partículas finas, que têm um diâmetro aerodinâmico inferior a 2.5 µm. As partículas contêm substâncias inorgânicas (sulfatos, nitratos, metais) e substâncias orgânicas (hidrocarbonetos poliaromáticos, dioxinas e furanos). Quando se removem as partículas também se removem estas substâncias (Alvim-Ferraz, 2005; BREF, 2004);
- Metais pesados - Estão presentes o mercúrio, cádmio, tálio, chumbo, níquel, crómio, entre muitos outros. Têm tendência para se ligar às partículas. Por exemplo o mercúrio é altamente tóxico e encontra-se nos resíduos devido à presença de baterias e termómetros, que contêm este poluente. Pode estar presente na forma de mercúrio metálico ou como cloreto de mercúrio (HgCl₂), tudo depende das condições químicas do fluxo gasoso. Se existir uma elevada concentração de HCl, o mercúrio estará maioritariamente na forma de HgCl₂, sendo mais facilmente removido. No caso da concentração de HCl ser baixa o mercúrio encontra-se na forma metálica, sendo mais difícil de remover (BREF, 2004);
- PCDD/PCDF - As policlorodibenzodioxinas (PCDD) e os policlorodibenzofuranos (PCDF), mais habitualmente designados por dioxinas e furanos, encontram-se nos resíduos, assim como nos gases de exaustão e nos resíduos de incineração. A maior parte destes compostos são destruídos durante o

processo de incineração mas também podem ser formados após a combustão, a partir de compostos precursores, como por exemplo os bifenis policlorados (PCB), clorohidrobenzeno e clorobenzeno. Uma boa combustão destrói estes compostos precursores. As dioxinas e os furanos são extremamente tóxicos e alguns desses compostos têm efeitos cancerígenos (BREF, 2004; Carvalho et al, 2001);

- COV - Incluem hidrocarbonetos, compostos oxigenados, compostos halogenados e outros compostos de carbono, que vaporizam facilmente. Formam-se quando ocorre a queima incompleta de combustíveis devida, por exemplo, à deficiência de oxigénio no processo de combustão (Nevers, 2000; WHO, 2005);

As emissões de HCl, HF, SO₂, NO_x, PCDD/PCDF e metais pesados dependem principalmente da composição dos resíduos e da eficiência de tratamento dos gases. As emissões de CO e COV são determinadas pelos parâmetros técnicos do forno e o grau de heterogeneidade dos resíduos, quando atingem a fase de combustão. A estrutura do forno também influencia as emissões de NO_x. As emissões de partículas estão muito dependentes da eficiência de tratamento dos gases (BREF, 2004). A formação destes subprodutos pode ainda depender de outros factores como o tipo de tecnologia específica de cada unidade de incineração e os parâmetros de operação, tais como a temperatura e a velocidade dos gases de exaustão (Mata e Coutinho, 2003).

O tratamento dos gases gerados consiste basicamente na remoção das partículas sólidas em suspensão, na eliminação de alguns contaminantes e na neutralização dos gases ácidos (Almeida et al, 1999).

A actual gestão de resíduos estabelece como prioridade a prevenção na produção de resíduos, seguida da reciclagem, valorização e incineração de resíduos, considerando a deposição em aterro uma solução de último recurso. Os custos associados à deposição de resíduos em aterro são cada vez maiores devido à escassez de espaço disponível, à preocupação em relação à contaminação de águas subterrâneas, às questões relacionadas com a saúde pública e ainda devido às medidas restritivas da regulamentação europeia. Este conjunto de factores transforma a opção da incineração bastante atraente como solução na gestão de resíduos, tendo vindo a ser encarada como solução alternativa à deposição em aterro. Esta solução permite a redução do volume e peso dos resíduos (cerca

de 90% e 75%, respectivamente) e possibilita, através do calor gerado na combustão, a produção de energia eléctrica. No entanto, este processo surge associado a emissões de poluentes, que causam preocupação no que diz respeito à sua persistência no ambiente e aos efeitos e escala da dispersão. Normalmente a incineração tem uma visão negativa por parte das populações, por recearem os impactos ambientais (Mata e Coutinho, 2003).

1.6. LEGISLAÇÃO

A melhoria da qualidade do ar, nas últimas décadas, foi um dos grandes êxitos da política comunitária em matéria de ambiente (APA, 2010). Existem diversas directivas da União Europeia relativas a esta temática, que funcionam como instrumentos de controlo e mitigação da poluição atmosférica e simultaneamente permitem uma harmonização dos critérios legislativos entre os vários Estados-Membros (Ferreira, 2007). Portugal, como Estado-Membro da União Europeia, rege-se pelas normas e leis estabelecidas pela Comissão Europeia, sendo as directivas transpostas para a lei nacional através dos Decretos-Lei.

O enquadramento básico para a avaliação e gestão da qualidade do ar foi estabelecido pela Directiva - Quadro 96/62/CE, de 27 de Setembro, que exige que os Estados-Membros elaborem planos de acção pormenorizados para as zonas e aglomerações urbanas em que sejam ultrapassados os valores - limite de emissão (CCDR, 2010; Ferreira, 2007). A directiva reflecte os resultados de estudos realizados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (Alvim-Ferraz, 2008). O Decreto-Lei nº 276/99, de 23 de Julho, define as linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar e transpõe para a ordem jurídica interna esta directiva. Por sua vez, o Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto, faz a primeira alteração a este Decreto-Lei, sendo aquele que está actualmente em vigor.

Os valores - limite ou valores - alvo foram fixados em quatro directivas específicas (Directivas - Filhas da Directiva - Quadro), relativas a SO₂, PM₁₀, benzeno, CO, NO₂, NO_x, Pb, ozono, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH). As Directivas - Filhas são:

- A Directiva 1999/30/CE: Directiva do Conselho, de 22 Abril, relativa a valores - limite para o SO₂, NO₂ e NO_x, partículas em suspensão e chumbo no ar ambiente;
- A Directiva 2000/69/CE: Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Novembro, relativa a valores - limite para o benzeno e o CO no ar ambiente.
As directivas referidas anteriormente são transpostas para a lei nacional através do Decreto-Lei n° 111/2002, de 16 de Abril;
- A Directiva 2002/3/CE: Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Fevereiro de 2002, relativa ao ozono no ar ambiente.
Esta directiva é transposta para a lei nacional através do Decreto-Lei n° 320/2003, de 20 de Dezembro, que estabelece objectivos a longo prazo, valores - alvo, um limiar de alerta e um limiar de informação ao público para as concentrações do ozono no ar ambiente, bem como as regras de gestão da qualidade do ar aplicáveis a esse poluente;
- A Directiva 2004/107/CE: Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Dezembro de 2004, relativa ao arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e PAH.
O Decreto-Lei n° 351/2007, de 31 de Outubro, transpõe para a ordem jurídica interna esta directiva, estabelecendo valores - alvo para as concentrações dos referidos compostos no ar ambiente (CCDR, 2010; Ferreira, 2007).

É ainda de referir a Directiva 2008/50/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio, que é relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, que ainda não se encontra transposta para a legislação nacional.

Em relação à legislação sobre emissões atmosféricas, o Decreto-Lei n° 78/2004, de 3 de Abril, reconhece ser indispensável tomar medidas e procedimentos para a prevenção e controlo da poluição provocada por instalações que emitem poluentes para a atmosfera. Estabelece um regime de monitorização diferenciado em função do caudal mássico dos poluentes, para os quais esteja fixado o valor - limite de emissão (VLE). Neste sentido, está subjacente a esse Decreto-Lei a Portaria n° 263/2005, que estabelece regras para o cálculo da altura de chaminés, e a Portaria n° 80/2006, que fixa os limiares mássicos (máximos e mínimos) de poluentes atmosféricos, possibilitando a determinação do regime de

monitorização aplicável a todas as fontes fixas de emissão. Assim, os Decretos-Lei nº 276/99 e nº 78/2004 são a base para todo o quadro legal transposto, quer no âmbito da qualidade do ar, quer no âmbito das emissões de poluentes atmosféricos (Ferreira, 2007).

Foram também fixados valores - limite nacionais (Tectos de Emissão Nacional – TEN) para as emissões de SO₂, NO_x, COV e amoníaco (NH₃) através da Directiva 2001/81/CE, de 23 de Outubro (Ferreira, 2007). Esta directiva tem como objectivo limitar as emissões de poluentes acidificantes e eutrofizantes e precursores de ozono. O Decreto-Lei nº 193/2003, de 22 de Agosto, transpõe para a ordem jurídica interna esta directiva.

As outras directivas relativas às emissões atmosféricas são:

- A Directiva 1999/13/CE do Conselho, de 11 de Março, que limita as emissões de COV resultantes da utilização de solventes orgânicos em certas actividades e instalações industriais, sendo posteriormente alterada pela directiva 2004/42/CE, de 21 de Abril. O Decreto-Lei nº 242/2001, de 31 de Agosto, transpõe a referida directiva;
- A Directiva 2000/76/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro, que estabelece o regime a que fica sujeita a incineração e a co-incineração de resíduos, com o objectivo de prevenir ou reduzir os seus efeitos negativos no ambiente. O Decreto-Lei nº 85/2005, de 28 de Abril, transpõe para a legislação nacional esta directiva;
- A Directiva 2001/80/CE, de 23 de Outubro, é relativa à limitação das emissões para a atmosfera de certos poluentes provenientes de Grandes Instalações de Combustão (GIC). O Decreto-Lei nº 178/2003, de 5 de Agosto, transpõe esta directiva para a legislação nacional.

Existe ainda o Decreto-Lei nº 173/2008, de 26 de Agosto, que estabelece o regime de Prevenção e Controlo Integrado da Poluição (PCIP) proveniente de certas actividades e as medidas destinadas a evitar, ou a reduzir, as emissões dessas actividades para o ambiente, a prevenção e controlo do ruído e da produção de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2008/1/CE, do Parlamento e do Conselho, de 15 de Janeiro. Este

Decreto-Lei permite a emissão da licença ambiental, sem a qual não é possível iniciar a exploração de uma determinada actividade.

Em resumo, as medidas e propostas comunitárias em vigor procuram melhorar a qualidade do ar e prevêm:

- Valores - limite e valores - alvo para a qualidade do ar;
- Valores máximos de emissão nacional para combater a poluição transfronteiriça;
- Programas integrados de redução da poluição em domínios concretos;
- Medidas específicas de limitação das emissões (Ferreira, 2007).

Na Figura 1 encontra-se um resumo da legislação comunitária e da respectiva legislação portuguesa.

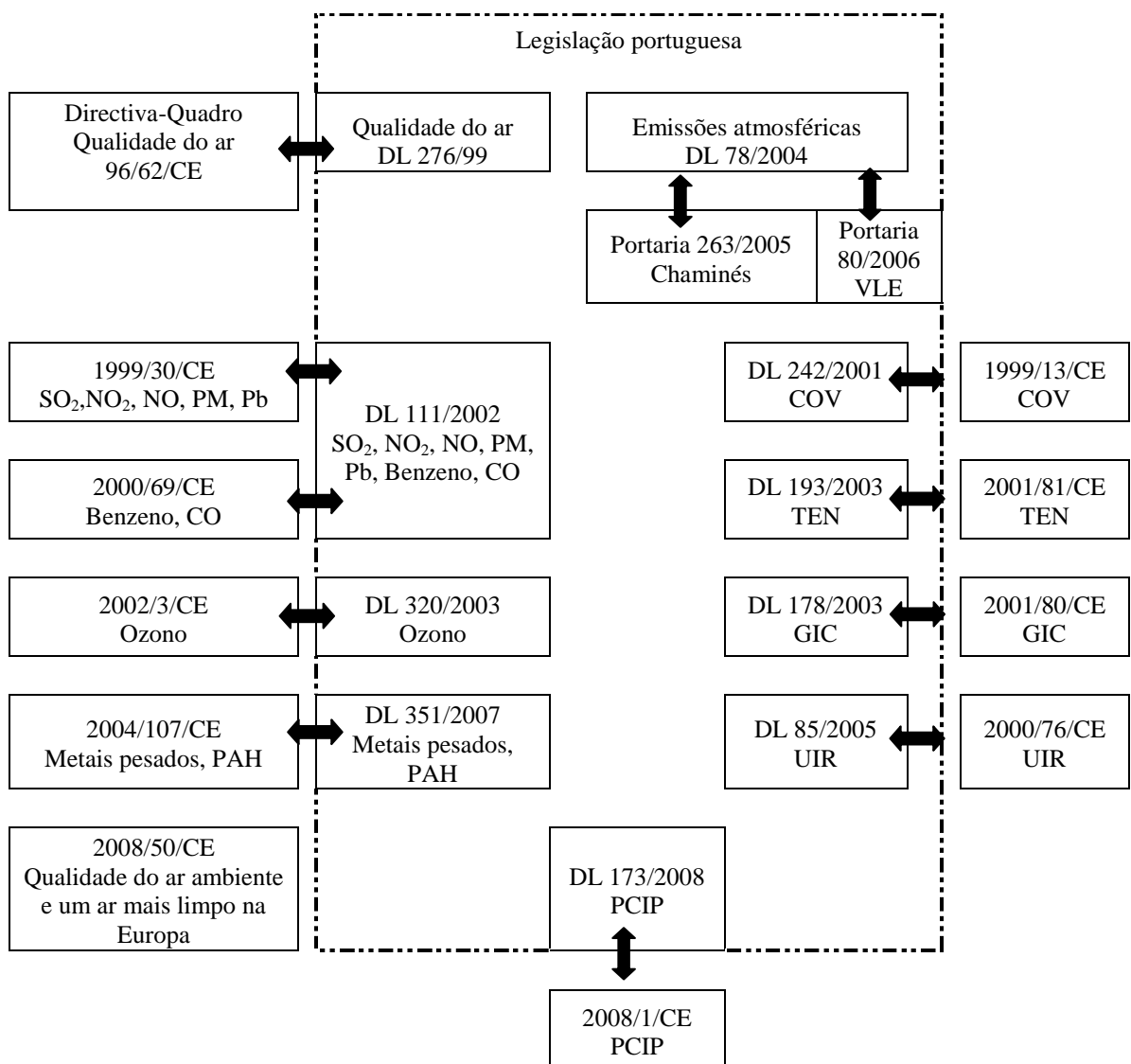


Figura 1 - Resumo da legislação relativa à qualidade do ar e às emissões atmosféricas.

2. LIPOR

A LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto – é a entidade responsável pela gestão, valorização e tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos produzidos pelos oito municípios que a integram: Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde. Constituída como Associação de Municípios em 1982, esta entidade tem vindo a implementar uma gestão integrada de resíduos, recuperando, ampliando e construindo infra-estruturas, complementadas com campanhas de sensibilização junto da população.

A LIPOR trata, todos os anos, cerca de 500 mil toneladas de RSU produzidos por cerca de 1 milhão de habitantes e tem desenvolvido uma estratégia integrada de valorização, tratamento e confinamento dos RSU, baseada em três componentes principais:

- Valorização Multimaterial – é feita a recolha selectiva dos resíduos nos ecopontos, ecocentros e porta-a-porta. O material separado é enviado para o Centro de Triagem onde é preparado (triado) e acondicionado para ser enviado para as indústrias recicladoras;
- Valorização Orgânica – a fracção biodegradável dos RSU é aproveitada para a produção de composto – compostagem;

- Valorização Energética – consiste na recuperação da energia calorífica dos RSU, mediante um processo térmico de tratamento controlado, e na sua transformação em energia eléctrica.

Estas três componentes são completadas por um Aterro Sanitário para recepção dos rejeitados e de resíduos previamente preparados.

Existem dois complexos da LIPOR: um em Baguim do Monte (Ermesinde), onde é feita a valorização multimaterial e a valorização orgânica, e outro em Moreira da Maia (lugar de Crestins) – LIPOR II – onde é feita a valorização energética (LIPOR, 2010).

2.1. A CENTRAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA LIPOR II

2.1.1. FUNCIONAMENTO

A Central de Valorização Energética da LIPOR II, que se pode ver na Figura 2, foi inaugurada em Março de 2000 e tem como principal objectivo proceder ao tratamento térmico controlado dos resíduos sólidos urbanos que não apresentam potencialidades de valorização pelos processos de reciclagem orgânica ou multimaterial, recuperando a sua energia endógena para a produção de energia eléctrica. A abertura da Central representou um passo em frente na estratégia global de gestão de RSU do Grande Porto.



Figura 2 - Central de Valorização Energética da LIPOR II. Fonte: LIPOR, 2002.

Os resíduos chegam à Central provenientes dos vários circuitos camarários dos municípios que constituem a LIPOR e são armazenados numa fossa de recepção com capacidade de 18000 m³ (6000 toneladas), ou seja, tem capacidade para seis dias da actual produção. A fossa encontra-se num edifício fechado e mantido em depressão (a pressão é menor dentro do edifício) para evitar a propagação de odores, sendo os resíduos posteriormente

transferidos para as duas linhas de tratamento, com capacidade para 24,4 t/h de resíduos cada uma. As linhas de tratamento funcionam em contínuo e de forma praticamente automática. Os resíduos são transferidos da fossa de recepção para as tremonhas de alimentação dos fornos através de uma ponte rolante provida de um pólo de garras, que também faz a homogeneização dos resíduos na fossa. Os movimentos da ponte são assegurados a partir da sala de controlo. Uma vez na tremonha, os resíduos são progressivamente empurrados por um sistema de êmbolos hidráulicos para a grelha de combustão, onde são queimados a elevadas temperaturas (1000° C a 1200° C). Existem duas grelhas de combustão, com uma inclinação de 26° sobre a horizontal, o que favorece a queda dos resíduos por acção da gravidade.

Deste processo de combustão são libertados gases a elevadas temperaturas que passam por uma caldeira de recuperação de energia (existem duas caldeiras, uma por cada linha de tratamento), onde o seu calor é aproveitado para a produção de vapor de água, posteriormente transformado em energia eléctrica ao nível de uma turbina. Os gases, antes da sua evacuação para a atmosfera, são tratados através de processos de neutralização, condensação e filtração, de modo a minimizar a emissão de poluentes. Para esta etapa existem dois reactores, dois filtros de mangas (um por cada linha de tratamento) e uma chaminé de 68 metros de altura. Os resíduos resultantes do sistema de tratamento de gases são submetidos a um processo de solidificação e estabilização, sendo posteriormente colocados no aterro sanitário.

Do processo de combustão também resultam cinzas, que sofrem um processo de inertização, e escórias, que têm como destino o confinamento em aterro sanitário. Das escórias, é ainda possível separar as sucatas ferrosas, permitindo, assim, o seu encaminhamento para o circuito da reciclagem. As escórias e os materiais ferrosos são recolhidos nas fossas de rejeitados.

Na Figura 3 encontra-se um esquema do circuito dos RSU na Central de Valorização Energética.

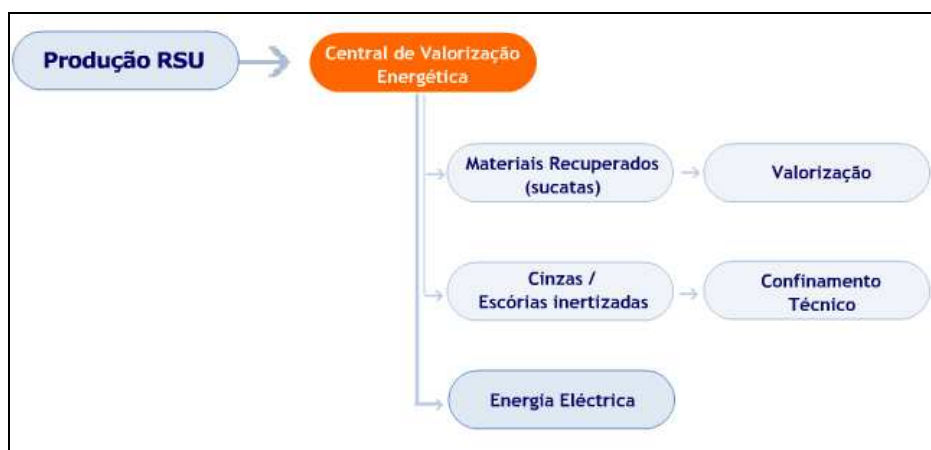


Figura 3 - Circuito dos RSU na Central de Valorização Energética. Fonte: LIPOR, 2010.

A Central tem uma capacidade de tratamento de 400 000 toneladas de resíduos por ano, tratando, em média, cerca de 1 100 toneladas de resíduos por dia e produzindo cerca de 25 MWh de energia eléctrica por dia. É auto-suficiente em termos energéticos, debitando na Rede Eléctrica Nacional cerca de 90% da sua produção, através de um posto de transformação integrado no próprio complexo. Permite, assim, abastecer um aglomerado populacional da ordem de 150 mil habitantes, o que significa que numa hora é produzida energia suficiente para iluminar, por exemplo, a cidade do Porto por uma noite. Os restantes 10% da produção de energia eléctrica são utilizados para consumo interno da Central (LIPOR, 2002; LIPOR, 2010).

Na Figura 4 encontra-se um esquema da Central, onde se pode observar a linha de processo.

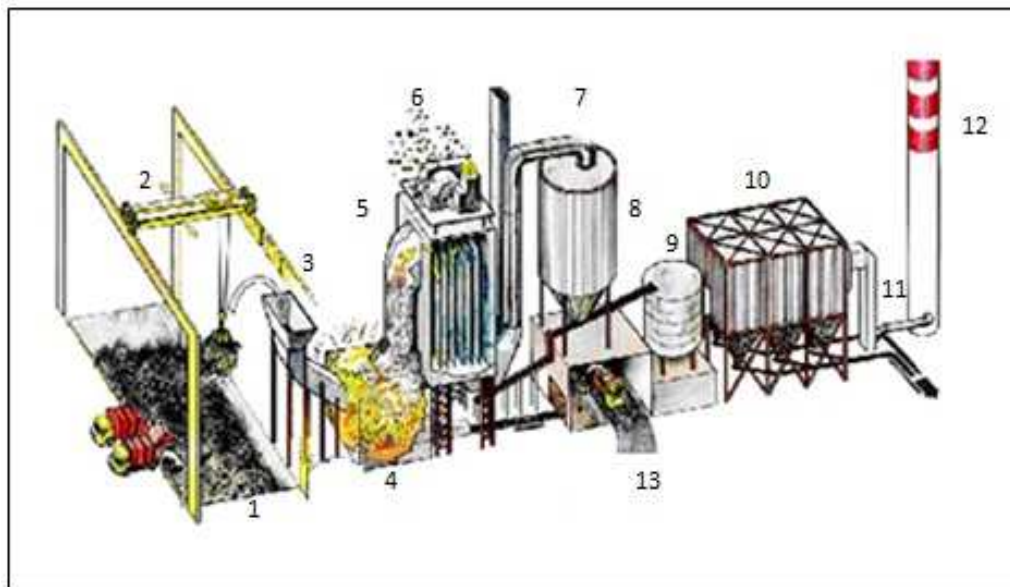


Figura 4 - Esquema da Central de Valorização Energética.

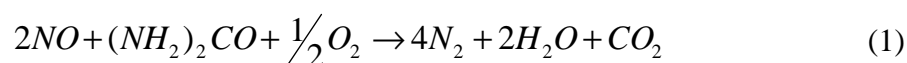
Fonte: LIPOR, 2010.

1 – Fossa de recepção; 2 – Ponte rolante com pólipos de garras; 3 – Tremonha de alimentação do forno; 4 – Câmara de combustão; 5 – Caldeira; 6 – Alternador e turbina; 7 – Sistema de adição de carvão activado; 8 – Reactor; 9 – Silo das cinzas; 10 – Filtro de mangas; 11 – Ventilador de extracção de gases; 12 – Chaminé; 13 – Fossa dos rejeitados

2.1.2. SISTEMA DE TRATAMENTO DE GASES

Como já foi referido, o sistema de tratamento de gases é constituído por dois reactores, dois filtros de mangas e a chaminé. No entanto, é no momento da combustão dos resíduos que se inicia o tratamento dos gases produzidos. Numa primeira fase, os gases libertados permanecem na câmara de combustão pelo menos durante dois segundos a uma temperatura superior a 850°C, assegurada, se necessário, pelo sistema de queimadores auxiliares alimentados a gás natural (tal como consta no artigo 20º e no artigo 21º do Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril). Uma correcta combustão nesta fase permite a remoção das dioxinas e dos furanos, sendo uma parte posteriormente removida ao nível dos reactores. É ainda nesta fase que é injectada ureia, na forma de solução aquosa, com o objectivo de minimizar as emissões de NO_x (a solução de ureia é comprada já preparada,

sendo armazenada num tanque). A ureia funciona como agente redutor (também se poderia utilizar amoníaco). Os óxidos de azoto nos gases de combustão são reduzidos a azoto (N_2) e vapor de água pelo agente redutor. As reacções ocorrem a temperaturas entre 850°C e 1000°C , sendo a gama óptima entre 900°C e 920°C (BREF, 2004; LIPOR, 2002). São requeridas elevadas temperaturas para fornecer energia suficiente, de modo a não ser necessário utilizar catalisadores (EPA, 2000). O processo ocorre segundo a equação (1):



Este processo designa-se por Redução Não-Catalítica Selectiva (RNCS). É “selectiva” porque a ureia ($(NH_2)_2CO$) reage primeiro com o NO_x e não com o oxigénio ou outro qualquer componente do fluxo gasoso. (Existe também a Redução Catalítica Selectiva, na qual o agente redutor é injectado no fluxo dos gases de combustão, passando através de uma rede que contém um catalisador. O processo ocorre num reactor fechado) (EPA, 2000).

Uma redução do NO_x entre 60 a 80%, através da RNCS, requer uma adição elevada do agente redutor. A utilização de amoníaco pode levar a um aumento das suas emissões, enquanto que a aplicação de ureia leva a emissões relativamente elevadas de óxido nitroso (N_2O), em comparação com a redução através do amoníaco. Também se verifica que as emissões de amoníaco aumentam no caso de se injectar muita ureia e as emissões de NO_x aumentam quando se injecta pouca ureia. Assim, deve-se otimizar a dosagem de reagente e a gama de temperaturas a que o mesmo é injectado. É ainda importante para a optimização do processo de RNCS uma boa mistura dos gases e do reagente, assim como um tempo de residência dos gases suficiente de modo a permitir que ocorram as reacções de redução do NO_x (BREF, 2004).

▪ **Reactor**

Posteriormente, os gases são submetidos a um tratamento do tipo semi-húmido, no reactor. São adicionados carvão activado e uma solução de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{HO})_2$), cal hidratada, no cimo do reactor. Existe uma espécie de turbina (atomizador) que faz com que estes reagentes sejam doseados como um *spray*, ou seja, são atomizados, misturando-se com o fluxo gasoso a tratar, que adquire o movimento representado na Figura 5. O calor dos gases permite a evaporação do solvente (água), que condensa nas paredes do reactor (BREF, 2004). Os produtos da reacção apresentam-se na forma seca (cinzas), sendo removidos no fundo do reactor e armazenados num silo. Algumas partículas sólidas ainda continuam no fluxo gasoso, sendo removidas posteriormente no filtro de mangas. Um dos reactores da Central pode ser visto na Figura 6 .

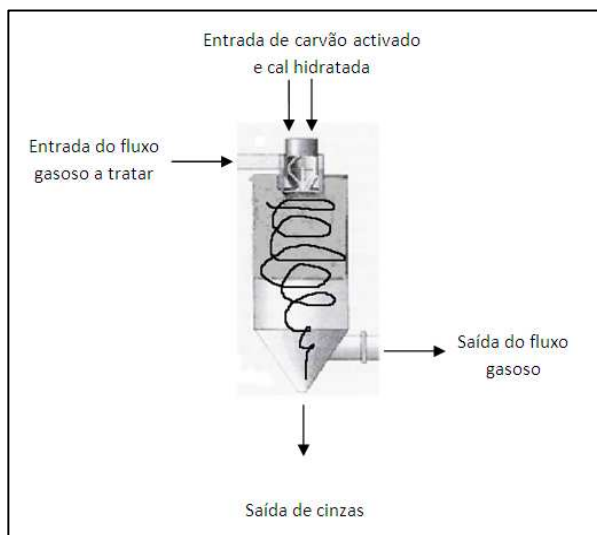
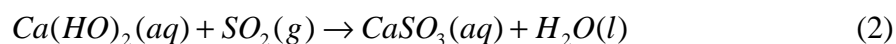


Figura 5 - Esquema do funcionamento reactor. Fonte: BREF, 2004.

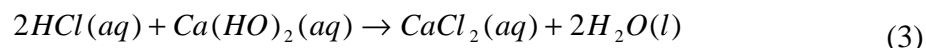


Figura 6 - Reactor da Central.

O carvão activado permite a adsorção (ligação de moléculas à superfície de um sólido) dos compostos organoclorados, incluindo as dioxinas e os furanos. A solução de cal hidratada favorece a condensação de metais pesados, através da sua evaporação, e neutraliza os compostos ácidos existentes, incluindo também o SO_2 (LIPOR, 2002). O SO_2 é removido de acordo com a equação (2):



O HCl é removido segundo a equação (3):



Formam-se sulfito de cálcio ($CaSO_3$) e cloreto de cálcio ($CaCl_2$) como produtos das reacções, que neste caso se encontram na forma seca (Macintyre, 1990).

A cal é adquirida na forma de pó, existindo um silo para o seu armazenamento, e a solução de cal hidratada é preparada nas instalações da central. O carvão activado é adquirido em *big bags* (sacos de 1 tonelada). Ambos os reagentes são adicionados em contínuo.

Este tratamento semi-húmido apresenta razoáveis eficiências de remoção, embora inferiores ao tratamento por via húmida. Tem como desvantagens um elevado consumo energético para atomizar a solução, o atomizador facilmente sofre entupimentos e a temperatura da corrente gasosa é obrigatoriamente elevada (Alvim-Ferraz e Chibante, 2009).

- **Filtro de mangas**

Os gases passam então pelos filtros de mangas para a remoção de partículas, sendo posteriormente enviados para a atmosfera com o auxílio de um ventilador de extracção, através da chaminé. Os filtros de mangas funcionam de forma complementar ao reactor (BREF, 2004; LIPOR, 2002). Na Figura 7 encontra-se um esquema do referido equipamento.

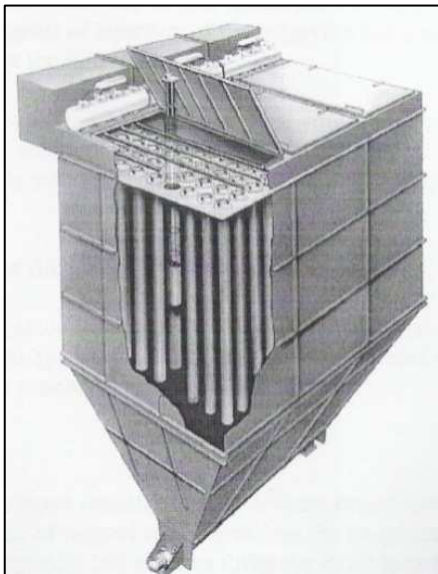


Figura 7 - Filtro de mangas.
Fonte: BREF, 2004.



Figura 8 - Telas de tecido poroso (mangas) no interior do filtro. Fonte: Alvim-Ferraz e Chibante, 2008.

Os filtros de mangas são o equipamento mais utilizado no controlo de partículas (despoeiramento), funcionando como “barreiras” à passagem das mesmas. Normalmente, são constituídos por telas de tecido poroso, tal como se pode ver na Figura 8, que permitem a passagem do gás mas retêm as partículas, ocorrendo a formação do “bolo filtrante” (Alvim-Ferraz e Chibante, 2008).

A compatibilidade do meio filtrante com as características dos gases de combustão e com as partículas a reter, assim como a temperatura que o filtro consegue suportar são factores importantes para atingir uma boa eficiência. O caudal de gás determina a superfície apropriada de filtração, inclusive, a velocidade de filtração. Em funcionamento contínuo, há uma perda gradual de pressão através do meio filtrante devido à deposição das partículas. Em geral, a pressão diferencial através do filtro é usada para monitorizar a necessidade de limpeza. A sua substituição é efectuada quando se atinge o fim do período útil de vida do equipamento ou no caso de existirem danos. A existência de fugas poderá ser detectada pelo aumento das emissões de poluentes ou por alguma perturbação do processo. Os filtros de mangas são muitas vezes divididos em compartimentos que podem ser isolados, para fins de manutenção. Este equipamento apresenta um elevado consumo de energia.

A aplicação de um sistema de remoção de partículas dos gases de exaustão é essencial em todas as instalações de incineração (BREF, 2004).

Os filtros de mangas da Central da LIPOR são semelhantes ao representado na Figura 7, sendo o funcionamento em contínuo. No interior do filtro, o fluxo gasoso a tratar atravessa as mangas, conforme se pode ver na Figura 9.

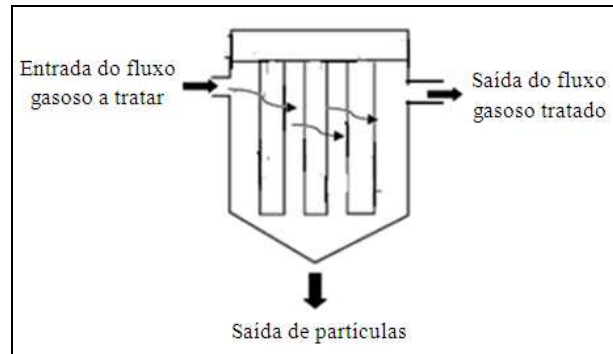


Figura 9 - Esquema do fluxo gasoso no interior do filtro de mangas.

A limpeza é efectuada através da injeção de ar comprimido, no topo do equipamento, o qual faz a “descolmatagem” das mangas, ou seja, as mangas são “sacudidas”, de modo a que as partículas se depositem no fundo (na tremonha), para serem posteriormente removidas (as cinzas provenientes dos filtros de mangas também são armazenadas no silo). Na Figura 10 podem ver-se os injectores de ar comprimido.



Figura 10 - Injectores de ar comprimido no filtro de mangas.

2.2. PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO

A LIPOR realiza um programa de monitorização interna para avaliar os níveis de emissão dos efluentes gasosos e, conseqüentemente, o seu desempenho ambiental. A monitorização interna consiste no controlo dos poluentes, cujos VLE constam da licença ambiental - partículas, HCl, HF, SO₂, NO_x, NH₃, CO, metais pesados, PCDD/PCDF - tendo por base o Decreto-Lei nº 85/2005. Os metais pesados, as dioxinas e furanos são monitorizados pontualmente, ou seja, a sua medição é apenas efectuada algumas vezes por ano, pois ainda não existe tecnologia para a sua monitorização em contínuo, enquanto que os restantes poluentes são monitorizados em contínuo. De acordo com o referido Decreto-Lei, em 2005 foram instalados os seguintes equipamentos:

- Sistema de análise marca ABB, modelo ADVANCE CEMAS FTIR – NT para a monitorização de SO₂, NO, NO₂, CO, CO₂, Carbono Orgânico Total (COT), HCl, HF e NH₃.

Todas as medidas são efectuadas numa base quente e húmida para evitar quaisquer perdas. O analisador FTIR, que consiste num Interferómetro de Michelson, oferece um elevado nível de robustez, precisão e selectividade. O Interferómetro utiliza um divisor de feixe para dividir e recombinar o feixe de infravermelhos, de modo a produzir um padrão de interferência (interferograma). O feixe modulado resultante permite registar a absorção num largo espectro, com elevada selectividade.

Como resultado do seu princípio de medida e correcção automática do zero, o sistema apenas necessitará de ser calibrado duas vezes por ano. Este sistema de análise requer o mínimo de manutenção de rotina, minimizando assim o tempo que está fora de serviço para manutenção e aumentando a disponibilidade de operação. Tendo em conta a disponibilidade dos períodos de medição exigida pela legislação, estão previstos dois sistemas em serviço e outros dois em reserva, isto é, existe uma reserva a 100% por cada uma das linhas de tratamento;

- Sistema de análise do teor de partículas na chaminé, modelo DURAG DR-300-40 (dois sistemas em serviço e um outro de reserva comum às duas linhas), que apresenta um limite de detecção elevado, mesmo para concentrações de partículas muito baixas.

O emissor óptico transforma a luz modulada, proveniente de uma lâmpada de halogéneo de longa duração, num feixe cónico, o qual ilumina, na conduta de exaustão de gases, as partículas. O receptor óptico detecta, dentro de um volume de medida definido, o feixe de luz reflectido pelas partículas e atrai-o ao sensor óptico. Este sensor converte o feixe de luz num sinal de corrente proporcional à intensidade, que é proporcional à concentração de partículas dentro do volume medido.

A posterior avaliação electrónica digital calcula a concentração de partículas a partir da diferença entre o feixe de luz recebido e a intensidade da luz emitida. Este valor calculado é depois indicado como um valor digital, e simultaneamente emitido como um sinal de corrente analógico.

De forma a verificar o seu normal funcionamento, o monitor efectua um ciclo de controlo em intervalos de tempo periódicos de 4 horas, em que o ponto zero, a sujidade das áreas ópticas circundantes bem como o valor de referência são medidos e indicados automaticamente. Se necessário, os subsequentes valores medidos são corrigidos. Se a correcção ultrapassar um certo valor, o sistema irá gerar um sinal de erro;

- Sistemas de análise em contínuo da concentração de mercúrio total nos gases da chaminé, modelo VEREWA HM-1400 TR (existem dois aparelhos em serviço e um outro de reserva comum às duas linhas). Este analisador de mercúrio, necessita de pouca manutenção, não requer a utilização de reagentes, possui um óptimo limite de detecção e a medição é contínua, sem interferências devido a um fotómetro de UV com duplo feixe, zero automático e ajuste do limite de detecção. O medidor de mercúrio permite também inferir sobre a emissão de outros metais pesados, uma vez que se pode considerar que têm comportamento semelhante e ainda não existe tecnologia para a sua medição. Assim, se as emissões de mercúrio são baixas, as emissões dos outros metais pesados também poderão ser baixas. A tecnologia de análise do mercúrio é ainda recente.

Na Figura 11 podem ver-se o analisador de mercúrio e o analisador FTIR. Na Figura 12 encontram-se os amostradores, que recolhem as amostras para serem analisadas, na conduta de extração de gases, antes da sua entrada na chaminé. Os gases são aquecidos para evitar a sua condensação, o que poderia falsear os resultados da monitorização.



Figura 11 - Analisadores. 1 – Analisador de mercúrio; 2- Analisador FTIR.



Figura 12 - Amostradores na conduta de extracção de gases.

Aos analisadores está associado um sistema de aquisição de dados, onde é possível verificar, em tempo real, as emissões de cada poluente e os alertas, no caso de serem ultrapassados os VLE. Os analisadores e o sistema de aquisição de dados encontram-se num compartimento climatizado.

Para além da monitorização interna existe um Programa de Monitorização Externa (PMExt) desenvolvido por uma equipa de investigadores das Universidades de Aveiro, Lisboa e Porto, que foi concebido para avaliar e acompanhar os efeitos produzidos pela construção e operação do complexo LIPOR II no ambiente circundante, englobando um vasto conjunto de descritores ambientais e também aspectos psicossociais e de saúde pública das populações. As actividades de implementação e execução do PMExt são da responsabilidade do Instituto do Ambiente e Desenvolvimento (IDAD) (LIPOR, 2010).

Os três planos sectoriais – ambiental, psicossocial e de saúde pública – foram elaborados como planos independentes, embora se tenha subjacente à sua concepção as inter-relações existentes entre os vários sectores. Como exemplo desse conjunto de inter-relações destaca-se a relação directa existente entre as potenciais contaminações ambientais e a saúde pública, assim como a percepção negativa do projecto por parte da população circundante.

O plano de monitorização ambiental inclui quatro sub-programas funcionais:

- Monitorização do ruído;
- Monitorização da qualidade dos recursos hídricos;
- Monitorização da qualidade do ar;
- Monitorização da biota terrestre e aquático (biomonitorização).

No sub-programa de qualidade do ar são analisados o SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, partículas totais em suspensão e ozono, sendo estes poluentes alvos de uma monitorização em contínuo, e outros que são alvo de uma monitorização pontual como são o caso dos metais pesados (Pb, Cr, Cd, Hg, Ni e As), compostos ácidos e os seus derivados particulados, hidrocarbonetos e PCDD/PCDF. A análise destes poluentes permite tirar conclusões sobre os níveis esperados dos poluentes secundários (tal como o ozono) e a sua distribuição espacial. Particularmente no que diz respeito aos poluentes fotoquímicos, a determinação das concentrações dos poluentes primários é um bom indicador dos níveis dos poluentes secundários. Os referidos parâmetros são analisados num conjunto de estações de monitorização, pertencentes à Rede de Medição da Qualidade do Ar da Área Metropolitana do Porto. Assim, é possível analisar os potenciais impactos que a actividade da central de valorização energética tem no meio envolvente (LIPOR, 2002).

3. OBJECTIVOS DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Tendo em conta a valorização energética de RSU e a respectiva emissão e controlo de poluentes associados a este processo, os objectivos do trabalho desenvolvido foram:

- Análise de dados relativos às emissões gasosas da Central de Valorização Energética da LIPOR, através da avaliação da sua evolução desde 2000 (ano em que a Central começou a funcionar) até 2009, e da comparação com os limites legais impostos;
- Cálculo da eficiência do sistema de tratamento de gases;
- Cálculo de factores de emissão e comparação com valores publicados.

4. ANÁLISE DE DADOS

4.1. COMPARAÇÃO COM A LEGISLAÇÃO

Foi feita a análise da evolução das emissões gasosas da Central de Valorização Energética da LIPOR desde 2000 (ano em que a Central entrou em funcionamento) até 2009, comparando as concentrações emitidas com os limites legais impostos.

Quando a Central entrou em funcionamento, em 2000, possuía uma autorização de funcionamento, válida durante 5 anos, que era equivalente à licença de exploração. Esta autorização de funcionamento foi emitida pelo Instituto Nacional dos Resíduos. Em 2005, ao abrigo do decreto-lei nº 85/2005, a autorização de funcionamento foi substituída pela licença de exploração (licença nº 6/2006), emitida pela autoridade licenciadora, neste caso o Instituto Nacional de Resíduos. A referida licença de exploração foi revista em 2008, sendo substituída pela licença nº 5/2008. A emissão da licença ambiental ao abrigo Decreto-Lei nº 173/2008 (diploma PCIP), pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), englobou a licença de exploração. A licença ambiental é válida por um período de 10 anos. Assim, a Central é regulamentada pelo Decreto-Lei nº 85/2005 e pela licença ambiental nº 96/2007, no que diz respeito ao processo de incineração. De acordo com o diploma PCIP, a

incineração de resíduos realizada nesta instalação inclui-se na categoria 5.3 do Anexo I do referido diploma (instalações de eliminação de resíduos não perigosos, com capacidade superior a 50 t por dia).

As emissões de poluentes para a atmosfera têm que respeitar os VLE que se encontram definidos na licença ambiental da Central de Valorização Energética.

Os dados relativos aos poluentes emitidos pela Central, utilizados neste trabalho, foram obtidos a partir dos relatórios elaborados pela LIPOR, que reúnem os elementos demonstrativos do cumprimento da licença ambiental, incluindo os resultados da monitorização.

4.1.1. MONITORIZAÇÃO EM CONTÍNUO

Os poluentes monitorizados em contínuo (ao longo de 24 horas) são as partículas, HCl, COT, HF, SO₂, NO_x, CO e NH₃.

Antes da entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 85/2005 os VLE para estes poluentes eram definidos pela Directiva Europeia n.º 89/369/CEE (que mais tarde foi revogada pela Directiva n.º 2000/76/CE, que foi transposta pelo Decreto-Lei n.º 85/2005) e consideravam-se cumpridos se as concentrações médias diárias não excedessem em mais de 30% os limites legais (regime de tolerância). Os casos de ultrapassagem dos limites legais eram comunicados a uma Comissão de Acompanhamento, da qual faziam parte o Instituto dos Resíduos, o Instituto do Ambiente e o Instituto de Conservação da Natureza, entre outras entidades.

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 85/2005, os VLE para os poluentes monitorizados em contínuo consideram-se cumpridos se nenhum dos valores médios diários ultrapassar qualquer dos VLE estabelecidos. O período de integração base das concentrações emitidas de cada poluente é de 30 minutos. Para o parâmetro CO, além do período de integração base de 30 minutos, é considerado um período de integração de 10 minutos. No cálculo dos valores médios são apenas considerados os períodos de funcionamento efectivo da instalação, ou seja, todos aqueles em que se verificam emissões

de gases para a atmosfera como consequência de actividades relacionadas com o processo em causa, incluindo as fases de arranque e de paragem dos fornos. Nas situações de paragem são considerados válidos os valores médios a intervalos de 10 e de 30 minutos, calculados enquanto decorrer a combustão de resíduos na câmara de combustão. Os valores médios diários devem ser determinados a partir dos valores médios validados, conforme o que foi referido anteriormente. Para a obtenção de um valor médio diário, quando ocorra uma situação de mau funcionamento ou de manutenção do sistema de monitorização em contínuo, não podem ser excluídos mais de cinco valores médios a intervalos de 30 minutos, num mesmo dia. Também não podem ser excluídos mais de 10 valores médios diários por ano devido ao mau funcionamento do sistema de monitorização em contínuo. Os VLE podem, assim, ser excepcionalmente ultrapassados, abrangidos pelos regimes de tolerância, nos períodos de avaria ou mau funcionamento do sistema de tratamento de efluentes gasosos. Estes casos devem ser obrigatoriamente comunicados à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) competente, num prazo de 48 horas, assim como todas as outras situações em que a monitorização em contínuo indique que foram excedidos os VLE fixados. Em caso de avaria do sistema de tratamento do efluente gasoso que provoque emissões para a atmosfera que excedam os VLE estabelecidos, os seguintes aspectos devem ser observados:

- A operação de incineração de resíduos deve ser reduzida ou suspensa, logo que praticável, e até que possa ser reatado o funcionamento normal;
- Não pode, em caso algum, continuar a funcionar mais de quatro horas ininterruptas;
- A acumulação de períodos de funcionamento nessas condições não pode exceder sessenta horas por ano;

A comunicação dos resultados da monitorização em contínuo é efectuada à APA, trimestralmente (e até 30 dias após cada trimestre).

Na Tabela 3 encontram-se os valores - limite de emissão para as médias diárias dos poluentes monitorizados em contínuo.

Tabela 3 - Valores - limite de emissão para as médias diárias de partículas totais, HCl, COT, HF, SO₂, NO_x, CO e NH₃, monitorizados em contínuo.

Poluente	VLE para as médias diárias (mg/Nm ³)		
	Até 2005	Após 2005	Após 2008
Partículas totais	10	10	10
Ácido Clorídrico (HCl)	20	10	8
Substâncias orgânicas em forma gasosa e de vapor, expressas em carbono orgânico total (COT)	10	10	10
Ácido Fluorídrico (HF)	1	1	1
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	60	50	40
Óxidos de azoto (NO _x), ou a soma das concentrações de monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO ₂), expressos como dióxido de azoto	250	200	180
Monóxido de Carbono (CO)	50	50	30
Amoníaco (NH ₃)	10	10	10

Como se pode ver na Tabela 3 alguns VLE sofreram alterações, no sentido da sua diminuição, devido à entrada em vigor do Decreto-Lei n° 85/2005 e, posteriormente, da licença ambiental n° 96/2007, como é o caso dos VLE para as médias diárias de HCl, SO₂, NO_x e CO. Para as partículas, COT, HF e NH₃ os VLE para as médias diárias não sofreram alterações entre 2000 e 2009.

Os VLE são expressos em mg/Nm³, o que significa que as concentrações dos poluentes necessitam de ser corrigidos para as condições normais de pressão e temperatura (PTN): 273K (0°C), pressão 101,3 kPa (1 atm; 1,10325 bar), 11% de oxigénio, gás seco. As condições reais de operação são 7,5% de oxigénio (na câmara de combustão), temperatura de vapor de 395°C e uma pressão de 43 bar (na caldeira).

Para a apresentação dos dados relativos aos poluentes monitorizados em contínuo, na impossibilidade de trabalhar com as concentrações médias diárias, utilizaram-se as concentrações máximas das médias diárias registadas anualmente, comparando-se com o respectivo VLE (estes valores já se encontram corrigidos para as condições PTN).

A Figura 13 apresenta as concentrações máximas das médias diárias para as partículas, registadas entre 2000 e 2009, e o VLE para as médias diárias. Como se pode ver, mesmo o valor máximo das médias diárias foi inferior ao VLE para as médias diárias, com a excepção de um caso em 2006, na linha nº 2 de tratamento de resíduos. Esta situação esteve relacionada com um problema no filtro de mangas, que obrigou à substituição de algumas mangas filtrantes, em Maio desse ano. Assim, se mesmo os valores máximos das médias diárias são genericamente inferiores ao limite admissível para as médias diárias, pode considerar-se que não houve ultrapassagem dos valores - limite.

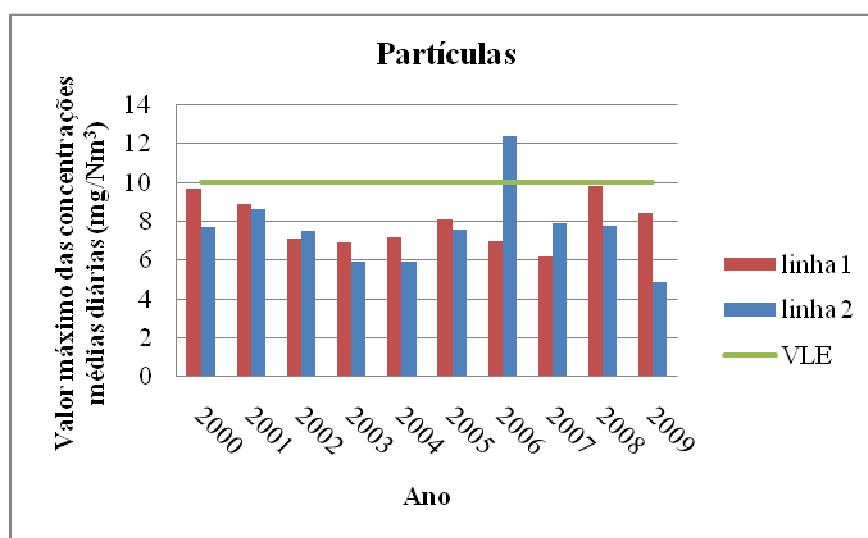


Figura 13 - Concentrações máximas das médias diárias para as partículas, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

A Figura 14 apresenta as concentrações máximas das médias diárias para o HCl e o VLE para as médias diárias. Em 2006 o VLE foi alterado para 10 mg/Nm³ e em 2008 foi reduzido para 8 mg/Nm³. Os valores máximos das médias diárias em 2000 e 2001 foram superiores ao VLE para as médias diárias, o que, não correspondendo a incumprimento, pode indicar a necessidade de correcções. De facto em 2001 ocorreram diversos entupimentos no fundo cónico dos reactores, devido à qualidade do óxido de cálcio (cal viva), que era utilizado no tratamento deste poluente, pois sucederam algumas situações de adulteração do reagente. Por isso, nesse ano foi realizada a limpeza interior completa dos reactores e em 2002 passou a utilizar-se cal hidratada, que apresentava mais garantias de qualidade; esta intervenção explica a diminuição das emissões de HCl. Em 2008 o valor máximo das médias diárias, na linha nº 2 de tratamento de resíduos, é referente ao mês de

Fevereiro, período anterior à entrada em vigor da licença ambiental nº 96/2007, durante o qual o VLE para as médias diárias ainda era 10 mg/Nm³. Assim, não correspondeu a uma situação de incumprimento dos limites legais. Considerando que mesmo os valores máximos das médias diárias são, de um modo geral inferiores ao limite admissível para as médias diárias, pode dizer-se que não houve ultrapassagem dos valores - limite.

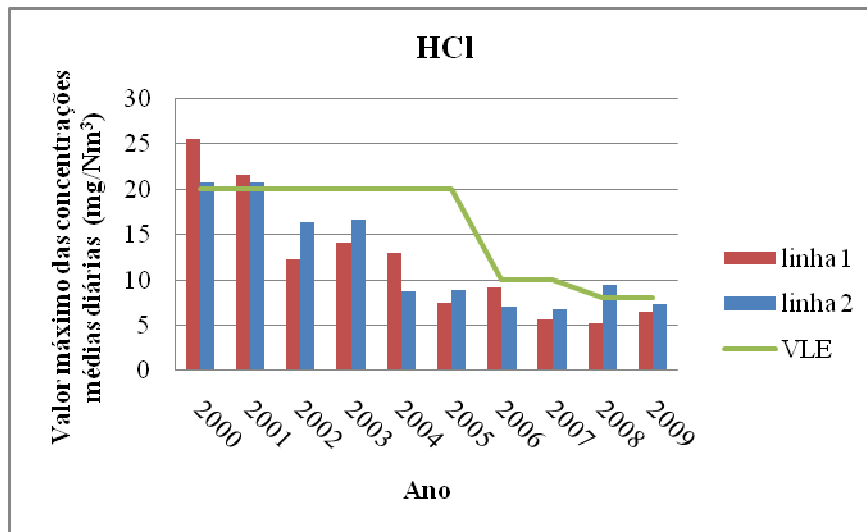


Figura 14 - Concentrações máximas das médias diárias para o HCl, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

A Figura 15 apresenta as concentrações máximas das médias diárias de COT, medidas anualmente, e o VLE para as médias diárias. Como se pode verificar, os valores máximos das médias diárias são inferiores ao VLE para as médias diárias, em todos os anos, devido às excelentes condições de combustão dos resíduos. Assim, se mesmo os valores máximos das médias diárias são inferiores ao limite admissível para as médias diárias, pode considerar-se que não houve ultrapassagem dos valores - limite.

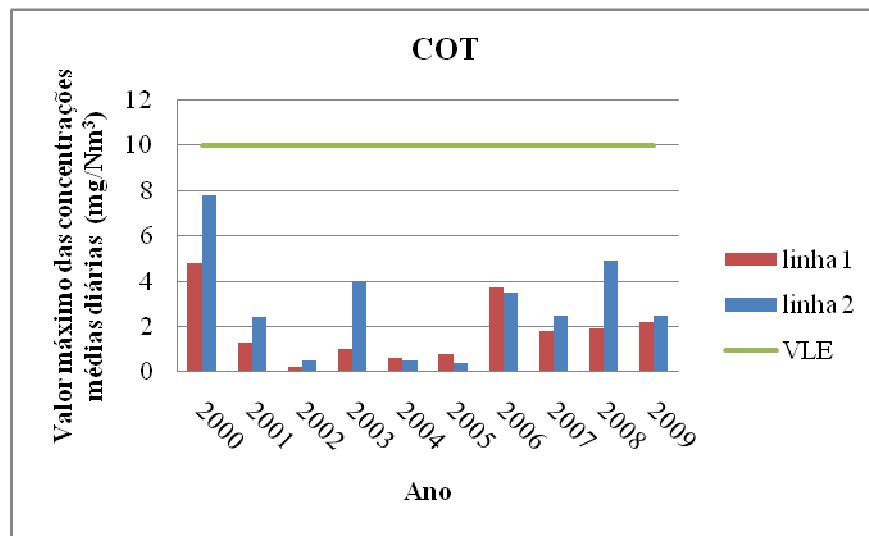


Figura 15 - Concentrações máximas das médias diárias para o COT, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

A Figura 16 apresenta as concentrações máximas das médias diárias para o HF. Os valores máximos das médias diárias são inferiores ao VLE para as médias diárias, em todos os anos, devido à composição dos resíduos, que têm poucos compostos de flúor, levando a baixas emissões de HF. Assim, se mesmo os valores máximos das médias diárias são inferiores ao limite admissível para as médias diárias, pode considerar-se que não houve ultrapassagem dos valores - limite.

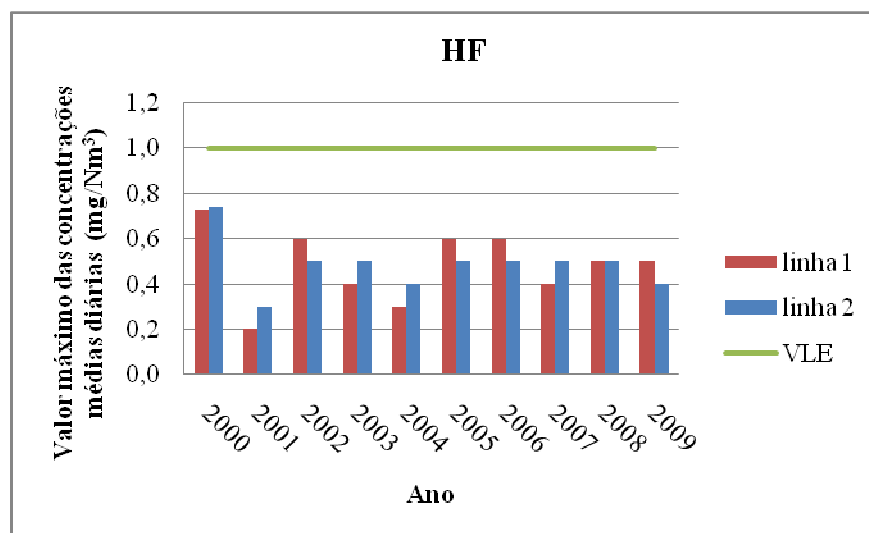


Figura 16 - Concentrações máximas das médias diárias para o HF, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

Na Figura 17 estão representadas as concentrações máximas das médias diárias de SO₂ e o VLE para as médias diárias. Tal como se pode ver, os valores máximos das médias diárias são bastante inferiores ao VLE para as médias diárias, devido às boas condições de tratamento deste poluente. Mesmo comparando com os valores máximos diários houve cumprimento do VLE para as médias diárias, pelo que houve obediência de lei. Em 2001 as concentrações emitidas são mais elevadas, tal como se verificou para o HCl, o que se deveu à limpeza dos reactores, como já foi referido. Em 2002 passou a utilizar-se cal hidratada em vez de cal viva, por isso houve uma descida acentuada no que respeita às concentrações emitidas de SO₂, tal como aconteceu para o HCl.

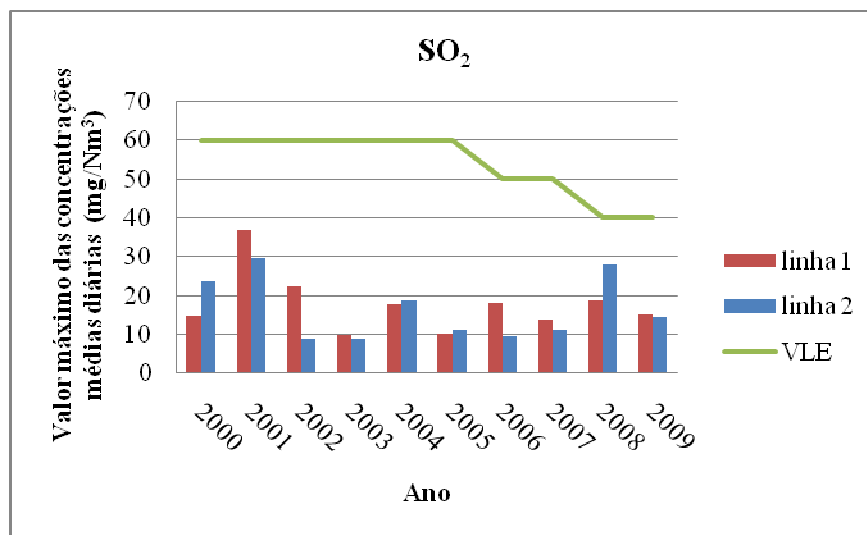


Figura 17 - Concentrações máximas das médias diárias para o SO₂, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

Na Figura 18 podem ver-se as concentrações máximas das médias diárias de NO_x e o VLE para as médias diárias. Mesmo comparando com os valores máximos diários, verifica-se que houve cumprimento do VLE para as médias diárias, em todos os anos. Assim, pode considerar-se que foram cumpridos os limites legais. Em 2006 há uma diminuição significativa das emissões, devido à diminuição do limite legal, mas voltam a aumentar em 2007, mantendo essa tendência de subida até 2009. É necessário existir um equilíbrio entre a utilização de reagentes para a redução de um poluente, que tem custos associados, e o cumprimento do VLE. Neste caso, utilizou-se menos reagente, as emissões de NO_x subiram, mas manteve-se alguma margem de segurança face ao VLE.

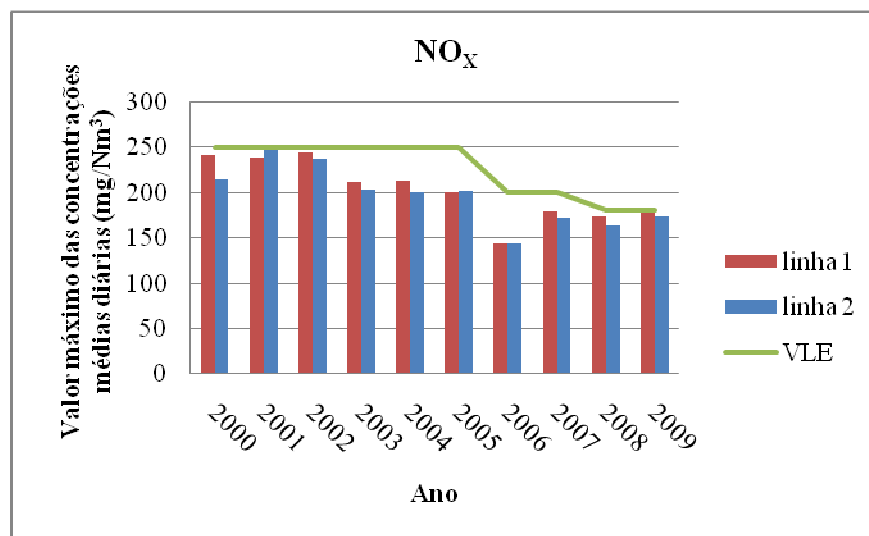


Figura 18 - Concentrações máximas das médias diárias para o NO_x, registradas anualmente e VLE para as médias diárias.

Os resíduos húmidos são difíceis de incinerar e podem levar a um aumento das emissões de CO. Torna-se necessário reduzir a carga das caldeiras, de forma a garantir que os resíduos não atinjam a parte final da grelha sem que a combustão esteja devidamente concluída. Nestas condições há uma redução da quantidade de resíduos incinerados, assim como da produção de energia eléctrica.

Através da Figura 19 pode verificar-se que nos primeiros anos de funcionamento da Central as emissões de CO são mais elevadas, pois havia pouca experiência de exploração e foram anos muito chuvosos, o que fez com que os resíduos apresentassem elevada humidade, dificultando a combustão. No entanto as emissões deste poluente diminuem a partir de 2002. Em 2006 foram instalados novos pré-aquecedores de ar, permitindo trabalhar com temperaturas mais elevadas de ar primário (ar que é injectado na zona inferior da grelha de combustão, sendo proveniente da fossa de recepção de resíduos), cerca de 200°C, e de ar secundário (ar que é injectado na parte superior da câmara de combustão, de forma a completar a queima dos resíduos e a limitar a altura de chama, sendo também proveniente da fossa de recepção), cerca de 135°C, na câmara de combustão. Anteriormente o ar secundário encontrava-se à temperatura ambiente. Esta alteração é benéfica sempre que ocorrem situações de resíduos húmidos, devido à chuva, durante o Inverno, permitindo um maior controlo das emissões de CO. Como se pode ver na Figura 19 mesmo os valores máximos das médias diárias são inferiores ao VLE para as

médias diárias (que foi alterado em 2008). Assim, se mesmo os valores máximos das médias diárias são inferiores ao limite admissível par as médias diárias, pode considerar-se que não houve ultrapassagem dos valores - limite.

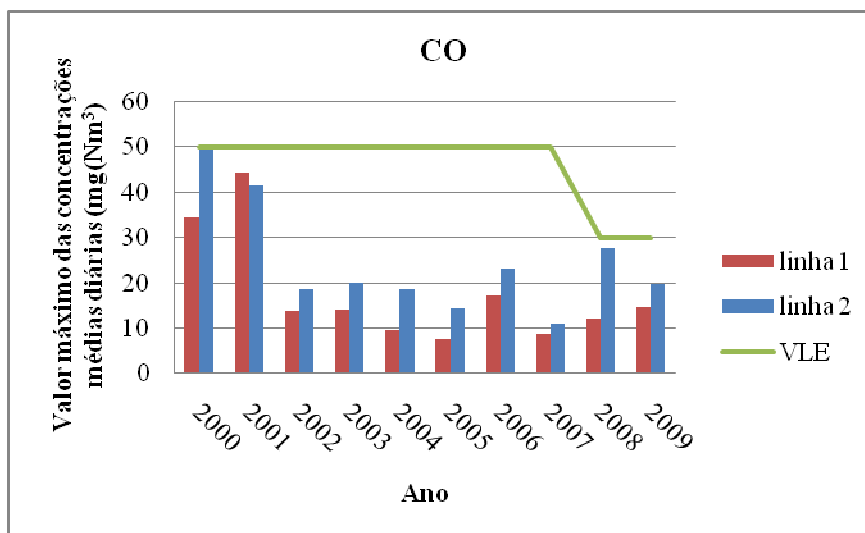


Figura 19 - Concentrações máximas das médias diárias para o CO, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

O VLE para o NH₃, só passou a existir quando a licença ambiental nº 96/2007 entrou em vigor. No entanto foi adoptado como VLE para as concentrações médias diárias o valor de 10 mg/Nm³, desde a entrada em funcionamento da Central. Como se pode ver pela Figura 20, entre 2005 e 2007 as concentrações máximas das médias diárias ultrapassaram 10 mg/Nm³ (embora este fosse apenas um valor indicativo, nessa altura). Os valores máximos apresentados para as duas linhas de tratamento, em 2008, registaram-se no mês de Janeiro, período anterior à entrada em vigor da licença ambiental nº 96/2007, durante o qual o parâmetro ainda não estava sujeito a qualquer valor limite imposto por lei. Assim, não corresponde a uma situação de incumprimento dos limites legais. A partir de 2005 foi necessário reduzir os valores de emissão de NO_x, devido a imposições legais. Assim, para reduzir as emissões de NO_x aumentou-se a quantidade de reagente injectado, o que por sua vez levou a um aumento das emissões de NH₃.



Figura 20 - Concentrações máximas das médias diárias para o NH₃, registadas anualmente e VLE para as médias diárias.

Relativamente aos poluentes monitorizados em contínuo, uma análise mais rigorosa implicaria a utilização das concentrações médias diárias. No entanto, mesmo considerando o valor máximo das médias diárias pode concluir-se que os limites legais impostos foram cumpridos.

4.1.2. MONITORIZAÇÃO PONTUAL

Os poluentes monitorizados pontualmente são os metais pesados e as dioxinas e furanos. Para os metais pesados são analisadas as concentrações emitidas antes e após 2005. Esta distinção está relacionada com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 85/2005, que alterou não só os VLE para os períodos de amostragem fixados, mas também a forma como estes poluentes são avaliados, ou seja, passaram a ser agrupados de maneira diferente para se efectuar a sua medição. Para estes poluentes consideram-se cumpridos os VLE para a atmosfera sempre que nenhum dos valores médios, ao longo do período de amostragem fixado, ultrapasse os VLE estabelecidos. Os resultados da monitorização também são comunicados à APA, logo que estejam disponíveis, até um máximo de 60 dias após a sua realização.

A Tabela 4 apresenta os VLE para o período de amostragem fixado e as respectivas frequências de amostragem, relativos a metais pesados, dioxinas e furanos, até 2005.

Tabela 4 - VLE para o período de amostragem fixado, relativos a metais pesados, dioxinas e furanos, até 2005.

Poluente	VLE Até 2005	Frequência e período de amostragem
Chumbo (Pb)	total 1 mg/Nm ³	Uma amostragem trimestral, entre 30 minutos e 8 horas.
Crómio (Cr)		
Cobre (Cu)		
Manganês (Mn)		
Níquel (Ni)	total 0,5 mg/Nm ³	Uma amostragem trimestral, entre 30 minutos e 8 horas.
Arsénio (As)		
Cádmio (Cd)	total 0,1 mg/Nm ³	Uma amostragem trimestral, entre 30 minutos e 8 horas.
Mercúrio (Hg)		
Dioxinas e furanos	0,1 ng TEQ ² /Nm ³	Uma amostragem anual, entre 6 e 8 horas.

Embora para o mercúrio os requisitos legais apenas exigissem uma monitorização pontual, foi instalado um analisador em contínuo, a partir do momento em que tal tecnologia passou a estar disponível.

² TEQ – Toxic Equivalent (Equivalente Tóxico): indica a toxicidade de uma mistura de várias dioxinas. É obtido fazendo uma soma ponderada dos vários grupos de dioxinas, em função da sua toxicidade. Por exemplo, o grupo das 2,3,7,8 – tetraclorodibenzodioxinas é considerado o mais perigoso, logo tem um peso de 1; o grupo das 1,2,3,7,8 – pentaclorodibenzodioxinas é duas vezes menos tóxico, tendo peso de 0,5. A concentração total de dioxinas nos gases é obtida multiplicando a concentração de cada grupo pelo respectivo peso, somando-se depois os valores obtidos para todos os grupos. (Almeida et al, 1999)

Na Tabela 5 encontram-se os VLE para o período de amostragem fixado e as respectivas frequências de amostragem, relativos a metais pesados, dioxinas e furanos, após 2005.

Tabela 5 - VLE para o período de amostragem fixado e frequências de amostragem, relativos a metais pesados, dioxinas e furanos, após 2005.

Poluente	VLE Após 2005	Frequência e período de amostragem
Cádmio e seus compostos (Cd)	total 0,05 mg/Nm ³	Duas amostragens anuais, entre 30 minutos e 8 horas, com intervalo de dois meses entre medições.
Tálio e seus compostos (Tl)		
Antimônio e seus compostos (Sb)	total 0,5 mg/Nm ³	Duas amostragens anuais, entre 30 minutos e 8 horas.
Arsênio e seus compostos (As)		
Chumbo e seus compostos (Pb)		
Crômio e seus compostos (Cr)		
Cobalto e seus compostos (Co)		
Cobre e seus compostos (Cu)		
Manganês e seus compostos (Mn)		
Níquel e seus compostos (Ni)		
Vanádio e seus compostos (V)		
Mercúrio e seus compostos (Hg)		
Dioxinas e furanos	0,1 ng TEQ/ Nm ³	Duas amostragens anuais, entre 6 e 8 horas.

Também no caso das concentrações de poluentes medidas pontualmente é necessário fazer a sua correcção para as condições PTN.

Para a apresentação dos dados relativos aos poluentes monitorizados pontualmente, utilizaram-se as concentrações médias octo-horárias (8 horas), relativas às amostragens anuais (em cada figura, cada barra corresponde a uma amostragem), para cada poluente ou conjunto de poluentes e para cada linha de tratamento de resíduos. Os valores utilizados já se encontram corrigidos para as condições PTN. Por questões de legibilidade não é apresentada a linha relativa ao VLE, uma vez que as concentrações medidas são muito inferiores ao limite legal. No entanto seu valor é indicado em cada figura.

As Figuras 21 e 22 são referentes às emissões de dioxinas e furanos entre 2000 e 2009, nas linhas nº 1 e nº 2 de tratamento de resíduos, respectivamente. As concentrações médias octo-horárias registadas nas amostragens realizadas anualmente são muito inferiores ao VLE. Os valores mais elevados registaram-se nos primeiros anos de funcionamento da Central.

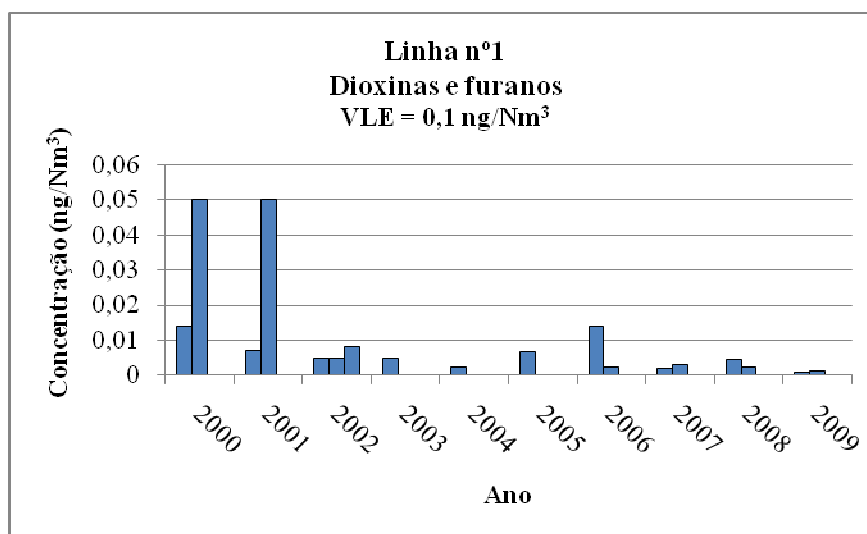


Figura 21 - Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para as dioxinas e furanos (amostragens trimestrais ou duas amostragens anuais).

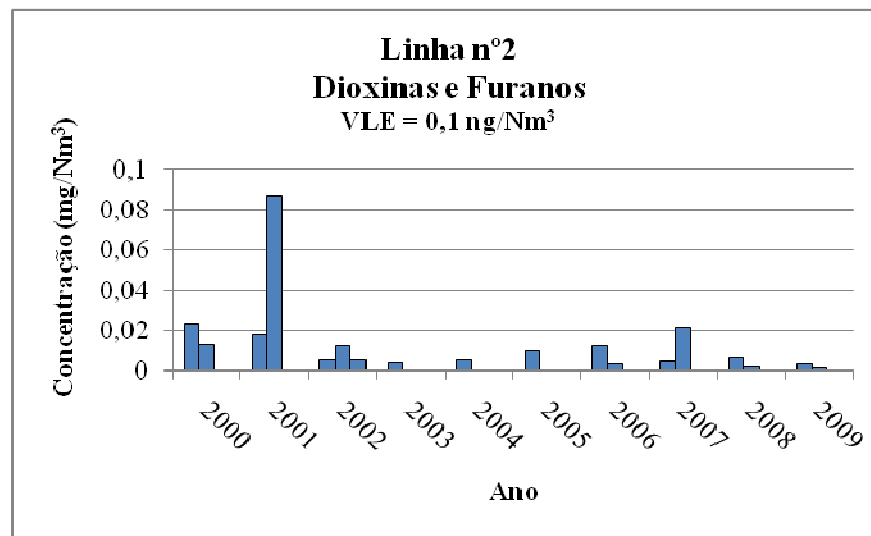


Figura 22 - Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para as dioxinas e furanos (amostragens trimestrais ou duas amostragens anuais).

Até 2005 a frequência de amostragem para as dioxinas e furanos era trimestral, no entanto nem todas as amostragens foram efectuadas.

As Figuras 23 e 24 são referentes às emissões de chumbo, crómio, cobre e manganês, entre 2000 e 2005, nas linhas nº 1 e nº 2 de tratamento de resíduos, respectivamente. As concentrações médias octo-horárias determinadas nas amostragens anuais são muito inferiores ao VLE. Em 2000 registaram-se os valores mais elevados para as duas linhas.

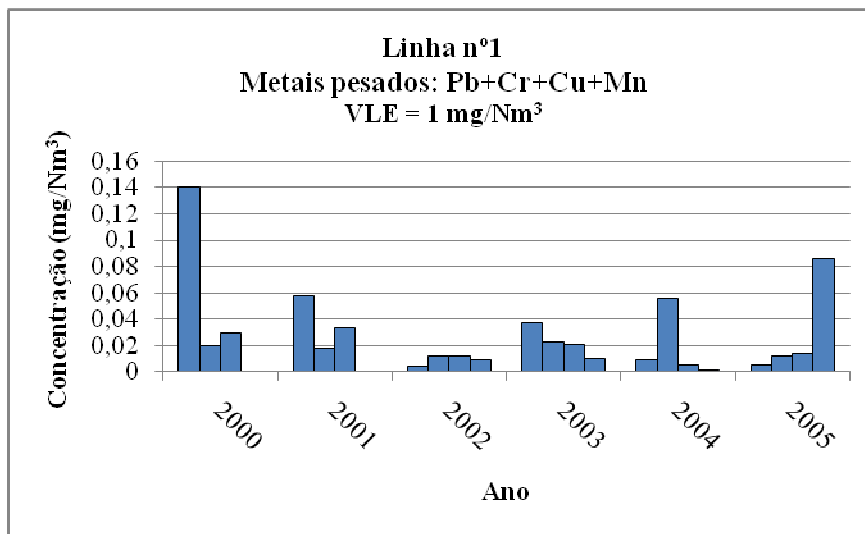


Figura 23 - Linha n° 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Pb, Cr, Cu e Mn (amostragens trimestrais).

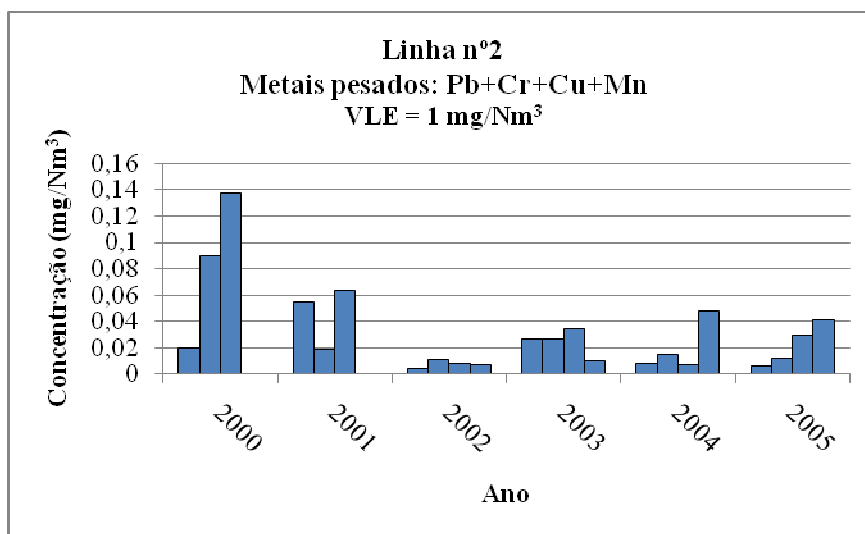


Figura 24 - Linha n° 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Pb, Cr, Cu e Mn (amostragens trimestrais).

As Figuras 25 e 26 são referentes às emissões de níquel e arsénio, até 2005, nas linhas n° 1 e n° 2 de tratamento de resíduos, respectivamente. As concentrações médias octo-horárias registadas nas amostragens anuais são muito inferiores ao VLE. Em 2000 e 2001 registaram-se os valores mais elevados para as duas linhas de tratamento.

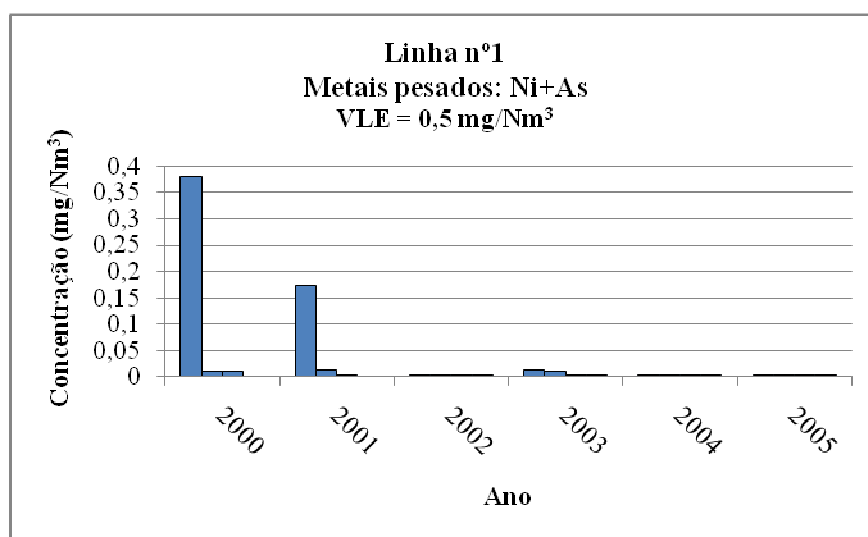


Figura 25 - Linha n° 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Ni e As (amostragens trimestrais).

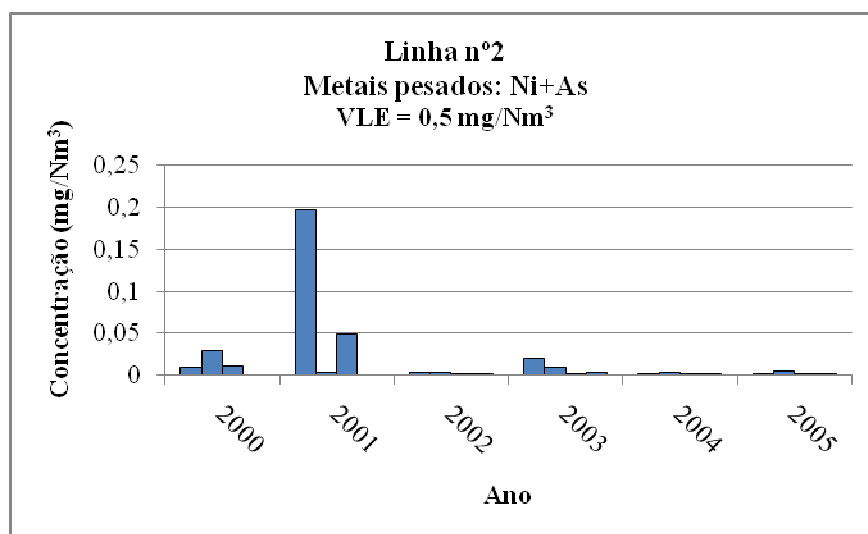


Figura 26 - Linha n° 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Ni e As (amostragens trimestrais).

A partir de 2006 os metais pesados cujas emissões foram representadas nas Figuras 23, 24, 25 e 26 passaram a ser analisados em conjunto, sendo incluídos novos metais pesados: o antimónio, o cobalto e o vanádio. As Figuras 27 e 28 apresentam as concentrações médias octo-horárias deste conjunto de poluentes, registadas nas amostragens anuais, para as linhas n°1 e n°2 de tratamento, respectivamente. Como se pode verificar as concentrações médias octo-horárias são muito inferiores ao VLE.

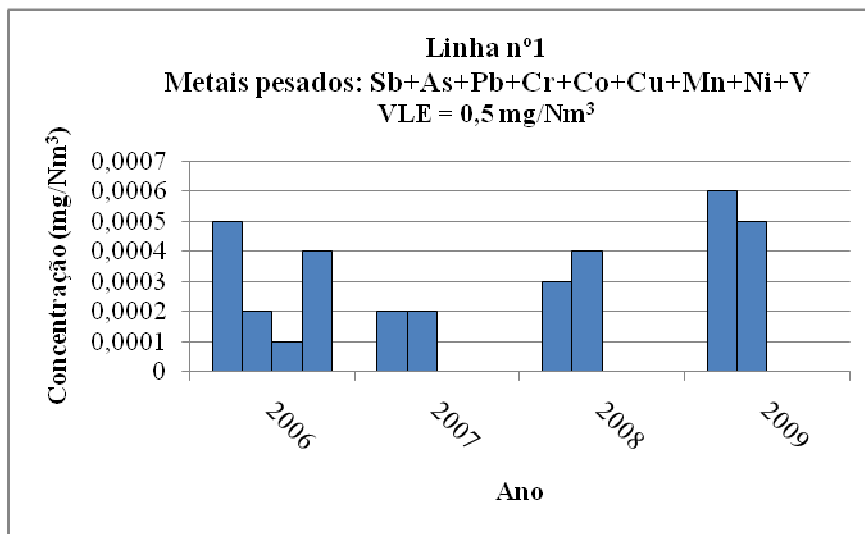


Figura 27 - Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, e V (duas amostragens anuais).

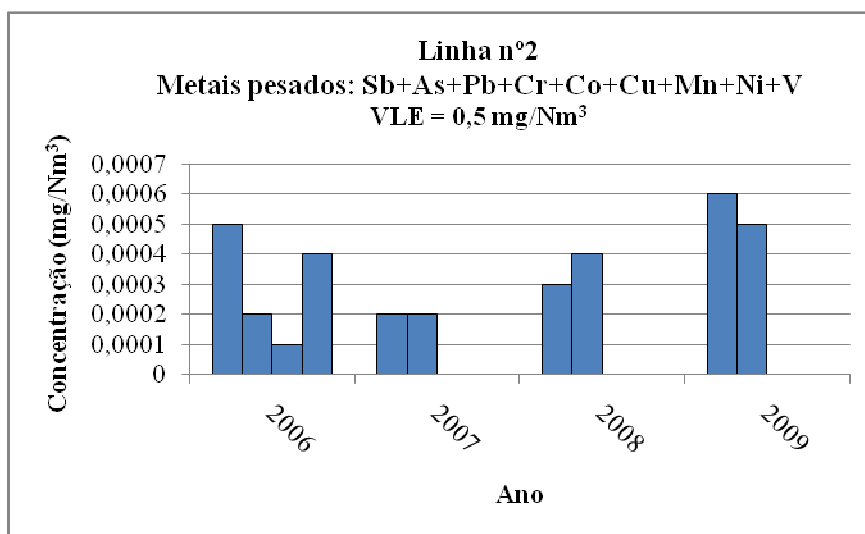


Figura 28 - Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V (duas amostragens anuais).

Até 2005 era medida a concentração total de cádmio e o mercúrio. Nas Figuras 29 e 30 encontram-se as concentrações médias octo-horárias deste conjunto de poluentes, registadas nas amostragens anuais, para as linhas nº 1 e nº 2 de tratamento, respectivamente. Como se pode ver as concentrações médias octo-horárias são muito inferiores ao VLE.

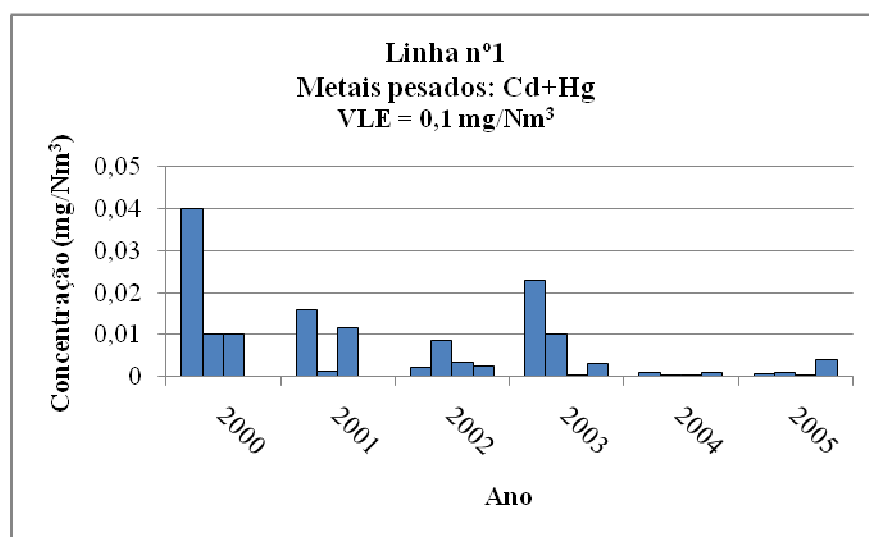


Figura 29 - Linha n° 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Hg (amostragens trimestrais).

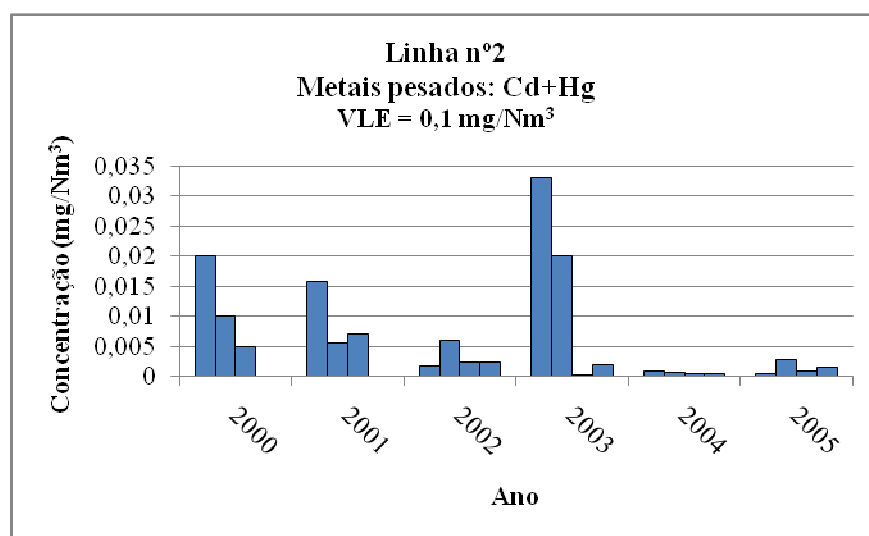


Figura 30 - Linha n° 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Hg (amostragens trimestrais).

Devido a imposições legais, em 2006 o mercúrio passou a ser monitorizado como um parâmetro independente. As concentrações médias octo-horárias deste poluente, registadas nas amostragens anuais estão representadas nas Figuras 31 e 32, que se referem às linhas n°1 e n° 2 de tratamento, respectivamente. Como se pode ver, as concentrações médias octo-horárias são muito inferiores ao VLE. Em 2006 registaram-se os valores mais elevados nas duas linhas de tratamento.

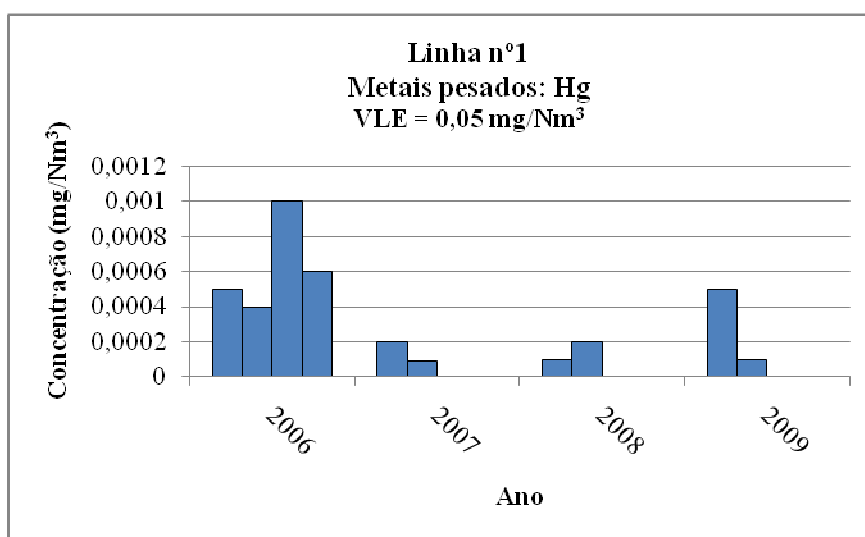


Figura 31 - Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Hg (amostragens pontuais).

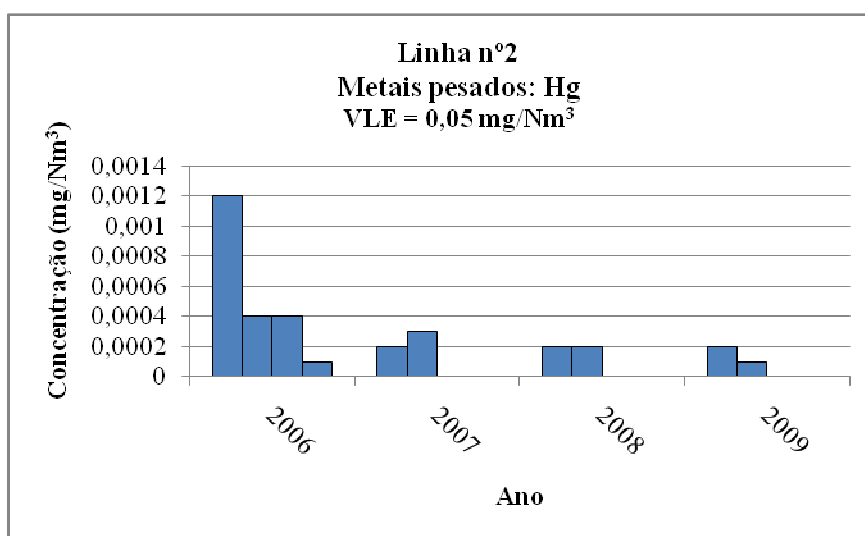


Figura 32 - Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Hg (amostragens pontuais).

De acordo com a legislação, a partir de 2006 passou a ser medida a concentração total de cádmio e tálio. As concentrações médias octo-horárias deste conjunto de poluentes, registadas nas amostragens anuais estão representadas nas Figuras 33 e 34, que se referem às linhas nº1 e nº 2 de tratamento, respectivamente. Como se pode ver, as concentrações médias octo-horárias são muito inferiores ao VLE. Em 2009 registaram-se os valores mais

elevados na linha nº 1, enquanto que na linha nº 2 os valores mais elevados se registaram em 2006.

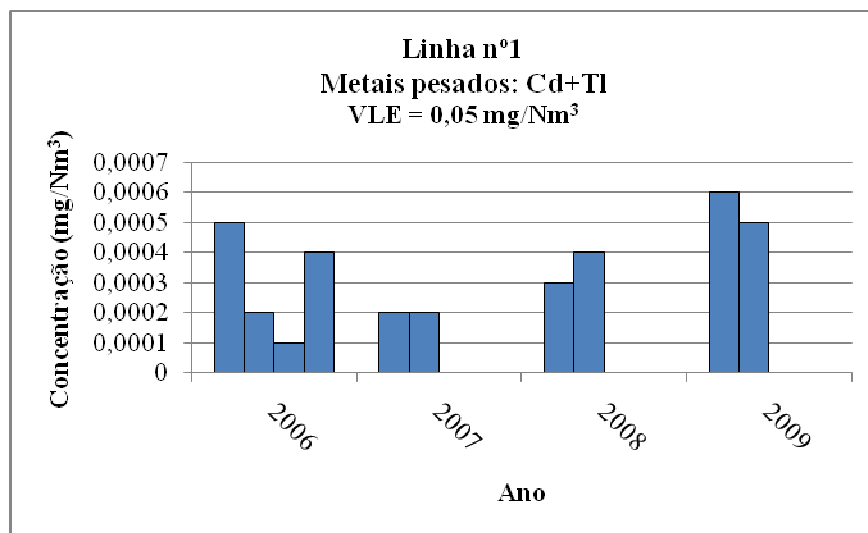


Figura 33 - Linha nº 1 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Tl (duas amostragens anuais).

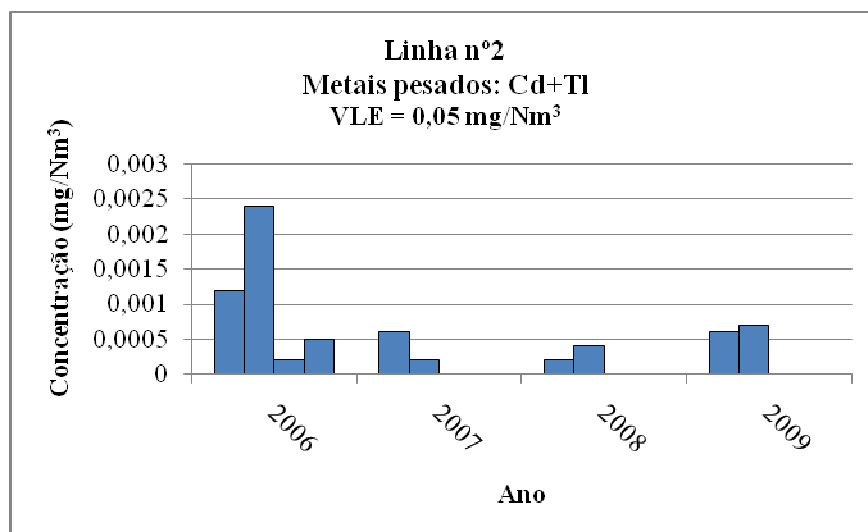


Figura 34 - Linha nº 2 de tratamento de resíduos: concentrações médias octo-horárias para Cd e Tl (duas amostragens anuais).

Verifica-se que as emissões de alguns destes poluentes, como por exemplo as dioxinas e furanos, o níquel e arsénio, são mais elevadas nos primeiros anos de funcionamento da Central, que correspondem a uma fase de optimização do processo, uma vez que ainda havia pouca experiência de exploração. Esta situação também se deve ao tipo de resíduos que eram incinerados, alguns deles provenientes de indústrias, os quais poderiam ter outro tratamento mais adequado, e outros que poderiam ser reciclados. Mais tarde foram impostas algumas restrições quanto aos resíduos recolhidos nos municípios. Assim, por um lado, foi adquirida mais experiência de exploração, o que contribuiu para um melhor controlo do processo de incineração, e por outro lado houve alguma mudança no tipo de resíduos incinerados na Central, o que se reflectiu nas suas emissões gasosas, com a diminuição de alguns destes poluentes emitidos.

Conclui-se que relativamente aos poluentes monitorizados pontualmente foram sempre cumpridos os VLE para as médias octo-horárias.

4.2. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE GASES

Para calcular a eficiência do sistema de tratamento de gases é necessário saber a concentração de cada poluente antes e após o sistema de tratamento. Obtiveram-se valores de referência para as partículas, SO₂, HF, HCl, alguns metais pesados, dioxinas e furanos. Estes valores são relativos a uma medição pontual, efectuada na linha 1 de tratamento de resíduos, em 2004, por uma entidade externa. A eficiência é calculada através da expressão (1):

$$Eficiência = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Em que C_i corresponde à concentração inicial, medida antes da entrada dos gases no sistema de tratamento, e C_f é a concentração final, medida na chaminé.

Na Tabela 6 encontram-se os dados relativos à medição pontual e o respectivo valor da eficiência.

Tabela 6 - Concentração dos poluentes (mg/Nm³) antes e após o sistema de tratamento de gases e eficiência do tratamento.

Poluente	C_i	C_f	Eficiência (%)
Partículas	6740	4,5	99,9
SO ₂	110	24,6	77,6
HF	3,6	0,4	88,9
HCl	838	7,3	99,1
Hg	0,05	0,005	90,0
Cd+Tl	0,6	0,01	98,3
Pb+Cu+Mn+Cr+As+Sb+Co+V+Sn+Ni+Tl	20,6	0,02	99,9
Dioxinas e furanos*	4,0	0,033	99,2

* ng/Nm³ para as dioxinas e furanos

Em geral, a eficiência de remoção dos poluentes referidos na Tabela 6 é muito elevada, existindo alguns valores muito próximos de 100%, como é caso das partículas, do HCl, do conjunto de metais pesados, do qual fazem parte o chumbo e o cobre, e das dioxinas e furanos. A eficiência de remoção do SO₂ é a mais baixa: 77,6%. Pode dizer-se que o sistema de tratamento de gases é muito eficiente na remoção dos poluentes resultantes do processo de valorização energética de resíduos. Poderia ter algum interesse realizar mais medições da concentração destes poluentes a montante e a jusante do sistema de tratamento de gases, de forma a avaliar a evolução da eficiência ao longo do tempo.

4.3. CÁLCULO DE FACTORES DE EMISSÃO

Foram calculados os factores de emissão para cada poluente, entre 2007 e 2009. Os dados utilizados para efectuar estes cálculos foram retirados do formulário *Pollutant Release and Transfer Register* (PRTR) (Registo de Emissões e Transferências de Poluentes), cujo primeiro ano de referência é 2007. A nível comunitário, o Protocolo PRTR foi aprovado através da Decisão 2006/61/CE, de 2 de Dezembro de 2005 (Decisão PRTR). A sua implementação foi definida no Regulamento (CE) n.º 166/2006, de 18 de Janeiro de 2006 (Regulamento PRTR). Na ordem jurídica interna, o Decreto-Lei n.º 127/2008 de 21 de Julho (Diploma PRTR) transpõe o referido regulamento. O PRTR é uma ferramenta eficaz

em termos económicos para incentivar a melhoria do desempenho ambiental, para facilitar o acesso do público à informação sobre as emissões e transferências de poluentes e resíduos (APA, 2010). A Central de Valorização Energética é assim obrigada ao preenchimento do formulário PRTR. Antes de 2007 as emissões dos poluentes também eram reportadas, mas noutros moldes, pois existia o *European Pollutant Emission Register* (EPER) (Registo Europeu de Emissões Poluentes). O EPER foi substituído pelo PRTR.

Na Tabela 7 encontram-se as massas de cada poluente emitidas em cada ano, assim como a respectiva massa de resíduos tratada.

Tabela 7 - Massa de poluente emitida e massa de resíduos tratada entre 2007 e 2009.

Poluente	kg de poluente emitido/ano		
	2007	2008	2009
NH ₃	7380	7503	11778
NO _x	286000	222898	264165
SO ₂	8570	9398	9482
COT	614	973	1763
HCl	8630	6562	6830
HF	433	145	325
Partículas	4140	2532	2563
CO	8559	9736	16220
As	0,61	0,57	0,93
Cd	0,42	0,25	0,38
Cr	2,98	2,72	4,30
Cu	7,57	1,86	5,75
Hg	0,40	0,28	0,43
Ni	3,07	2,90	5,72
Pb	12,10	4,82	4,35
Dioxinas e furanos	9,60E-06	1,20E-05	3,10E-06
Resíduos tratados (t/ano)	414649	385047	394987

A massa de resíduos tratados em 2008 é menor do que em 2007, mas volta a aumentar em 2009. Consequentemente, de um modo geral, a massa de cada poluente emitido também desce em 2008 e sobe em 2009.

Na Tabela 8 encontram-se os factores de emissão estimados para cada poluente a partir da expressão (2):

$$\text{Factor de emissão} = \frac{\text{massa poluente emitida}}{\text{massa resíduos queimados}} \quad (2)$$

Tabela 8 - Factores de emissão estimados para cada poluente.

Poluente	Factores de emissão (g/t)		
	2007	2008	2009
NH ₃	17,80	19,49	29,82
NO _x	689,74	578,89	668,79
SO ₂	20,67	24,41	24,01
COT	1,48	2,53	4,46
HCl	20,81	17,04	17,29
HF	1,04	0,38	0,82
Partículas	9,98	6,58	6,49
CO	20,64	25,29	41,06
As	0,0015	0,0015	0,0024
Cd	0,0010	0,0006	0,0010
Cr	0,0072	0,0071	0,0109
Cu	0,0183	0,0048	0,0146
Hg	0,0010	0,0007	0,0011
Ni	0,0074	0,0075	0,0145
Pb	0,0292	0,0125	0,0110
Dioxinas e furanos*	0,0232	0,0312	0,0078

*(µg/t) para dioxinas e furanos

Como se pode ver na Tabela 8 as dioxinas e furanos são os poluentes que apresentam os factores de emissão mais baixos, na ordem de 10^{-8} a 10^{-9} , seguidos dos metais pesados. O NO_x é o poluente que apresenta os factores de emissão mais elevados. O factor de emissão para o arsénio mantém-se constante em 2007 e 2008. Verifica-se uma situação semelhante para as partículas, em 2008 e 2009. Em geral, os factores de emissão apresentam uma tendência de descida em 2008 e aumentam em 2009, em consequência da quantidade de resíduos queimados, que diminui em 2008 e aumenta em 2009.

Os valores estimados foram comparados com alguns factores de emissão publicados para a incineração de RSU. Estes factores são provenientes de diferentes fontes e têm em conta vários tipos de instalações de incineração de RSU e de tecnologias de controlo dos poluentes. Foram procurados factores de emissão relativos à incineração de RSU na Europa e que tivessem em consideração tecnologias de controlo de poluentes semelhantes às existentes na Central da LIPOR. Na Tabela 9 é feita a comparação entre os factores de emissão estimados e publicados. Para os factores estimados foi definida uma gama de valores, tendo em conta os valores expressos na Tabela 8 para os diferentes anos considerados.

Tabela 9 - Comparação dos factores de emissão estimados e publicados (g/t).

Poluente	Estimados	Publicados		
		Valor	Tecnologia/dispositivo de remoção considerado	Fonte
NO _x	580 – 690	724	Com base nas medições efectuadas nas centrais de incineração de RSU existentes em Portugal	APA, 2010
		1000	Remoção de partículas e HCl	IPCC, 2010
		2200	Atomizador e filtro de mangas	EEA, 2007
SO ₂	20 – 25	22	Com base nas medições efectuadas nas centrais de incineração de RSU existentes em Portugal	APA, 2010
		400	Remoção de gases ácidos	EEA, 2007
HCl	17 – 21	500	Remoção de gases ácidos	EEA, 2007
		30	Atomizador e filtro de mangas	EEA, 2007
Partículas	6 – 10	10	Atomizador e filtro de mangas	EEA, 2007
CO	20 – 40	36	Com base nas medições efectuadas nas centrais de incineração de RSU existentes em Portugal	APA, 2010
		100	Atomizador e filtro de mangas	EEA, 2007
As	0,0015 – 0,0025	0,01	-	EEA, 2009
Cd	0,0006 – 0,0010	0,1	Remoção de partículas e gases ácidos	EEA, 2009
		0,01	Atomizador e filtro de mangas	EEA, 2007
Cr	0,0070 – 0,0110	0,185	-	EEA, 2009
Cu	0,0045 – 0,0185	0,093	-	EEA, 2009
Hg	0,0007 – 0,0010	1,1	Remoção de partículas e gases ácidos	EEA, 2009
		0,1	Atomizador (com injeção de carvão activado) e filtro de mangas	EEA, 2007
Ni	0,0075 – 0,145	0,12	-	EEA, 2009
Pb	0,0110 – 0,0290	0,8	Remoção de partículas e gases ácidos	EEA, 2009
		0,5	Atomizador e filtro de mangas	EEA, 2007
Dioxinas e furanos*	0,0080 – 0,0230	0,5	Remoção de partículas e HCl	IPCC, 2010

*(µg/t) para dioxinas e furanos

Através da análise da Tabela 9 pode concluir-se que os factores de emissão estimados para a Central de Valorização energética da LIPOR são semelhantes ou inferiores aos publicados na literatura, o que permite dizer que a Central opera em condições de segurança.

5. CONCLUSÃO

A legislação relativa às emissões de poluentes do processo de incineração é restritiva e evolutiva pois, em relação à Central de Valorização Energética da LIPOR, verificam-se alterações dos VLE para as médias diárias com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 85/2005 e da Licença Ambiental nº 96/2007, relativamente a alguns poluentes monitorizados em contínuo. Quanto aos poluentes monitorizados pontualmente, os VLE para os períodos de amostragem fixados também foram alterados com a entrada em vigor do referido Decreto-Lei, sendo introduzidos novos metais pesados a serem analisados nas medições efectuadas.

Relativamente aos poluentes monitorizados em contínuo, mesmo considerando os valores máximos das médias diárias, pode concluir-se que os limites legais impostos foram cumpridos.

Quanto aos poluentes monitorizados pontualmente, as concentrações emitidas são muito inferiores aos VLE, portanto há cumprimento dos limites legais.

A eficiência do sistema de tratamento de gases é muito elevada, apresentando valores muito próximos de 100%. Conclui-se que os poluentes do processo de incineração são correctamente tratados e controlados.

Os factores de emissão estimados para os poluentes emitidos pela Central são semelhantes ou inferiores aos factores de emissão encontrados em diversas publicações, o que permite concluir que Central de Valorização Energética opera em condições de segurança.

Referências Bibliográficas

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. 2007. *Licença Ambiental n° 96/2007*.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. 2008. *Licença de Exploração n° 5/2008*.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. 2010. *Portuguese National Inventory Report*. Disponível em <http://www.apambiente.pt> (acedido em Julho 2010).

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. 2010. <http://www.apambiente.pt> (acedido em Março 2010).

Almeida, M. F; Ferreira, C. M. D; Pinho, S. C. 1999. *Características de Cinzas de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos e Alternativas de Gestão*. Materiais'99 - 9º Encontro da Sociedade Portuguesa dos Materiais. Universidade do Minho. Faculdade de Engenharia. Guimarães. Portugal.

Alvim-Ferraz, M. C. M. 2005. *Air Contamination*. Documento de apoio à disciplina de Gestão e Controlo de Emissões Gasosas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Alvim-Ferraz, M. C. M. 2008. *Gestão da Qualidade do Ar*. Documento de apoio à disciplina de Gestão e Controlo de Emissões Gasosas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Alvim-Ferraz, M. C. M; Chibante, V. G. 2008. *Controlo de Emissões Gasosas*. Documento de apoio à disciplina de Gestão e Controlo de Emissões Gasosas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Alvim-Ferraz, M. C. M; Chibante, V. G. 2009. *Controlo de Emissões Gasosas*. Documento de apoio à disciplina de Gestão e Controlo de Emissões Gasosas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

BREF - *Best Available Technologies Reference*. 2004. *Documento de referência sobre as melhores técnicas disponíveis para a incineração de resíduos*.

Carvalho, C. M. L; Campos, E. S. T; Martins, D. S; Raposo, A. M. F; Viveiros, A. P. R; Batóreu, M. C. C. 2001. *DIOXINAS: Origens e efeitos na população Humana*. Disponível em <http://www.ordembilogos.pt> (acedido em Abril 2010).

CCDR - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte. 2010. <http://www.ccdr-n.pt> (acedido Março em 2010).

EEA - European Environment Agency. 2007. *Emission Inventory Guidebook*. Disponível em <http://www.eea.europa.eu> (acedido em Julho 2010).

EEA - European Environment Agency. 2009. *Emission Inventory Guidebook*. Disponível em <http://www.eea.europa.eu> (acedido em Julho 2010).

EEA - European Environment Agency. 2010. <http://www.eea.europa.eu> (acedido em Março 2010).

EPA - United States Environmental Protection Agency. 2000. *How to incorporate the effects of air pollution control device efficiencies and malfunctions into emission inventory estimates*. Disponível em <http://www.epa.gov> (acedido em Abril 2010).

EPA - United States Environmental Protection Agency. 2010. <http://www.epa.gov> (acedido em Abril 2010).

Ferreira, J. C. 2007. *Relação Qualidade do Ar e Exposição Humana a Poluentes Atmosféricos*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Infopédia. <http://www.infopedia.pt> (acedido em Abril 2010).

IPPC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2010. *Emission Factor Database*. Disponível em www.ipcc.ch (acedido em Julho 2010).

LIPOR. 2002. *Programa de monitorização ambiental LIPOR II*.

LIPOR. 2010. <http://www.lipor.pt> (acedido em Março 2010).

Macintyre, A. J. 1990. *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*. Guanabara. 2ª edição. Rio de Janeiro.

Mata, P; Coutinho, M. 2003. *Monitorização Ambiental de uma Unidade de Incineração de Resíduos*. Disponível em <http://www.ua.pt> (acedido em Fevereiro 2010).

Nevers, N. 2000. *Air Pollution Control Engineering*. McGraw-Hill. 2ª edição. Singapura.

WHO - World Health Organization. 2000. *Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition*. Disponível em <http://www.who.int> (acedido em Abril 2010).

WHO - World Health Organization. 2005. *Air Quality Guidelines Global Update 2005*. Disponível em <http://www.who.int> (acedido em Março 2010).