

**Estudo e Análise do perfil das Intervenções de
manutenção de equipamentos de verificação de
qualidade do ar ambiental, emissões atmosféricas
e controlo processual**

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Área de Especialização em Automação e
Comunicações em Sistemas Industriais

Autor

Bruno Alexandre Antunes Neto

Orientador

Doutor Inácio de Sousa Adelino da Fonseca

Professor do Departamento de Engenharia Electrotécnica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, maio, 2018

AGRADECIMENTOS

Gostaria de poder agradecer a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a execução e conclusão dos seguintes trabalhos e temas presentes neste relatório.

Agradeço à minha família, aos meus pais e minha namorada que sempre me apoiaram nos momentos mais difíceis e me orientaram para atravessar as adversidades com a calma necessária nos momentos certos.

Agradeço a todos os meus colegas do ISEC com quem convivi, estudei, partilhei bons momentos, pela força e pela vontade em evoluir continuamente.

Agradeço também à BHB Sistemas de Controlo e Medida na pessoa do Sr. Luís Ferreira da Costa e Fernando Mena Costa pela oportunidade, conhecimento e apoio demonstrado não apenas no âmbito deste trabalho mas sim também em todas as ocasiões.

Endereço também um agradecimento especial ao Sr. Joaquim Picante por toda a fonte de conhecimento proporcionada, muita paciência e tempo disponível para debate de ideias. “*Sem tentarmos jamais iremos saber se conseguimos*”. Sem ele, este relatório jamais poderia existir.

Um agradecimento especial também ao ISEC e ao meu orientador Professor Doutor Inácio de Sousa Adelino da Fonseca pela disponibilidade, apoio e orientação ao longo de todo este caminho.

A todas estas pessoas, o meu sincero obrigado.

Bruno Neto

RESUMO

Ao longo dos anos em especial desde as sucessivas revoluções industriais, o crescimento da população assim como o crescimento da indústria tem sido bruscamente acelerado, o que tem contribuído para o desgaste do meio ambiente e do Planeta. A sociedade tem-se apoiado bastante no consumo de energia e de recursos indispensáveis ao ambiente deixando para trás a sua enorme pegada ecológica e um rasto infindável daquilo que podemos considerar poluição como a conhecemos aos dias de hoje.

O trabalho descrito neste relatório teve como objetivo demonstrar a existência de controlo ambiental e a necessidade deste existir nas mais variadas vertentes industriais assim como o estudo da fiabilidade de funcionamento dos equipamentos e qual o papel que a manutenção representa para o bom funcionamento dos sistemas. Foram também descritos alguns conceitos teóricos das tecnologias utilizadas neste tipo de equipamentos, como funcionam e qual a tecnologia que utilizam.

Na primeira parte do trabalho foram estudados os conceitos sobre manutenção e as suas normas. Na segunda parte foram estudadas as normas de direito ambiental e as suas diretrizes atualmente em vigor que regulam o sector industrial no que respeita a emissões de poluentes. Na terceira parte são abordados alguns tipos de equipamentos mais utilizados no meio de deteção e controlo de emissões e qual a sua importância. Na quarta parte foi abordada a fiabilidade e manutenção desses mesmos equipamentos em que foi também realizada uma análise estatística de anomalias e onde se pode constatar a importância da manutenção neste tipo de sistemas. Na quinta parte foram abordadas as ferramentas desenvolvidas de apoio à análise de avarias.

O estudo foca-se nas práticas de manutenção, metodologias e através da análise estatística retirar ilações possíveis sobre as práticas de manutenção, eventuais alterações a realizar no futuro e quais as melhores práticas de manutenção a adotar.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Manutenção; Fiabilidade; Analisadores de gases e de partículas.

ABSTRACT

Over the years especially since the successive industrial revolutions, population growth as well as industry growth has been sharply accelerated, which has contributed to the erosion of the environment and also the Planet. Society has been very supportive on energy consumption and resources indispensable to the environment leaving behind its enormous ecological footprint and an endless trail of what we can consider pollution as we know it today.

The work described in this report aimed to demonstrate the existence of environmental control and the need for it to exist in a wide variety of industrial areas, as well as the study of the reliability of equipment operation and the role that maintenance plays in the proper functioning of the systems. Some theoretical concepts of the technologies used in this type of equipment were also described, how they work and what technology they use.

In the first part of the work the concepts about maintenance and its norms were studied. In the second part, the rules of environmental law and their current guidelines that regulate the industrial sector with regard to pollutant emissions were studied. The third part addresses some of the most widely used types of equipment in the detection and environment emission control and their importance. In the fourth part, the reliability and maintenance of the same equipment's were analyzed, in which a statistical analysis of anomalies was also carried out and where the importance of the maintenance in this type of systems can be verified. In the fifth part developed tools to support the analysis of faults has been addressed

The study focuses on maintenance practices, methodologies, and through statistical analysis draws out possible inferences about maintenance practices, eventual changes to be made in the future, and the best maintenance practices to adopt.

Key-words: Atmospheric pollution; Maintenance; Reliability; Dust and gas analyzers

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Motivação e Contexto.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Organização da monografia	3
2	Conceito sobre manutenção e informação normativa	5
2.1	Conceito	5
2.2	NP EN 13306:2007 – Terminologia da Manutenção	7
2.3	NP EN 15341:2009 – Manutenção. Indicadores de desempenho da manutenção (KPI).....	8
2.4	NP EN 13269:2007 – Manutenção. Instruções para a preparação de contratos de manutenção	8
2.5	NP EN 13460:2009 – Manutenção. Documentação para a manutenção	9
2.6	NP 4483:2009 – Norma para a implementação de sistemas de gestão de manutenção.....	9
2.7	NP 4492:2009 – Requisitos para a prestação de serviços de manutenção	10
2.8	Considerações Finais.....	10
3	Direito ambiental nacional e internacional – Diretrizes de monitorização	11
3.1	Conceito	11
3.1.1	Monitorização pontual	13
3.1.2	Monitorização em contínuo.....	13
3.2	Garantias de qualidade EN14181.....	14
3.2.1	Definição (4).....	14
3.2.2	Garantia de Qualidade QAL1.....	16
3.2.3	Garantia de Qualidade QAL2 e AST (<i>Annual Surveillance Test</i>)	17
3.2.4	Garantia de Qualidade QAL3.....	21
3.3	Funções de calibração	28
3.4	Considerações Finais.....	31
4	Tecnologias.....	33
4.1	Conceito	33
4.2	Analisadores de propriedades físicas	34
4.3	Analisadores de propriedade molecular.....	35
4.4	Analisadores eletroquímicos.....	36
4.5	Analisadores fotométricos	41
4.5.1	Analisadores de micro-ondas	42
4.5.2	Analisadores de infravermelho.....	42
4.5.3	Analisadores de espectroscopia Raman	46
4.5.4	Analisadores de Ultravioleta	47

4.5.5	Analísadores de Quimiluminescência	48
4.5.6	Analísadores de ressonância magnética nuclear	49
4.6	Analísadores por separação de compostos	50
4.6.1	Analísadores por cromatografia gasosa e líquida	51
4.6.2	Espectrometria de massa.....	55
4.7	Amostragem gasosa para analisadores fotométricos	57
4.8	Espectroscopia FTIR	62
4.8.1	Funcionamento de um espectrómetro FTIR.....	63
4.8.2	Descrição de um espectrómetro.....	63
4.8.3	Interferómetro de Michelson.....	66
4.8.4	OPD – <i>Optical Path Difference</i>	67
4.8.5	ZPD – <i>Zero Path Difference</i>	68
4.8.6	Interferograma	68
4.8.7	O Algoritmo da Transformada de Fourier	70
4.8.8	Benefícios da Multiplexagem e análise quantitativa de um espectro FTIR	71
4.8.9	A análise multi-componente	72
4.8.10	Fiabilidade da resolução espectral de análise por transformada de Fourier	74
4.9	Considerações Finais	74
5	Fiabilidade e manutenção em Analísadores de Processo e Emissões	75
5.1	Fiabilidade.....	75
5.1.1	A importância da fiabilidade num sistema.....	75
5.1.2	Medidas processuais	77
5.1.3	Analísadores de processo e emissões	77
5.1.4	Falhas em sistemas de condicionamento	79
5.2	O desafio da manutenção.....	81
5.3	Intervenções de manutenção nos sistemas.....	85
5.3.1	Identificação dos equipamentos	85
5.4	Manutenções realizadas	88
5.4.1	Manutenções realizadas em sistemas de condicionamento	88
5.4.2	Manutenções realizadas em sistemas de medição – analisadores	105
5.5	Considerações Finais	120
6	Ferramentas de <i>software</i> desenvolvidas de apoio à análise de avarias.....	121
6.1	Ferramentas desenvolvidas.....	123
6.1.1	Folha de cálculo em <i>Microsoft Excel</i>	123
6.1.2	Base de dados em <i>Microsoft Access</i>	130
6.2	Considerações finais	135

7	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	137
	Referências Bibliográficas	139
	Anexos.....	141
Anexo A	História do direito ambiental	143
Anexo B	Educação ambiental em Portugal	153
Anexo C	Exemplo de carta de controlo <i>Shewhart</i>	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de Gestão da Manutenção (NP4483).....	9
Figura 2 - Níveis de garantia QAL (EN 14181).....	16
Figura 3 - Níveis de garantia e periodicidade de verificação exigido legalmente (EN 14181).....	16
Figura 4 - Requisitos da EN 14181 durante o tempo de vida do equipamento (7) (EN 14181).....	21
Figura 5 - Representação de funcionamento de medidor de Partículas Durag DR290 (Durag, 2011) ..	25
Figura 6 - Princípio de medição Durag DR290 (Durag, 2011).....	26
Figura 7 - Filtro de linearidade DR290 (Durag, 2011).....	26
Figura 8 – Esquerda: Procedimento de calibração Durag DR290. Direita: Verificação de calibração Durag DR290 (Durag, 2011).....	27
Figura 9 - Esquema de funcionamento de analisador de infravermelho (ABB, 2007).....	27
Figura 10 - Mecanismo de calibração (ABB, 2007)	28
Figura 11 - Exemplo de certificado de padrão de calibração (Linde, 2017).....	30
Figura 12 - Diluidor Hovacal (IAS) (ABB, 2016).....	31
Figura 13 - Sensor de Zircónio (BHB, 2017)	37
Figura 14 - Estrutura interna de um sensor de zircónio (ABB, 2016)	38
Figura 15 – Movimentação iónica num sensor de zircónio (ABB, 2016).....	38
Figura 16 - Princípio de funcionamento de um sensor de zircónio (ABB, 2016)	39
Figura 17 - Constituição interna de uma célula eletroquímica KE25 (Sensor de Oxigénio) (ABB, 2009)	40
Figura 18 - Aspeto físico de uma célula eletroquímica KE25 (Sensor de Oxigénio) (ABB, 2009)	41
Figura 19 - Representação dos espectros de cores (ABB, 2009)	41
Figura 20 - Representação de funcionamento de medição de gases por infravermelho (ABB, 2009).....	42
Figura 21 - Representação dos espectros de cores nos diferentes comprimentos de onda (ABB, 2009)	43
Figura 22 - Representação da absorvância nos diferentes comprimentos de onda (ABB, 2009).....	43
Figura 23 - Frequências de absorção	45
Figura 24 - Esquema de funcionamento de um analisador de baixas concentrações por método de ultravioleta (Horiba, 2009)	48
Figura 25 - Esquema de funcionamento de um analisador de baixas concentrações por método de quimiluminescência (Horiba, 2009).....	48
Figura 26 - Momento angular (spin) do núcleo (Horiba, 2009).....	50
Figura 27 - Cromatógrafo Siemens.....	51
Figura 28 – Representação da separação de misturas por interação diferencial dos seus componentes (ABB, 2011)	51
Figura 29 - Representação genérica de um sistema de cromatografia (ABB, 2011)	52

Figura 30 - Ponto de injeção de amostra a ser quantificada (ABB, 2011).....	53
Figura 31 - Coluna de adsorção (ABB, 2011)	53
Figura 32 - Cromatograma genérico (ABB, 2011).....	54
Figura 33 - Componentes básicos de um espectrómetro de massa (ABB, 2011)	55
Figura 34 - Sistema de extração de amostra gasosa de condutas (ABB, 2009)	57
Figura 35 - Esquema simplificado de amostragem e condicionamento gasoso (ABB, 2009)	58
Figura 36 - Tubo pertencente a sonda de amostragem gasosa (ABB, 2009)	59
Figura 37 - Filtro cerâmico ABB (ABB, 2009).....	60
Figura 38 – Esquerda: Suporte para filtro cerâmico ABB. Direita: Anel de aquecimento para suporte de filtro cerâmico (ABB, 2009)	60
Figura 39 - Constituição interna de linha aquecida de transporte da amostra (ABB, 2009).....	61
Figura 40 – Representação de um divisor de feixe de luz (<i>beam splitter</i>) (ABB, 2009).....	62
Figura 41 - Representação de um espectrómetro (ABB, 2009).....	64
Figura 42 - Sensor de oxigénio (eletroquímico) (ABB, 2009)	65
Figura 43 - Representação do trajeto de feixe de luz (ABB, 2009).....	66
Figura 44 - Interferograma típico (ABB, 2009)	68
Figura 45 - Feixes óticos de diferentes ondas com comprimentos diferentes (ABB, 2009)	68
Figura 46 - Interferograma da largura de banda de uma fonte emissora (ABB, 2009)	69
Figura 47 - Exemplo de um espectro de análise multi-componente (ABB, 2009)	73
Figura 48 - Bomba de amostragem	86
Figura 49 - Etiqueta identificadora de analisador ABB EL3020	87
Figura 50 - Processo de alimentação e combustão de forno rotativo de clínquer (FLS, 2017)	89
Figura 51 - Sonda de gases FLS.....	90
Figura 52 - Sonda de gases ABB ACK (ABB, 2012)	90
Figura 53 - Esquema de funcionamento de um circuito de refrigeração (Mitsubishi, 2014).....	94
Figura 54 - Sonda medidora de caudal (Durag, 2009)	112
Figura 55 - Representação de sonda medidora de caudal (Durag, 2009).....	112
Figura 56 - Funcionamento do tubo <i>pitot</i> - sonda de caudal (Durag, 2009)	113
Figura 57 – Representação dos índices de fiabilidade Exponencial para o Incinerador 1 - Alimentação	129
Figura 58 – Representação dos índices de fiabilidade Weibull para o Incinerador 1 - Alimentação ...	130
Figura 59 – Esquema de relações de tabelas da base de dados Access	131
Figura 60 - Menu principal.....	131
Figura 61 – Registo de avarias.....	132
Figura 62 – Registo de equipamentos.....	132
Figura 63 – Registo de técnicos de manutenção	133
Figura 64 – Registo de clientes	133

Figura 65 – Registo de interlocutor de cliente134
Figura 66 – Visão geral de exportação de dados134
Figura 67 – Representação de exportação de dados da base de dados para ficheiro135

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre QAL2 e AST.....	20
Tabela 2 - Materiais de zero e <i>span</i> utilizados em calibração.....	25
Tabela 3 - Tipos de medição	35
Tabela 4 - Tipos de analisadores eletroquímicos	36
Tabela 5 - Técnicas de ionização existentes.....	56
Tabela 6 - Correspondência entre as diferentes unidades.....	70
Tabela 7 – Objetivos associados a um sistema de amostragem genérico	80
Tabela 8 – Avarias registadas na sonda de gases	90
Tabela 9 – Avarias registadas no filtro cerâmico	92
Tabela 10 – Avarias registadas na linha de transporte	93
Tabela 11 – Avarias registadas num refrigerador	95
Tabela 12 – Avarias registadas no circuito e amostragem.....	97
Tabela 13 – Avarias registadas no sistema de limpeza	98
Tabela 14 – Avarias registadas.....	101
Tabela 15 – Avarias registadas no sistema de ar comprimido	103
Tabela 16 – Avarias registadas no sistema de medição de partículas	103
Tabela 17 – Avarias registadas em equipamentos de medição exterior de partículas.....	104
Tabela 18 – Avarias registadas na sistemas de medição	106
Tabela 19 – Avarias registadas na sonda medidora de caudal	113
Tabela 20 – Avarias registadas em opacímetros.....	114
Tabela 21 – Total de avarias por local referente ao incinerador 1 (MTBF por equipamento).....	124
Tabela 22 – Total de avarias por local referente ao incinerador 2 (MTBF por equipamento).....	126
Tabela 23 – Dia em que ocorreu a avaria (ti), e utilização de um estimador de R(ti) para distribuição de Weibull	130
Tabela 24- Desastres ambientais de 1950 a 2016	144
Tabela 25 - Evolução da legislação ambiental em Portugal.....	153
Tabela 26 – Teste em zero para medidor de partículas Durag DR300	158
Tabela 27 – Teste em <i>span</i> para medidor de partículas Durag DR300.....	158
Tabela 28 – Teste em zero para componente gasoso.....	160
Tabela 29 – Teste em <i>span</i> para componente gasoso	161
Tabela 30 – Teste em <i>span</i> para componente gasoso	162

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

APA –	<i>Agência Portuguesa do Ambiente</i>
AMS -	<i>Automatic Measurement System</i>
AST –	<i>Annual Surveillance Test</i>
CCDR –	<i>Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional</i>
CEN –	<i>Comité Europeu de Normalização</i>
CEE -	<i>Comunidade Económica Europeia</i>
CEMS –	<i>Continuous Emission Systems</i>
COT –	<i>Total Organic Carbon</i>
CNELEC –	<i>Comite Europeu de Standard Electrotécnica</i>
ETSI –	<i>European Standards Organization</i>
FTIR –	<i>Fourier Transform Infrared</i>
IEC –	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IPQ –	<i>Instituto Português da Qualidade</i>
ISO –	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI –	<i>Key Performace Indicator</i>
LCPD –	<i>Large Combustion Plants</i>
NDIR –	<i>Non Dispersive Infrared,</i>
NIR –	<i>Near Infra-Red</i>
NO_x –	<i>Nitroux Oxide</i>
NP EN –	<i>Normas de Regulamentação Portuguesa que adoptam norma europeia</i>
OPD –	<i>Optical Path Difference</i>
QAL –	<i>Quality Assurance Level</i>
SRM -	<i>Standard Reference Method</i>
TDL –	<i>Tunable Diode Laser</i>

-
- UVF** – *Ultraviolet Fluorescence*
- VLE** – *Valores Limite de Emissão*
- WID** – *Waste Incineration Directive*
- ZPD** – *Zero Path Difference*

1 Introdução

Neste capítulo é exposta a motivação subjacente à realização deste projeto bem como um enquadramento geral relativo à área na qual os trabalhos foram desempenhados (Secção 1.1). Realiza-se também a apresentação geral do projeto (Secção 1.2) com a definição dos objetivos. É ainda descrita a organização dos capítulos presentes neste relatório (Secção 1.4).

1.1 Motivação e Contexto

Este trabalho insere-se na Unidade Curricular de Projeto do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. O presente projeto versa sobre o Estudo e análise do perfil das intervenções de manutenção de equipamentos de verificação de qualidade do ar ambiental, emissões atmosféricas e controlo processual.

A obrigatoriedade de Sistemas de Emissões em Contínuo (CEMS) é actualmente um requisito nas mais diversas indústrias abrangidas pela legislação em vigor. A sua obrigatoriedade vem da legislação europeia e que, naturalmente vigora em território nacional.

Muitas das políticas de proteção ambiental remontam desde o tratado de Roma de 1957 passando pelo protocolo de Montreal, convenção de Quioto, Maastricht e até mesmo Lisboa cujo objetivo foi o de criação de uma estrutura supranacional com entidade própria, a Comunidade Económica Europeia (CEE), até à atualidade. No entanto, em algumas situações específicas em que as emissões são menores, o controlo das mesmas pode ser feito através de medições pontuais, medições essas realizadas por entidades devidamente creditadas e certificadas.

Atualmente, em Portugal, existe legislação que estabelece o regime de prevenção e controlo de emissões de poluentes para a atmosfera onde são fixados os princípios, objetivos e instrumentos apropriados à garantia da proteção do recurso natural – ar – bem como as medidas, procedimentos e obrigações dos operadores de instalações abrangidas com vista a evitar ou reduzir as emissões para níveis aceitáveis de poluição atmosférica originada nessas mesmas instalações.

Qualquer instalação desde que abrangida pela legislação em vigor tem que cumprir e respeitar em tempo real os limites de emissão, vulgarmente conhecidos por VLE (Valores Limites de Emissão). A imposição de VLE's visa, sobretudo assegurar a proteção da saúde humana e do ambiente. Constitui um instrumento essencial da política de prevenção e controlo do ambiente

atmosférico. O controlo e medição em contínuo de emissões é feito através de sistemas de medição de gases, partículas e caudal mássico em que, na sua essência, são equipamentos dotados de tecnologia que permitem medir as propriedades químicas dos gases que atravessam essas mesmas condutas de forma que seja possível quantificar quimicamente a sua amostra recolhida. Alguns destes equipamentos de medida são utilizados também como parte integrante de processos de produção ou mesmo para proteção não só de equipamentos a jusante assim como de garantia da segurança dos utilizadores de determinado espaço sendo imperativo o funcionamento constante destes equipamentos. O ideal seria que tivessem uma fiabilidade muito próxima de 100%. Mas, é impossível um sistema que garanta uma fiabilidade total e exata.

Os analisadores de processo durante muitos anos conquistaram uma fraca reputação no que respeita a fiabilidade. E o estigma persiste, apesar da evolução da tecnologia e dos equipamentos utilizados para medição destes componentes. A evolução originou uma substancial melhoria nos equipamentos em si em termos de fiabilidade e resistência assim como de resolução. Na grande maioria dos casos, os problemas não são causados pelo próprio equipamento – analisador de gases. A *performance* e a fiabilidade de um analisador de emissões assim como (e principalmente) de um analisador de processo, depende principalmente da qualidade da amostra (seja ela gasosa ou líquida) recolhida até ao sistema de medição. Um analisador em perfeito estado de funcionamento irá certamente falhar caso receba uma amostra incompatível ou contaminada.

O presente trabalho e análise visa não só o estudo da ocorrência de avarias assim como a prevenção e antecipação de possíveis avarias com o decorrer do tempo de forma a aumentar o tempo disponível de funcionamento entre falhas e assim melhorar a fiabilidade do sistema como sendo um só. Para o controlo e medição de emissões gasosas existem sobretudo duas vertentes de equipamentos distintos, ambas com tecnologia própria mas com princípios de extração de amostra distintos: analisadores de gases e analisadores de partículas.

Os analisadores de processo e os analisadores de emissões são bastante diferentes de outros instrumentos de medição vulgarmente existentes. A maioria destes instrumentos de medição medem a condição de determinado processo industrial tais como a temperatura, pressão, caudal ou mesmo nível. Os analisadores de gases permitem medir a qualidade deste tipo de fluídos, isto é, fornecem informação sobre a composição de determinado fluído e quais as suas propriedades físicas.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste Trabalho de Projeto de Mestrado corresponde ao Estudo e Análise do perfil das intervenções de manutenção de equipamentos de verificação de qualidade do ar ambiental, emissões atmosféricas e controlo processual, tendo sido para isso analisado o histórico de avarias numa determinada instalação fabril num período temporal considerável, bem como estudado o âmbito e obrigatoriedade no cumprimento da legislação em vigor e qual a importância de uma correta e eficaz manutenção para o cumprimento da mesma.

1.3 Organização da monografia

Este Trabalho de Projeto está dividido em oito capítulos, tal como se sintetiza seguidamente:

- O primeiro Capítulo contém a introdução ao Trabalho de Projeto, a contextualização, os objetivos e a organização da monografia;
- O segundo Capítulo apresenta uma perspetiva do conceito sobre manutenção e informação normativa;
- O terceiro Capítulo apresenta as diretrizes ambientais nacionais e internacionais;
- O quarto Capítulo descreve as tecnologias existentes;
- O quinto Capítulo descreve a fiabilidade e a manutenção em analisadores de processo através da ilustração de algumas avarias ocorridas;
- O sexto Capítulo descreve as ferramentas desenvolvidas – folha de cálculo em *Microsoft Excel* e base de dados em *Microsoft Access*, bem como a estimação de tempo até avaria com base nas distribuições estatísticas Exponencial e Weibull;
- O sétimo Capítulo apresenta as conclusões e trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos;
- O final deste trabalho é constituído pelas referências bibliográficas e os vários anexos mencionados ao longo dos capítulos.

2 Conceito sobre manutenção e informação normativa

Neste Capítulo serão descritas algumas das normas transversais à manutenção independente do ramo de atividade das instituições/empresas. Na seção 2.1 é apresentado o conceito de manutenção. Nas seções 2.2 a 2.7 são apresentadas as normais mais relevantes e na seção 2.8 são enunciadas as considerações finais.

2.1 Conceito

Toda e qualquer atividade que se encontre ligada à manutenção, independentemente da área, tem custos significativos para as organizações, seja para clientes ou para fornecedores. Este aumento de custos é inegável e o seu peso financeiro na estrutura da empresa é cada vez mais evidente. Por isso, a maior parte das empresas minimamente organizadas procuram otimizar as suas operações, tanto a nível de recursos humanos da operação técnica como a nível financeiro de forma a minimizar riscos e a otimizar recursos, sejam eles pessoais ou financeiros. Esta tentativa de equilíbrio nem sempre é fácil e dificilmente é conseguida sem que existam outros sectores de atividade da empresa que não sejam afetados. As restrições orçamentais existentes, na maioria dos casos acabam por afetar a gestão de serviço e, por sua vez, acaba por afetar a garantia de qualidade que tanto se ambiciona.

A falta de qualidade é um fator algo comum entre fornecedores e clientes finais. Mas, nem sempre se pode responsabilizar apenas uma das partes. A falta de domínio da área de quem compra ou contrata determinado serviço é quase sempre o fator mais influenciador para uma satisfação baixa após concretização do trabalho a realizar. Evidentemente que a falta de qualidade também cada vez mais evidente por parte dos prestadores é um fator muito importante a considerar, para mais num mercado atual em que praticamente todas as áreas têm concorrência apertada. E a certificação é fundamental. A certificação e especialização de colaboradores deveriam ser fundamentais numa organização.

Existem normas que regulamentam requisitos para a prestação de serviços de manutenção, como o caso da NP 4492 que conjuga vários objetivos entre os quais:

- Definir requisitos para que os prestadores de serviços de manutenção ofereçam aos seus clientes soluções de acordo com as necessidades e objetivos de forma que seja proporcionada uma previsão de garantia que mantenha o ativo operacional, dentro dos padrões de fiabilidade esperados;

- Constituir uma referência com vista a certificação das entidades que periodicamente sejam sujeitas a auditorias internas e externas, por entidades credenciadas;
- Apoiar os prestadores de serviços de manutenção;
- Fazer da qualidade de serviço uma garantia permanente e transparente para o cliente final;
- Fomentar um mecanismo de autorregulação do próprio mercado, proporcionando o incremento da competência e inovação.

Os fornecedores podem oferecer uma enorme variedade de serviços, envolvendo as mais diversas especialidade, podendo operar em qualquer local e a qualquer hora. Todas as prestações de serviços deverão ser asseguradas por fornecedores com estrutura adequada quanto a meios materiais, meios humanos, com organização e sistema de informação. Não faz sentido um prestador de serviços não ter um plano delineado. Todo e qualquer prestador tem que ter objetivos e metas tangíveis para o desempenho da sua atividade. Toda e qualquer organização têm que ter organização interna, estabelecer processos, critérios e métodos necessários para assegurar que tanto a execução como o controlo destes processos seja eficaz. Não faz sentido não existir agilidade interna. É um fator muito importante. Por exemplo, a gestão de uma empresa de prestação de serviços de manutenção (ou de qualquer outra atividade) requer o suporte de um sistema de gestão de informação adequada à complexidade e atividade da empresa em causa. A utilização de recursos informáticos é cada vez mais comum.

Os procedimentos de gestão podem ser informatizados em consonância com a dimensão e a complexidade da entidade prestadora de serviços, de forma a facilitar o planeamento, implementação e controlo de todas ou de parte das atividades. Como é lógico, num sistema em que existem aplicações informáticas, estas deverão estar acessíveis aos colaboradores para consulta e introdução de dados. A formação dos colaboradores para a área de atividade em questão é fundamental.

A globalização é crescente em todos os sectores e é uma realidade indiscutível. A competência é um dos fatores primordiais na sobrevivência das empresas o que eleva os padrões de qualidade a níveis cada vez mais ambiciosos. Estes padrões de qualidade são assegurados através do aumento da eficiência, disponibilidade e a fiabilidade não só dos processos mas também dos equipamentos mantidos sob manutenção. A manutenção associada ao fator “qualidade” representa uma área fundamental com grande peso nos índices de produtividade e prestígio das organizações. O cumprimento da normalização é fundamental.

“É sabido que na indústria moderna os pontos fracos podem originar anualmente custos 20 vezes mais elevados do que o valor da própria instalação afetada e se apenas 0,1 por cento desses custos fossem investidos com oportunidade na análise da origem dos pontos fracos, poder-se-ia ter evitado 50 % dessas perdas (1).”

Os conceitos e definições associados às atividades de manutenção são consensuais, independentemente de serem normalizados ou de cunho prático e pessoal. Para determinada atividade industrial são delineados objetivos, mediante despesa previamente orçamentada, em que importa a garantia da disponibilidade e da fiabilidade de equipamentos nos processos produtivos através da avaliação das imperfeições e defeitos surgidos durante o tempo. A manutenção industrial, mais a qualidade da manutenção industrial é encarada como sendo uma atividade importante, integrando objetivos das empresas no âmbito da otimização e antecipação, obrigando para isso à definição de políticas de atuação.

Independentemente do panorama económico para as diversas atividades, a manutenção é sempre considerada um ativo importante. Apesar de ser uma atividade que engloba custos, deverá ser encarada como uma atividade produtiva, um lucro a curto/médio prazo e não como sendo uma despesa.

É uma atividade normalizada, uniformizada, e como tal tem que seguir regras e normas.

No quotidiano a normalização indica qual o caminho a percorrer em determinado processo, mas, com liberdade a cada um de o percorrer da melhor forma que puder.

A Manutenção tem sido feita e evoluída até aos dias de hoje com base na Normalização.

A atividade da Normalização desenvolve-se a três níveis (2):

- Normalização Internacional: *International Organization for Standardization* (ISO) e *International Electrotechnical Commission* (IEC);
- Normalização Regional: *Comité Européu de Normalização* (CEN), *Comité Européu de Standard Electrotécnica* (CENELEC) e *European Standards Organization* (ETSI);
- Normalização Nacional: Instituto Português da Qualidade (IPQ).

2.2 NP EN 13306:2007 – Terminologia da Manutenção

A norma NP EN 13306 tem como objetivo a definição dos termos genéricos usados em todos os tipos de manutenção e da organização da manutenção independentemente do tipo de bem considerado. A definição de uma estratégia de manutenção é responsabilidade de toda a

organização. É fundamental que exista disponibilidade do bem para a função requerida a custos ótimos. É também fundamental o cumprimento de normas e requisitos de segurança pessoal e coletiva, para as pessoas e para as máquinas e sempre que possível salvaguardar o meio ambiente existente. Esta norma visa também o melhoramento da durabilidade do bem e/ou a qualidade do produto ou do serviço fornecido, naturalmente considerando o aspeto financeiro no que implica custos.

2.3 NP EN 15341:2009 – Manutenção. Indicadores de desempenho da manutenção (KPI)

A norma NP EN 15341 estabelece os indicadores de desempenho da manutenção para apoio da gestão de forma a atingir a excelência da manutenção e utilizar os bens de forma competitiva. Estes indicadores são maioritariamente aplicados a instalações industriais e deverão ser utilizados para estabelecimento de comparações (*benchmarking* interno e externo), diagnóstico de pontos fortes e fracos, identificação e definição de metas a alcançar, delinear ações de melhoria e medição contínua dos resultados ao longo do tempo. O sistema de indicadores de desempenho está portanto estruturado em três grupos: indicadores económicos, técnicos e organizacionais. A medição e análise dos indicadores podem auxiliar a gestão a definir objetivos, planear estratégias e ações e partilhar resultados a fim de informar e motivar as pessoas.

2.4 NP EN 13269:2007 – Manutenção. Instruções para a preparação de contratos de manutenção

A norma NP EN 13269 tem o objetivo de promover o relacionamento entre o contratante e o fornecedor de serviços e estabelecer entre ambos um quadro de referência para os serviços de manutenção, melhorar a qualidade dos contratos de manutenção para que os conflitos e alterações sejam minimizados, determinar o âmbito dos serviços de manutenção e identificar opções e alternativas viáveis para o seu fornecimento, participar na organização e negociação de contratos de manutenção e na definição de regras e procedimentos e simplificar problemas que possam ocorrer. A norma define também várias etapas:

- **Etapa 1:** O contratante deverá decidir quais os serviços executados internamente e externamente através de contratação externa. Todos os que forem executados e /ou contratados externamente terão um peso financeiro acrescido pois poderão estar sujeitos a contratos de manutenção;

- **Etapa 2:** O contratante identifica os fornecedores existentes com capacidade para execução das tarefas pretendidas;
- **Etapa 3:** Elaboração do contrato de manutenção ou adjudicação do trabalho com base na negociação do preço a ser cobrado ao contratante ou então com base em concurso.

2.5 NP EN 13460:2009 – Manutenção. Documentação para a manutenção

A NP EN 13460 é uma norma com alguma especificidade, normalmente dirigida a projetistas, fabricantes e fornecedores de documentação. O seu objetivo e campo de aplicação estabelecem as linhas gerais de orientação para a documentação técnica que deverá ser fornecida com um bem, o mais tardar antes de este ser posto em serviço de forma a apoiar na sua manutenção. Os documentos provenientes deverão conter informações tais como: dados técnicos, manual de operação, manual de implementação, lista de componentes e recomendação de sobresselentes, regime do plano de montagem, plano de detalhe, plano de lubrificação, diagrama unifilar, diagrama lógico, diagrama de circuito, diagrama de tubos e instrumentos, desenho de implementação, desenho de conjunto, relatório do programa de ensaio e certificados dos equipamentos.

2.6 NP 4483:2009 – Norma para a implementação de sistemas de gestão de manutenção

A norma NP4483:2009 foi elaborada pela subcomissão técnica (CT94) e especifica os requisitos para um sistema de gestão da manutenção em que uma organização necessita demonstrar a sua aptidão para, de forma consistente, proporcionar um serviço que vá ao encontro dos requisitos do cliente, das exigências legais e regulamentações aplicáveis.

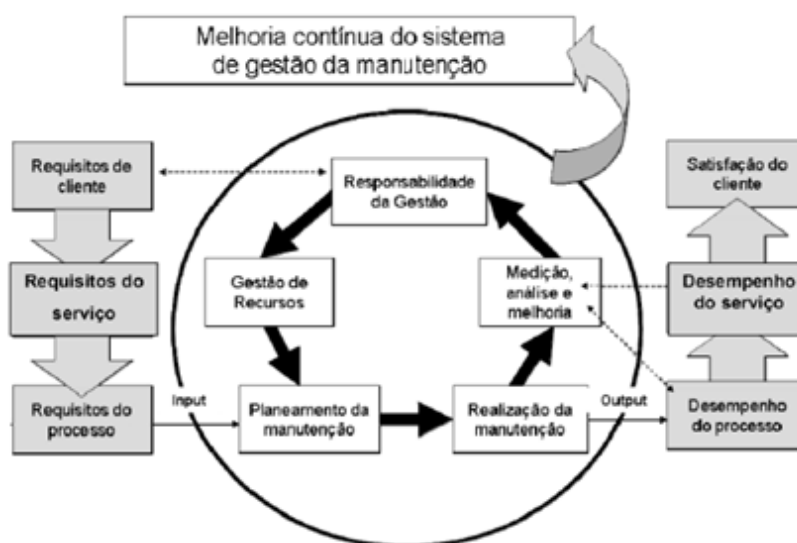


Figura 1 – Modelo de Gestão da Manutenção (NP4483)

Segundo a APMI (Associação Portuguesa de Manutenção Industrial), a norma visa aumentar a satisfação do cliente através da aplicação eficaz do sistema, incluindo processos para melhoria contínua, tendo como base os requisitos do cliente e os requisitos regulamentares aplicáveis tal como representado na Figura 1.

2.7 NP 4492:2009 – Requisitos para a prestação de serviços de manutenção

A Norma NP 4492:2009 pode ser utilizada por qualquer tipo de organização prestadora de serviços de manutenção, independentemente da sua dimensão (micro, pequena, média ou grande empresa) ou da sua área de especialização dentro do largo espectro da manutenção, assim como prestadores de serviços de independentes (3). Os seus principais objetivos são:

- Definir requisitos para que os prestadores de serviços de manutenção ofereçam aos seus clientes soluções que se alinhem com as suas necessidades e objetivos;
- Ser um critério de escolha do mercado e um vetor comercial e de competitividade para a empresa prestadora do serviço;
- Reconhecimento e distinção dos concorrentes;
- Incremento da competência e inovação no mercado;
- Referencial com vista à certificação de prestadores de serviços de manutenção, e seu controlo periódico, através de auditorias efetuadas por um organismo certificador credível.

Os seus benefícios na implementação e certificação poderão ser:

- Aumento da confiança por parte do cliente nos contratos de manutenção estabelecidos;
- Melhoria dos serviços prestados;
- Dinamização e qualificação das equipas de intervenção;
- Melhorar o desempenho da organização;
- Uniformizar conceitos na manutenção;
- Diferenciação no mercado.

2.8 Considerações Finais

Este Capítulo aborda os conceitos associados à definição da manutenção assim como as definições normativas publicadas pelas entidades responsáveis pelas respetivas normas. A atividade de manutenção deve seguir este conjunto de normas de forma a padronizar a atividade exercida nesta área.

3 Direito ambiental nacional e internacional – Diretrizes de monitorização

Neste Capítulo serão descritas algumas das normas transversais ao direito ambiental. Na seção 3.1 é apresentado o conceito de direito ambiental. Na seção 3.2 é apresentada a norma EN 14181. Na seção 3.3 são apresentadas as funções de calibração. Na seção 3.4 são enunciadas as considerações finais.

3.1 Conceito

O Decreto-Lei (DL) n.º 78/2004, de 3 de Abril, estabelece o regime legal relativo da prevenção e controlo das emissões atmosféricas. As diretrizes de monitorização são, na sua maioria, um recurso importante de forma a se poder harmonizar os procedimentos a adotar por todos os intervenientes na matéria.

O Decreto-Lei n.º 85/2005 estabelece limitações às emissões para a atmosfera de certos poluentes provenientes de grandes instalações de combustão (GIC) nomeadamente para os regimes de inceneração e co-incineração.

O Decreto-Lei n.º 178/2003 estabelece limitações às emissões para a atmosfera referente a grandes instalações de combustão.

O Decreto-Lei n.º 242/2001 estabelece limitações às emissões para a atmosfera de compostos orgânicos voláteis.

O DL 78/2004 estabelece o regime de prevenção e controlo das emissões de poluentes atmosféricos fixando princípios, objetivos e instrumentos apropriados para monitorização e controlo de emissões para proteção do recurso natural: o ar.

O operador de uma instalação abrangida pelo DL 78/2004 deverá, tendo em conta as características das suas fontes de emissão de poluentes atmosféricos e o estipulado na Portaria n.º 80/2006, de 23 de Janeiro (Portaria 80/2006), averiguar qual o regime de monitorização aplicável (por fonte e por poluente). Assim, para uma determinada fonte, atendendo aos dados qualitativos e quantitativos das emissões de todos os poluentes relevantes e respetivos caudais mássicos emitidos, o operador definirá o regime de monitorização aplicável, por poluente:

- **Monitorização pontual** – se o caudal mássico de emissão de um determinado poluente for inferior ao respetivo limiar mássico máximo fixado na Portaria n.º 80/2006;

- **Monitorização em contínuo** – se o caudal mássico de emissão de um determinado poluente for superior ao seu limiar mássico máximo, fixado na Portaria n.º 80/2006.

Salienta-se que, o regime de monitorização de uma determinada fonte, poderá ser distinto de poluente para poluente (ex. uma fonte poderá proceder à monitorização em contínuo de NO_x (Óxidos de Azoto – Combinação entre monóxido de azoto (NO)) e dióxido de azoto (NO₂) e pontual de partículas e COT (Carbono Orgânico Total – Que é quantidade de carbono total existente em determinado composto orgânico).

No caso de instalações novas, para efeitos de definição do regime de monitorização a adotar, os operadores deverão recorrer a estimativas das suas emissões atmosféricas (concentrações e caudais mássicos), considerando a instalação a funcionar à sua capacidade nominal (máxima), devendo o regime de monitorização (pontual ou contínuo) ser validado durante o primeiro ano de laboração efetiva.

Para efeitos da determinação do regime de monitorização aplicável deverá considerar-se:

- **Caudal mássico** – Quantidade emitida de um poluente atmosférico, expresso em unidades de massa por unidade de tempo;
- **Capacidade nominal** – Capacidade máxima de funcionamento, em condições normais, de uma instalação, ou a entrada máxima de solventes orgânicos, expressa em unidades de massa, calculada em média diária, nas condições de funcionamento normal e com o volume de produção (máximo) para que foi projetada;
- **Condições normais de pressão e temperatura** – temperatura de 273,15 K e pressão de 101,3 kPa;
- **Emissão** – como sendo a descarga (direta ou indireta) para atmosfera de poluentes atmosféricos presentes no efluente gasoso;
- **Limiar mássico máximo** – o valor do caudal mássico de um poluente atmosférico acima do qual se torna obrigatória a monitorização em contínuo desse poluente;
- **Limiar mássico mínimo** – o valor do caudal mássico de um dado poluente atmosférico abaixo do qual poderá não ser obrigatório o cumprimento do respetivo VLE (Valor Limite de Emissão), ou seja, não existe VLE;
- **Autoridade Competente** – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) territorialmente competente e/ou Agência Portuguesa do Ambiente (APA);

- **Monitorização pontual** – medição da concentração de um determinado poluente no efluente gasoso emitido por uma fonte pontual, representativa de um determinado momento;
- **Monitorização em contínuo** – medição da concentração de um determinado poluente existente no efluente gasoso emitido por uma fonte pontual, em contínuo e representativo de um intervalo de tempo;
- **Funcionamento efetivo/ normal** – condição que abrange todos os períodos de uma instalação, à exceção das operações de arranque, de paragem e de manutenção do respetivo equipamento.

3.1.1 Monitorização pontual

A monitorização pontual deverá basear-se no conhecimento das características da fonte em questão, ou seja, das concentrações e caudais mássicos emitidos bem como o regime de funcionamento. Com base nos valores recolhidos durante o período de funcionamento normal, desde que representativos, se o caudal mássico de determinado poluente for inferior ao limiar mássico máximo, o regime de monitorização aplicável será o pontual. A monitorização pontual a aplicar poderá ser através do caso geral (duas monitorizações por ano) ou através de casos particulares (definidos pela CCDR, periodicidade anual ou trianual, etc). No caso de estarmos perante uma instalação nova, deverão ser realizadas medições pontuais, no geral duas vezes por ano, durante o primeiro ano de funcionamento e consoante os resultados obtidos e havendo justificação, a periodicidade pode ser adaptada de forma a cumprir os requisitos específicos. Todos estes resultados terão que ser comunicados à CCDR.

Na generalidade dos casos, as entidades sujeitas a monitorização pontual têm VLE's definidos para os componentes emitidos e a cada três anos terão que realizar uma medição recorrendo a laboratório externo acreditado. Existem casos particulares em que a medição pontual pode ser definida pela CCDR (no caso de estarmos presente a uma situação específica), anual (no caso de atividades sazonais), ou uma vez a cada três anos. Para uma correta elaboração do plano de monitorização a seguir, o operador (instalação) deverá ter em conta várias informações, todas elas presentes em decreto-lei legislado.

3.1.2 Monitorização em contínuo

A obrigatoriedade de se proceder à monitorização em contínuo de um poluente numa determinada fonte advém do respetivo caudal mássico emitido.

3.2 Garantias de qualidade EN14181

3.2.1 Definição (4)

A Norma Europeia EN14181 foi publicada em 2004 para garantia de qualidade em sistemas de medições automáticos de forma a garantir fiabilidade e o seu adequado funcionamento ao longo do seu tempo de funcionamento.

O Decreto-Lei n.º 78/2004 de 3 de Abril, estabelece o regime legal relativo da prevenção e controlo das emissões atmosféricas. Este diploma legal abrange todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos associados a instalações que desenvolvam atividades de carácter industrial, produção de eletricidade e/ou vapor, instalações de combustão integradas em estabelecimentos industriais, comerciais e/ou de serviços, entre os quais os de prestação de cuidados de saúde, os de ensino e instituições do estado, bem como atividades de armazenagem de combustíveis, de pesquisa e exploração de massas minerais e de manutenção e reparação de veículos.

A imposição de VLE (Valores Limites de Emissão) visa assegurar a proteção da saúde humana e do ambiente e constitui um instrumento essencial da política de prevenção e controlo do ambiente atmosférico. Os VLE's aplicam-se a grupos, famílias ou categorias de substâncias emitidas por qualquer fonte de emissão e a sua determinação tem por base a existência de tecnologia disponível com desempenho ambiental adequado e aplicável ao processo em causa, a necessidade de proteção do ambiente, da saúde e do bem-estar das populações. Os VLE's são fixados por portarias conjuntas dos Ministros da Economia e da Agricultura, Desenvolvimento “Rural e Pescas” e das “Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente”.

As atividades associadas a este tópico estão sujeitas a monitorização pontual a realizar duas vezes em cada ano civil, com um intervalo mínimo de dois meses entre medições, as emissões de poluentes que possam estar presentes no efluente gasosos, para os quais está fixado um VLE e cujo caudal mássico se situe entre o limiar máximo e o limiar mínimo fixado nas portarias respetivas. Abaixo do limiar mássico mínimo, não existe VLE aplicável, embora tenha que existir uma medição pontual uma vez a cada três anos. Acima do limite mássico máximo, em que existe VLE que tem que ser respeitado, existe a obrigatoriedade de monitorização em contínuo por equipamentos devidamente certificados que têm que obedecer a algumas normas europeias não só durante a sua certificação para o mercado, assim como durante o seu tempo de vida.

Cada vez mais importante do que nunca, é a certificação de pessoas e equipamentos essencial.

Todos os estados membros da União Europeia são obrigados a aplicar a norma EN 14181 na monitorização e comunicação de emissões em instalações de combustão (LCPD – *Large Combustion Plants*) e em incineradoras (WID – *Waste Incineration Directive*). Noutras instalações também pode ser regulamentada, dependendo da dimensão da instalação, do local e claro das normas ambientais em vigor, com foco na licença ambiental de cada instalação. Estes níveis de controlo de qualidade abrangem:

- **QAL1:** Aptidão de um AMS (Sistema de medição automático) para a medição;
- **QAL2:** Validação do AMS após a sua instalação;
- **QAL3:** Controlo do AMS durante o seu funcionamento numa unidade industrial;
- **AST:** Ensaio de verificação anual do equipamento e da calibração (*Annual Surveillance Test*), que também se encontra definido no âmbito do QAL2.

Os diferentes níveis de controlo envolvem que existam diferentes entidades responsáveis pelos mesmos.

O QAL1 é aquilo que se considera a certificação do produto CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*), logo é a certificação do equipamento por parte do fabricante após creditação em laboratório. É o primeiro nível de garantia de qualidade e tem como objetivo a avaliação, teste e ensaio de forma que se consiga verificar se é adequado para o fim a que se destina.

O QAL2 tal como o AST são da responsabilidade de um laboratório de testes acreditado, externo ao fabricante do equipamento assim como do cliente final onde o equipamento é colocado.

O QAL3 é da responsabilidade do operador de processo da instalação onde o equipamento se encontra instalado. Por outras palavras, o controlo de QAL3 subentende-se que seja realizado pelo proprietário da instalação.

Os níveis de garantia da EN 14181 são descritos pelo diagrama da Figura 2 e Figura 3 (5).

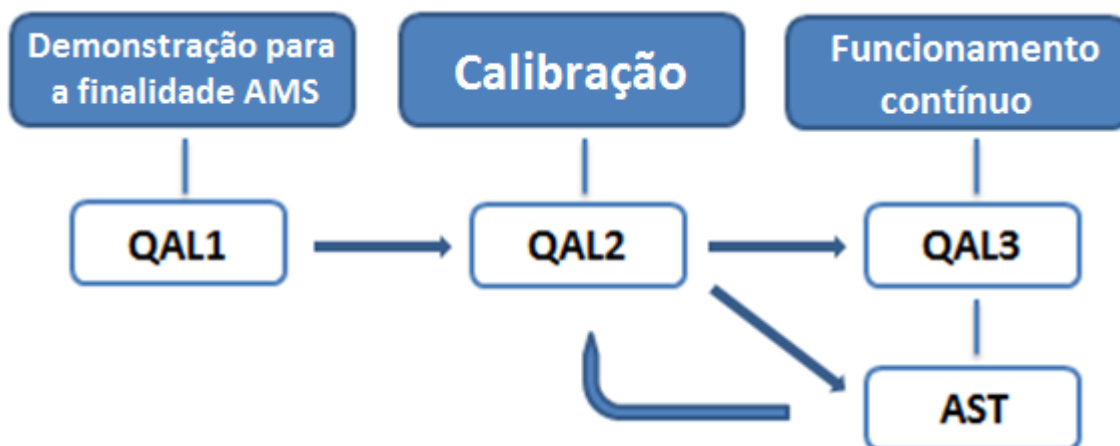


Figura 2 - Níveis de garantia QAL (EN 14181)

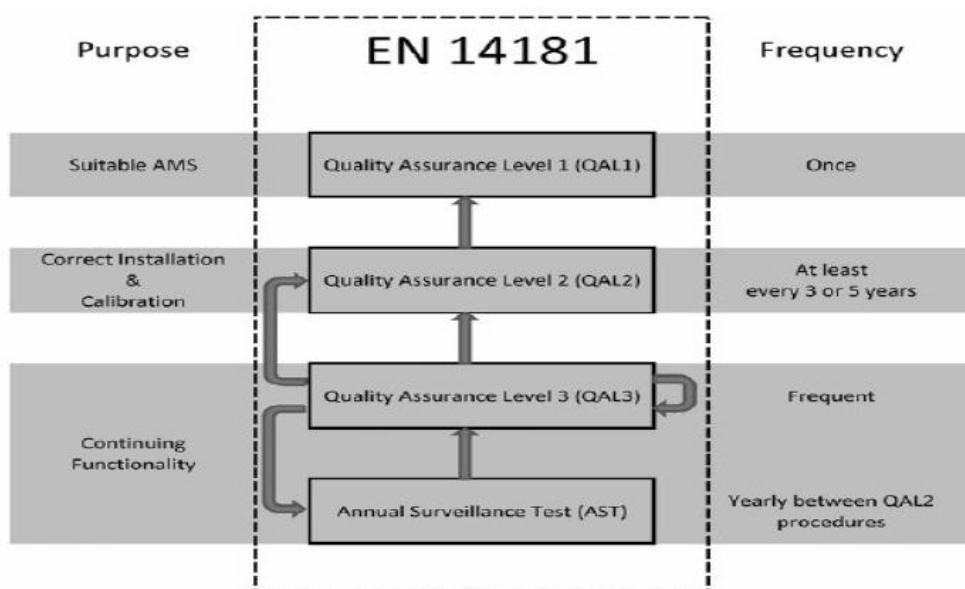


Figura 3 - Níveis de garantia e periodicidade de verificação exigido legalmente (EN 14181)

3.2.2 Garantia de Qualidade QAL1

A avaliação da aptidão do AMS e do seu procedimento de medição encontram-se descritos na norma EN15267, onde é indicada uma metodologia para o cálculo da incerteza global dos valores medidos pelo AMS. Esta incerteza global é determinada a partir da avaliação de todas as contribuições de incerteza, consequentes das suas características de desempenho individuais. Existem laboratórios creditados e certificados a nível europeu (MCERTS, TUV, SIRA) que conseguem produzir o cálculo das incertezas referidas na legislação para a atribuição do QAL1. Esta avaliação é realizada por um laboratório devidamente creditado que após os testes irá emitir um relatório que é a confirmação da conformidade do produto, ou seja, em como o produto está apto para a sua função, e agora devidamente certificado.

A certificação QAL1 é feita com base nas normas EN15271-1 (2009), EN15267-2 (2009), EN15267-3 (2007) e EN14181 (2014). O QAL1 pode-se considerar que é o nível de garantia que aprova que o equipamento de monitorização antes da sua instalação é adequado para o serviço a desempenhar. Este nível de qualidade é normalmente da responsabilidade do fabricante do equipamento. Os testes e ensaio dos equipamentos são realizados não só em laboratório mas também em instalações industriais.

3.2.3 Garantia de Qualidade QAL2 e AST (*Annual Servveillance Test*)

A realização do QAL2 é um dos requisitos da norma EN 14181 em que são realizados alguns testes funcionais após a instalação e comissionamento do AMS para verificar se este depois de instalado se encontra a funcionar corretamente e onde é determinado o seguinte:

- Função de calibração (Reta de calibração) do equipamento (regressão linear entre valores AMS/SRM) recorrendo a 15 medições paralelas utilizando o método SRM (*Standard Reference Method*);
- Gama válida de medição;
- Cumprimento dos requisitos de incerteza definidos na legislação através do teste de variabilidade.

O QAL2 é realizado a cada 3 a 5 anos e sempre que existe uma reparação ou alteração no AMS (o que invalida a calibração existente) que justifique novo teste ou nova função de calibração. No caso de haver uma alteração substancial da fonte de emissão, deverá também ser realizado o QAL2. Caso haja reprovação nos testes, o equipamento terá de ser intervencionado de forma a corrigir a falha ou realizado o teste de variabilidade antes de ser repetido o QAL2.

O AST é um ensaio regular de calibração do equipamento em que é realizado todos os anos entre QAL2 para avaliar se o AMS se encontra a funcionar corretamente e se a sua função de calibração determinada em QAL2 se encontra válida e se ainda se encontra dentro dos requisitos determinados em QAL2. É um mini QAL2 com a realização de:

- Cinco Medições paralelas;
- Conjunto de testes funcionais e análise do QAL3;
- Testes de variabilidade;
- Teste de validade.

É realizado também um teste de linearidade ao equipamento. Na eventualidade de o equipamento não passar nos testes do AST (no caso da função de calibração já não ser válida por algum motivo), será necessária a realização de todo o processo de QAL2.

O QAL2 e o AST pressupõem a realização de testes funcionais ao AMS – Ensaio de funcionamento - segundo a norma EN 14181 (ver Figura 4), sendo os seguintes:

- **Alinhamento e limpeza:** É verificada a correta localização e alinhamento do AMS (Exemplo: medidor de partículas ótico), verificação interna do analisador que deve obedecer a corretas regras de montagem, localização e conservação;
- **Sistema de amostragem:** É verificada a condição da sonda e linhas de amostragem, condicionamento da amostra e unidades de filtragem;
- **Documentação e registros:** É verificada a existência de controlo documental e atualização de esquemas de montagem dos equipamentos assim como manuais e procedimentos de manutenção e calibração;
- **Acessibilidade:** É verificado o acesso fácil e seguro ao AMS, a materiais de referência, segurança de ambiente assim como limpeza do mesmo;
- **Teste de fugas:** É verificada a estanquicidade do sistema de amostragem. Normalmente é utilizada uma margem até 2% para aceitação do teste de fugas;
- **Verificação de zero e *span*:** É verificado o zero do equipamento e *span* com escolha dos padrões a verificar em que cuja escolha deverá recair no padrão certificado mais próximo do Valor Limite de Emissão (VLE) ou do valor típico de medição do equipamento. No AST é realizada a verificação de zero e *span* do equipamento;
- **Teste de linearidade (Realizado no AST):** É verificada a linearidade dos parâmetros analisados usando vários pontos de referência ao longo da gama de medição. No caso de analisadores não extrativos (como por exemplo o caso dos Opacímetros por luz dispersa ou absorção de luz), são utilizados filtros óticos de referência devidamente calibrados e certificados pelo fabricante;
- **Interferentes (Realizado no AST):** É verificado se os gases monitorizados contêm componentes que possam ser identificados como interferentes para outras medidas;
- **Tempo de resposta:** É verificado quanto tempo leva o AMS a responder a uma alteração abrupta da concentração do poluente. É inserido o gás diretamente no local mais próximo da extremidade da sonda de amostragem e é medido o tempo que o AMS

demora a alcançar 90% do valor padrão introduzido. O tempo de resposta pode ser no máximo igual ao tempo de resposta medido no QAL1.

Importa também referir o funcionamento dos testes/ensaios paralelos ao AMS que decorrem durante a certificação de QAL2 assim como durante a verificação AST embora com diferenças na quantidade de amostragens registadas durante os ensaios. De uma forma geral, após a validação do AMS, são executados ensaios recorrendo a analisadores de referência (SRM) – equipamentos que executam os ensaios respeitando os métodos de referência dos mesmos.

Para um nível de garantia que é o QAL2, será necessário executar pelo menos 15 amostragens representativas que podem ser distribuídas até 3 dias, pelo que as amostras não necessitam de ser consecutivas. Podem ser recolhidas mais do que 15 amostras para que se possam eliminar amostras que estejam ou possam ter sido alvo de interferências durante o processo. Cada medida paralela a ser recolhida da fonte de emissão deve ser recolhida durante pelo menos 30 minutos, sem que ocorram grandes variações processuais da instalação que possam influenciar a amostra. Os testes/ensaios paralelos devem ser representativos do normal funcionamento da fonte emissora. No entanto, podem ser executados ensaios com variabilidade na instalação. Quer isto dizer que como complemento da normal função de calibração, podem ser testados outras condições anormais de funcionamento tais como a variabilidade do processo da instalação ou a eficiência dos processos de tratamento instalados na instalação (exemplo: diminuição da eficiência de filtro de mangas).

Existe uma grande semelhança entre o QAL2 e o ensaio AST. A Tabela 1 estabelece de forma sucinta as diferenças e semelhanças entre ambos os ensaios.

Tabela 1 - Comparação entre QAL2 e AST

	Ensaio QAL2		Ensaio AST	
	Extrativo	Não extrativo	Extrativo	Não extrativo
Alinhamento e limpeza		X		X
Sistema de amostragem	X		X	
Documentação e registos	X	X	X	X
Acessibilidade	X		X	X
Teste de fugas	X	X	X	X
Verificação de zero e span	X		X	
Teste de linearidade			X	X
Interferentes		X	X	X
Tempo de resposta	X	X	X	X

Os testes de variabilidade (Figura 4) são sempre realizados após definição da função de calibração e devem sempre obedecer ao seguinte requisito: $S_D \leq \sigma_0 * k$

Em que S_D corresponde ao desvio padrão da calibração, σ_0 corresponde à incerteza do componente a ser medido e k corresponde ao resultado dos testes para um mínimo de 15 medições. Naturalmente que existem critérios de valores máximos admissíveis para desvios em zero e *span* que estão descritos em normas, nomeadamente a EN15267 (6).

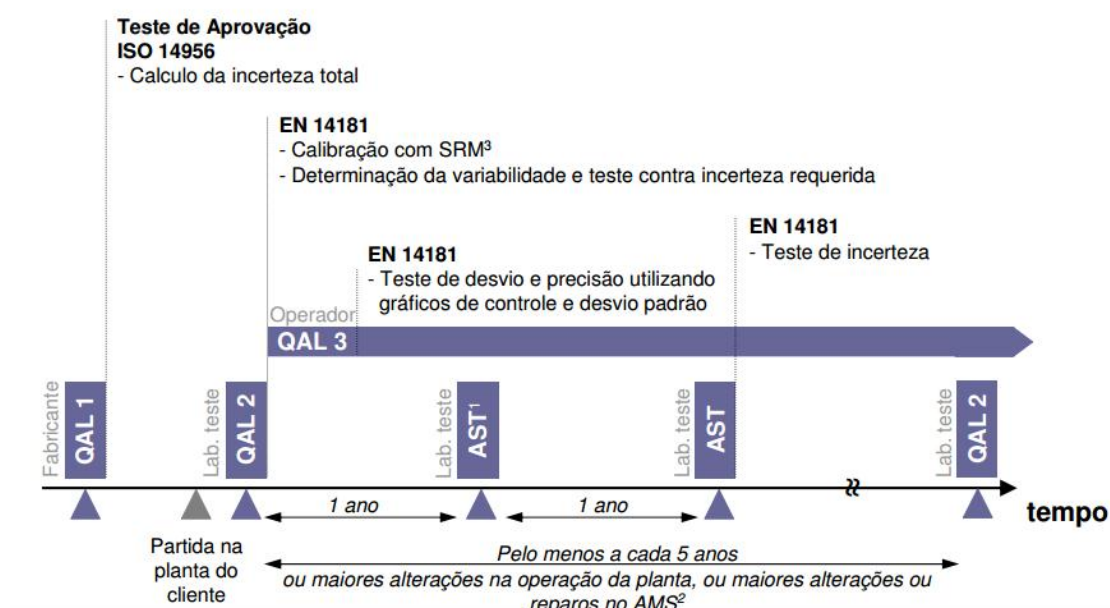


Figura 4 - Requisitos da EN 14181 durante o tempo de vida do equipamento (7) (EN 14181)

3.2.4 Garantia de Qualidade QAL3

Este tipo de procedimento visa manter um nível de garantia contínua realizado através de verificações de zero e *span* de forma que seja mantido e demonstrado que o requisito de finalidade do AMS está a ser cumprido durante o seu normal funcionamento. Este tipo de garantia dispensa que seja realizado por laboratórios creditados sendo um procedimento realizado pelo proprietário do equipamento, nomeadamente o operador da instalação onde o equipamento se encontra instalado. A finalidade do QAL3 é a deteção de desvios de medição (*drifts*) ou possíveis alterações na precisão do analisador, seja de compostos gasosos ou de partículas. O procedimento a ser realizado de forma sequencial, deverá ser:

1. Medição dos valores de zero e *span*;
2. Utilização de cartas ou procedimentos de controlo;
3. Avaliação do desempenho do equipamento.

Na utilização de cartas de controlo, o utilizador deverá determinar quais os níveis de desvio admissível, quais os níveis de alerta e qual o nível em que é necessário desencadear uma ação de verificação do equipamento tendo em consideração o desvio padrão definido pela norma EN 14181. O valor da incerteza é calculado da seguinte forma:

$$S_{ams} = \sqrt{u^2_{inst} + u^2_{temp} + u^2_{volt} + u^2_{pres} + u^2_{outros}}$$

Fórmula 1 - Cálculo de incerteza de medição por componente

em que:

u^2_{inst} : é a incerteza da instabilidade

u^2_{temp} : é a incerteza devido às variações da temperatura ambiente

u^2_{volt} : é a incerteza devido às variações na tensão

u^2_{pres} : é a incerteza devido às variações na pressão ambiente

u^2_{outros} : é a incerteza associada a outro tipo de incertezas existentes

A norma EN14181 refere que pode ser utilizada qualquer tipo de carta de controlo, manual ou automática dado que existem equipamentos em que a verificação de zero e *span* é feita automaticamente. No entanto, a norma refere dois tipos de carta de controlo:

- **Carta de Shewhart** – É um tipo de carta de controlo simplificada logo mais fácil de utilizar. Este tipo de procedimento necessita de duas cartas de controlo, uma para o controlo de zeros e outra para o controlo de *spans*;
- **Carta CUSUM (*Cumulative Sum Chart*)** – É um tipo de carta de controlo que utiliza todos os dados disponíveis de forma a mais facilmente conseguir ser detetado pequenas mudanças na média.

Carta de Shewhart

Este tipo de carta apenas apresenta a indicação se o desvio é superior ou não ao aceitável. Logo, pode-se subentender que a qualidade de obtenção e leitura de dados do AMS se manteve ou se piorou em relação à medição. São sugeridos sempre dois limites de alerta, sendo que um deles será de considerar uma ação imediata no AMS.

Na generalidade, cada AMS realiza apenas um controlo para cada componente. O limite de alerta pode então ser definido por:

$$y \pm \frac{2s_{ams}}{\sqrt{n}}$$

Fórmula 2 - Cálculo do limite de alerta por componente

No caso de o AMS realizar mais do que um controlo para cada componente:

$$y \pm 2s_{ams}$$

Fórmula 3 - Cálculo do limite de alerta por componente no caso de realizar mais do que um controlo

Onde y é o valor medido e n o número de repetições (consecutivas) do teste. O limite de ação pode então ser definido por:

$$y \pm \frac{3s_{ams}}{\sqrt{n}}$$

Fórmula 4 - Cálculo do limite de ação por componente

No caso de o AMS realizar mais do que um controle para cada componente:

$$y \pm 3s_{ams}$$

Fórmula 5 - Cálculo do limite de ação por componente no caso de realizar mais do que um controle

Tem que ser impostas regras no controle para decidir a tomada ou não de alguma ação de decisão. São elas:

- Um ou mais pontos acima do limite;
- Dois ou três pontos consecutivos acima do limiar de alerta;
- Quatro de cinco pontos consecutivos acima do limite de alerta;
- Oito pontos consecutivos acima da linha central;
- Seis pontos consecutivos com sintoma de tendência de crescimento ou de decrescimento.

Carta CUSUM (*Cumulative Sum Chart*)

É considerado um valor como sendo o valor do padrão utilizado em que a carta de controle irá calcular a diferença entre o valor lido com o valor do padrão sendo mais tarde adicionada a soma cumulativa dos desvios anteriores. Valores de medição perto do valor padrão apresentam a curva perto de zero. Se a curva for positiva, é dada a indicação de que os resultados são superiores ao valor do padrão, acontecendo o inverso no caso dos valores serem inferiores. No entanto, a norma EN 14181 não define quais os valores que podem ser considerados como sendo ou não aceitáveis.

As calibrações dos equipamentos de medição são sempre necessárias de forma a garantir o cumprimento dos equipamentos nos diversos testes de ensaio e verificação do equipamento, descritas anteriormente. Além de evidenciarem o bom e correto funcionamento do equipamento, visam responder às exigências nas normas em vigor bem como das licenças

ambientais que são atribuídas às instalações onde são colocados os equipamentos de emissão e controlo atmosférico.

Naturalmente que os AMS utilizados em controlo de processo não estão sujeitos às normas de QAL2 e AST, mas, além de ser fulcral a sua certificação com o QAL1, também é de todo bastante importante a garantia de fiabilidade de medição. Não se pode considerar que o analisador tenha obrigatoriamente que ser sujeito à norma QAL3. Mas não é de todo uma hipótese descabida, pois em alguns processos de produção, um sistema de análise gasoso é tão mais ou quase importante como um sistema de medição para a atmosfera, colocado numa chaminé.

Normalmente o período normal de calibração dos analisadores de gases é definido pelo próprio fabricante, como sendo o tempo recomendado. No entanto, e apesar do fabricante garantir a estabilidade do equipamento, poderão ser calibrados com uma menor periodicidade do que a recomendada. Não é de todo descabido, nem incomum, existirem equipamentos que são verificados e calibrados todas as semanas. Desta forma é feito um acompanhamento semanal e qualquer desvio é prontamente corrigido. Aliado ao facto da incerteza do próprio equipamento (que é evidenciada nos testes de certificação QAL1), utilizadores menos experientes frequentemente cometem erros de avaliação de desvios máximos permitidos. Uma forma de evidenciar e registar para mais tarde avaliar a necessidade de correção dos mesmos, é a utilização de cartas de controlo, algo que é também utilizado em QAL3.

O que podemos então considerar como método de referência para aferição de QAL3?

A verificação QAL3 é sempre realizada através de métodos de referência certificados e pode ser realizada automaticamente ou manualmente, dependendo do tipo de equipamento a ser testado. Os materiais utilizados são os descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Materiais de zero e *span* utilizados em calibração

	Material em zero	Material em <i>span</i>	Ponto verificado
Sistema de amostragem de gás	Amostra de gás cuja concentração será de 0 mg/m ³ do componente a ser medido	Amostra gasosa em que a concentração é conhecida	Incerteza ou desvio na calibração
Sistema de amostragem de partículas	Condição/simulação de inexistência de pó/partículas	Amostra substituta que simula uma elevada concentração de partículas	Alteração da <i>performance</i> do equipamento (alterações de leitura/calibração)

Vejamos o exemplo de dois AMS (Sistema de medição automático) distintos, de diferentes propriedades físicas. No caso deste equipamento em questão, a verificação de zero e *span* é realizada através de duas formas, sendo uma delas automática e apenas interessa para a verificação automática de correto funcionamento do próprio equipamento. O seu princípio de funcionamento consiste na transmissão de luz onde o emissor e o recetor são colocados em lados opostos. Do emissor é emitida uma luz que atravessa a conduta e é espelhada no recetor, regressando novamente ao emissor (Figura 5).

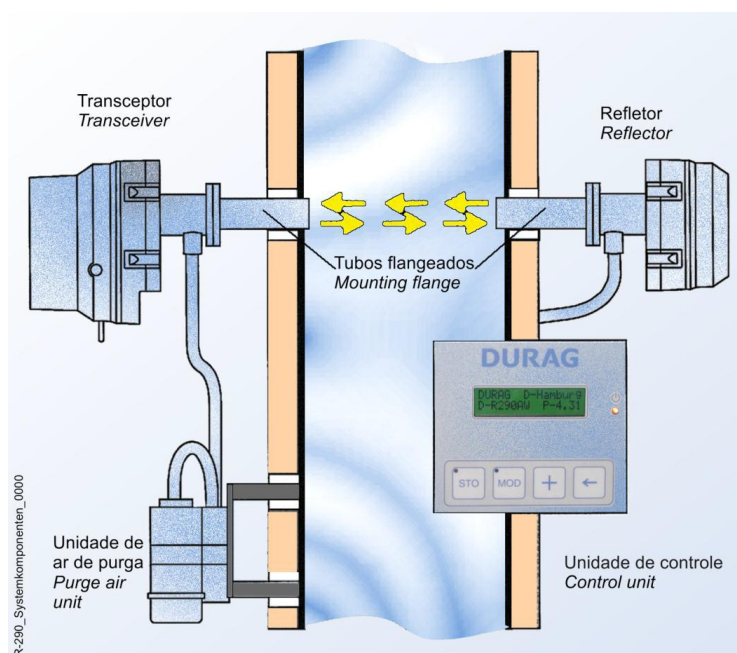


Figura 5 - Representação de funcionamento de medidor de Partículas Durag DR290 (Durag, 2011)

A luz é modulada emitida pelo emissor atravessa o meio de medição e é depois refletida. Irá ocorrer uma atenuação no feixe de luz, atenuação essa que é proporcional à quantidade de partículas existentes no interior do meio de medição (Figura 6).

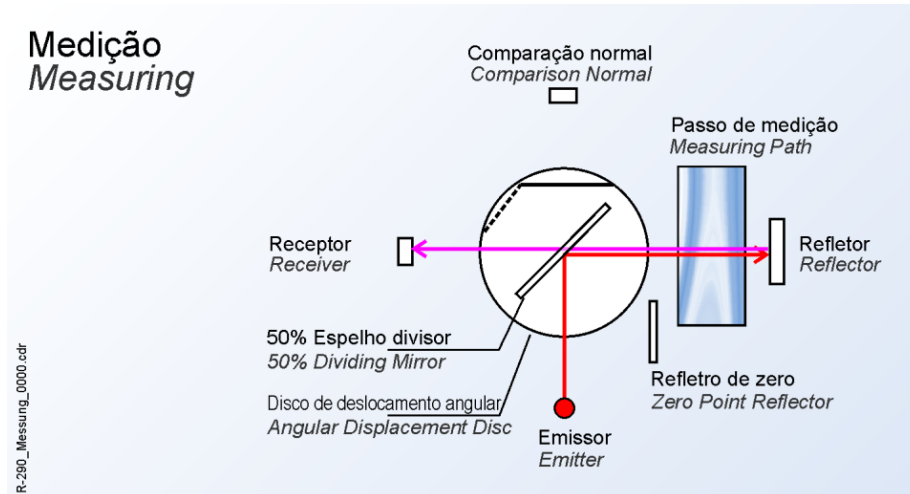


Figura 6 - Princípio de medição Durag DR290 (Durag, 2011)

No caso de uma verificação QAL2 ou mesmo QAL3, esta terá que ser feita recorrendo a um método em que a concentração a ser medida consiga ser “simulada” através de um substituto de partículas. Para isso são utilizados diversos filtros de linearidade, aferidos pelo fabricante que após colocados no equipamento este irá reagir e medir um valor de concentração que é definida por esse substituto (que na prática é um filtro de linearidade) – presente na Figura 7.

Importa referir que os testes de linearidade em bancada, terão que ser feitos em ambiente isento de partículas, sem que existam interferentes que influenciem os testes e com distâncias entre emissor e recetor igual às da instalação à qual pertence o equipamento.



Figura 7 - Filtro de linearidade DR290 (Durag, 2011)

O filtro é colocado no emissor na ranhura existente para o efeito (Figura 8, esquerda), cujo aspeto no seu interior está ilustrado na Figura 8 – direita.



Figura 8 – Esquerda: Procedimento de calibração Durag DR290. Direita: Verificação de calibração Durag DR290 (Durag, 2011)

Deste modo, e através dos diferentes filtros existentes, é possível verificar o comportamento do equipamento em medida assim como verificar a sua linearidade.

No caso de um sistema de amostragem gasoso por infravermelho é utilizado um emissor de infravermelho modulado que percorre uma câmara por onde circula a amostra de gás a ser medida até chegar ao detetor - Figura 9.

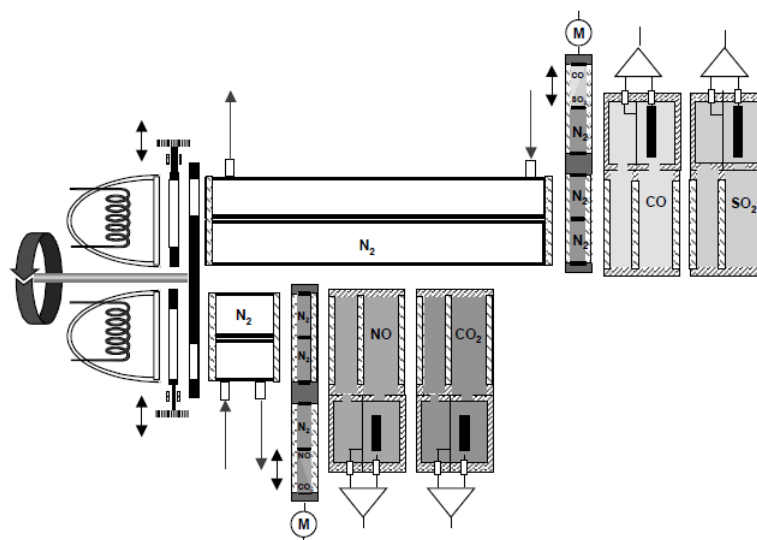


Figura 9 - Esquema de funcionamento de analisador de infravermelho (ABB, 2007)

Estes equipamentos podem também ser constituídos por um mecanismo móvel de verificação de calibração. Na prática, é uma célula de calibração que contém uma amostra gasosa no seu interior e que simula a passagem de determinada concentração de gás podendo desta forma ser

verificada a calibração do equipamento e se o equipamento se encontra dentro dos limites admissíveis ou se é necessário correção na calibração - Figura 10.

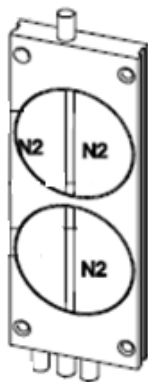


Figura 10 - Mecanismo de calibração (ABB, 2007)

As verificações de QAL3, caso o equipamento o permita, podem ser verificadas automaticamente. No caso de não ser possível a sua verificação automática de forma autónoma, deverão ser verificados manualmente.

3.3 Funções de calibração

As funções de calibração em primeira instância, após a colocação em serviço de um novo AMS são realizadas a cada 3 ou 5 anos, conforme exigência da licença ambiental em vigor para a instalação em questão.

QAL1 é a primeira garantia de qualidade de um sistema. QAL2 é o segundo nível de garantia de qualidade desse mesmo sistema. Não é possível a realização de um procedimento QAL2 a um equipamento sem certificação QAL1, dado que é um dos requisitos legais para o cumprimento da EN 14181.

O QAL 2 engloba duas fases distintas durante a sua realização: Ensaio de funcionamento do equipamento e a determinação da função de calibração individual para cada componente medido. Importa referir que QAL2 e AST, apesar de terem procedimentos semelhantes, são certificações distintas embora com algumas semelhanças. O Ensaio de Funcionamento em QAL2 é sempre a primeira etapa em que são utilizados materiais/equipamentos/concentrações de referência para ensaiar os sistemas de medição e a fim de se verificar o seu correto funcionamento, realizado naturalmente por um laboratório ou entidade devidamente creditada para o efeito.

A realização de medidas paralelas dependerá sempre da aprovação dos testes funcionais ao equipamento de medida. Na eventualidade de não ser aprovado, deverá ser tomada uma medida de ação para a aprovação do mesmo. A realização de medidas paralelas é a segunda fase em que nos dias seguintes são realizadas cerca de 15 medições paralelas em relação ao sistema de medição em contínuo, medições essas que serão comparadas com métodos de referência, numa fase mais tardia em laboratório. Através dos resultados em laboratório, é possível a determinação da função de calibração que será feita para cada componente medido pelo sistema de medição em contínuo.

Utilização de padrões certificados

A calibração dos equipamentos requer sempre a utilização de padrões certificados. No caso de equipamentos de medição de componentes gasosos, são utilizados padrões devidamente certificados que são fornecidos juntamente com o padrão pretendido.

No certificado analítico da garrafa (padrão de verificação) – presente na Figura 11 - de qualquer padrão podem ser encontradas as seguintes informações:

- Identificação do componente e respetivo valor analítico;
- Incerteza do padrão;
- Número da garrafa;
- Proprietário da garrafa;
- Tempo de estabilidade (Validade).



THE LINDE GROUP
Linde

Certificado HiQ® / HiQ® Certificate

BHB-SISTEMAS CONTROLO MEDIDA, LDA.
LARGO JOAO VAZ, 11.
P-1700-251 LISBOA

Página 1 de 1

Encomenda número: 10300430361/1
Garrafa número: 62031100350113
Proprietário da garrafa: Garrafa Linde
Volume da garrafa (l): 13,40

CERTIFICADO DE ANÁLISE
DIN EN ISO 6141

Componentes	Valor nominal	Valor analítico	Incerteza relativa em % ¹⁾
Propano	80,0 mg/m ³	76,3 mg/m ³	± 2
Azoto	Resto		

As indicações em percentagem e ppm devem ser interpretadas como partes ideais em volume. Em todas as indicações de volume consideram-se condições PTN (1013 mbar; 273,15 K)
1) expresso como Incerteza analítica expandida (factor de expansão k = 2):

Pressão (15° C):	aprox. 150 bar	Temperatura mínima de armazenagem:	N/A
Conteúdo:	2,010,00 l	Pressão mínima de utilização:	5 bar
Estabilidade:	36 meses	Temperatura de utilização:	10 °C - 30 °C
Válvula:	DIN 14	Peso líquido (Kg):	2,311
Nessa encomenda:	315828910 / 000020		
Vossa encomenda:	Enc. 49.17.960		

Data de preparação: 22.08.2016 - Responsável: Maria Joao Leandro
Este certificado foi gerado automaticamente após verificação meticolosa e é válido sem assinatura.
Linde Portugal, Lda. - Av. Infante D. Henrique, Lt. 21/24, 1800-217 Lisboa
Tel +351 218 310 424, Fax +351 218 599 844, www.linde.pt, comercial@pt.linde-gas.com

Figura 11 - Exemplo de certificado de padrão de calibração (Linde, 2017)

O certificado de calibração é da responsabilidade da entidade que realiza a sua preparação e tem que obedecer à norma DEN ISO 6141, que estabelece determinados requisitos (8):

- **Identificação do fornecedor** – identificação da entidade que fornece o padrão;
- **Identificação do cliente** – identificação da entidade que encomenda o padrão;
- **Composição da garrafa** – propriedade do gás ou de uma mistura de gás e o conteúdo de cada componente em específico;
- **Componentes da garrafa** – Substância química contida no gás ou na mistura de gases;
- **Impurezas** – Estão quase sempre presentes e não são desejadas;
- **Gás complementar** – Componente que completa a mistura de gás;

- **Incerteza *standard*** – É a incerteza do componente da garrafa expresso como desvio *standard*.

No caso de sistemas não extrativos, como é o caso dos medidores de partículas por opacidade ou por dispersão de luz, são utilizados filtros de linearidade devidamente calibrados e certificados pelo fabricante do equipamento.

No entanto, existem analisadores em que pode ser verificada a linearidade de determinado componente durante toda ou parcialmente na sua faixa de medição. Podem ser realizadas através de duas formas:

- Utilização de diversos padrões com diversas concentrações analíticas;
- Utilização de um diluidor.

A utilização de um diluidor (Figura 12) supõe que este seja devidamente certificado pelo seu fabricante. No entanto, este tipo de equipamento deverá ter um plano de calibração a ser realizada pelo fabricante do mesmo, de forma a se poder garantir a funcionalidade e certificação do mesmo.



Figura 12 - Diluidor Hovacal (IAS) (ABB, 2016)

3.4 Considerações Finais

Este Capítulo abordou os conceitos associados ao direito ambiental e quais as diretrizes que o regulam. Abordou também o conceito de monitorização pontual e em contínuo, quais as diferenças e qual o motivo pelo qual existe necessidade de distinção entre ambas. Este capítulo abordou também as garantias de qualidade necessárias aos equipamentos assim como as verificações necessárias a realizar.

4 Tecnologias

Neste Capítulo serão descritos alguns conceitos base de como funcionam os equipamentos e quais os seus princípios de medida. Na seção 4.1 é apresentado o benefício destes equipamentos e qual a sua utilidade. Nas seções 4.2 a 4.8 são apresentados os diversos tipos de analisadores existentes assim como descrito o seu funcionamento. Na secção 4.9 são enunciadas as considerações finais.

4.1 Conceito

Os analisadores de processo representam um investimento significativo. Além do custo financeiro do equipamento, há que considerar custos de montagem e comissionamento. Importa considerar também custos relacionados com a manutenção dos sistemas e respetivos equipamentos que podem, em muitos casos, serem bastante superiores aos custos do equipamento.

No entanto, os benefícios/proveitos do investimento, podem ser certamente muito grandes.

Através da aplicação deste tipo de equipamentos os mais diversos processos podem ser otimizados. Exemplo disso são processos de queima controlada em instalações de combustão e incineração em que a leitura de valores é o resultado correspondente do estado da combustão que está a ocorrer. É possível verificar se está a ser realizada uma correta combustão e assim corrigir eventuais problemas de combustão, permitindo realizar uma otimização no combustível consumido e desta forma reduzir ou eliminar fatores que contribuam para desperdício energético, logo, reduzir custos.

Outro exemplo é o de proteção de instalações ou sistemas processuais como, por exemplo, o caso de um electrofiltro – precipitador electrostático. Caso ocorra uma fonte de ignição em que o oxigénio é consumido libertando monóxido de carbono, podem ser ativados mecanismos de proteção imediatos que protejam a instalação, isolando-a parcialmente.

Algumas instalações fabris ou mesmo laboratórios não conseguem laborar sem analisadores de processo. Outras, têm tanta confiança nos analisadores de processo, que dispensam a existência de laboratórios químicos e respetivos custos nas suas instalações. Um analisador de processo, tipicamente tem uma resposta muito mais rápida do que qualquer laboratório, o que permite um controlo em tempo real de determinado processo de produção. Esta capacidade, ao longo dos anos, mudou drasticamente o *design* e processo de diversas produções/fábricas. Os analisadores de processo, tem que usar procedimentos analíticos de recolha e amostragem

muito semelhante ao que se faz em laboratório. No entanto, este sistema automático tem que ser dotado de elevada robustez e fiabilidade.

Idealmente, tal como em qualquer equipamento, os analisadores de processo assim como de emissões, deveriam funcionar em modo contínuo em qualquer condição de processo industrial sem qualquer tipo de manutenção ou atenção especial. É um objetivo difícil de cumprir. Grande parte dos analisadores quase que conseguem alcançar essa utopia, desde que recebam a sua manutenção preventiva adequada. Os sistemas de análise (o conjunto entre o analisador e o sistema de amostragem) também conseguem alcançar esse feito. Naturalmente claro, desde que recebam manutenção preventiva adequada. No entanto, é fulcral que exista uma compreensão detalhada dos sistemas de análise de forma a se poderem obter resultados aceitáveis. Esta é uma tarefa complicada na maioria dos casos visto que analisadores e respetivos sistemas de amostragem usam dezenas de técnicas analíticas, de forma a poder ser medido o componente pretendido no sistema. Podemos então concluir que existem cinco grandes categorias de analisadores de processo que importa conhecer, nomeadamente:

- 1) Analisadores de propriedades físicas;
- 2) Analisadores de propriedade molecular;
- 3) Analisadores eletroquímicos;
- 4) Analisadores fotométricos;
- 5) Analisadores por separação de compostos.

As próximas secções deste capítulo irão detalhar estes cinco tipos de analisadores.

4.2 Analisadores de propriedades físicas

Apesar de serem categorizados como analisadores de processo, este tipo de equipamento não mede a composição da amostra na totalidade. Ou seja, é medido apenas uma propriedade física do fluido com o resultado reportado nas respetivas unidades de medição. Este tipo de equipamento mede a qualidade de determinado fluido de processo em que a maioria deles necessita de um sistema de amostragem que permita o transporte e condicionamento até ao seu processamento.

É cada vez mais comum para processos de fábricas, a utilização de métodos de correlação para medidas de propriedades físicas em vez dos métodos tradicionais. O método de correlação utiliza propriedades do fluido de amostra em que a sua medição é mais simplificada e estimada

através de um modelo matemático. A maioria destes métodos de correlação são fotométricos, tais como Infravermelho, espectrometria RAMAN e ressonância magnética nuclear. Os métodos de correlação funcionam corretamente desde que a composição do processo permaneça com os parâmetros do modelo a ser utilizado. Caso haja um desvio na composição do processo, talvez haja necessidade de alterar o modelo.

Os Sistemas de Amostragem para analisadores de propriedades físicas no seu geral, não são difíceis de projetar. Na sua maioria, necessitam de uma amostra limpa, em perfeito estado físico com pressão e temperatura adequada. No entanto, cada técnica pode requerer considerações especiais tais como, a qualidade da amostra recolhida.

4.3 Analisadores de propriedade molecular

Existem determinados tipos de analisadores que medem uma característica própria das moléculas e usam-na para interferir com a concentração dessas mesmas moléculas numa amostra gasosa. Na Tabela 3 apresentam-se alguns dos diferentes tipos de medição.

Tabela 3 - Tipos de medição

Medição realizada	Propriedade medida
Oxigénio	Energia paramagnética
Hidrogénio	Condutividade térmica do gás
Hidrocarbonetos (TOC)	Ionização de chama
Gases combustíveis	Oxidação catalítica
Mistura e temperaturas em ponto de orvalho	Condensação em vidro arrefecido, frequência de quartzo, medida de capacitância

Novamente, este tipo de analisadores requer que a amostra seja limpa, livre de contaminantes e condensações. Normalmente, o analisador controla e mantém a temperatura da amostra e/ou pressão ou compensa os seus valores durante a medição da amostra.

Analisadores de baixo teor de humidade têm frequentemente uma baixa ou variável resposta devido ao facto de ocorrer uma absorção de moléculas de água nas tubagens, superfícies ou mesmo em filtros no circuito. Esta situação pode e deve ser eliminada, daí a importância de um condicionamento adequado e funcional. Variações de temperatura ao longo do circuito devem ser eliminadas, logo, a amostra, tal como a maioria do circuito, deverá ser aquecida. As medidas podem sofrer interferência de outras substâncias que poderão estar presentes na

amostra dado que as propriedades moleculares da amostra são verdadeiramente únicas. Existem gases que irão reagir e produzir uma resposta positiva que é somada à leitura real do equipamento, e outros que irão ter uma ação contrária.

Por exemplo: um analisador de oxigénio paramagnético reage fortemente na presença de óxido nítrico (o valor medido no final é superior ao real); um analisador de condutividade térmica responde negativamente ao dióxido de carbono; um analisador de hidrocarbonetos (TOC) pode reagir subtilmente mediante a qualidade do ar de instrumentação utilizado para a ionização da chama.

4.4 Analisadores eletroquímicos

Os analisadores eletroquímicos utilizam células eletroquímicas para medição de concentração de iões em soluções. A Tabela 4 apresenta alguns tipos de analisadores eletroquímicos.

Tabela 4 - Tipos de analisadores eletroquímicos

Técnica de medição	Medida típica
Célula de zircónio	Oxigénio
Célula de membrana galvânica	Oxigénio dissolvido
Célula potenciométrica	Gás tóxico
Condutividade	Concentração de iões
Eléttodos de vidro	Valor de pH
Potencial de oxidação-redução	Reação redox
Célula colorimétrica	Compostos de enxofre
Célula amperimétrica	Cloro residual

Os sensores potenciométricos (como é o caso das células de zircónio) têm como resultado um valor de tensão que representa a concentração medida. Isto acontece devido ao facto de tipicamente um eléctrodo de medição perde ou ganha eletrões para medir iões em determinada solução. As variações de tensão de nada servem se não forem referenciadas ou comparadas com uma referência. Neste caso, a existência de um eléctrodo passivo de referência completa o circuito. Todos os eléctrodos de seletividade de iões funcionam mediante um princípio semelhante.

Os sensores amperimétricos têm como resultado um valor de corrente que representa a concentração medida. Tipicamente numa reação iónica existe uma reação em que são consumidos eletrões de um cátodo que são entregues ao ânodo, desta forma criando uma corrente proporcional a esta transferência. Um exemplo perfeito são células de condutividade assim como sensores de oxigénio.

Os restantes sensores presentes na Tabela 4 funcionam através de princípios semelhantes, recorrendo sempre à condutividade para gerar um potencial elétrico e conseqüentemente uma corrente elétrica variável.

Os sensores de zircónio podem ser construídos de variadas formas, mas todos eles obedecem ao mesmo princípio de construção: um componente normalmente com formato de tubo fechado numa extremidade, e todo ele é coberto por eléctrodos porosos de platina (Figura 13).



Figura 13 - Sensor de Zircónio (BHB, 2017)

Acima de uma temperatura a rondar os 400°, o sensor de zircónio começa a ser condutor de iões de oxigénio, onde é gerada uma diferença de potencial entre os eléctrodos. No entanto, a sua temperatura normal de funcionamento será sempre perto de 700°. O nível de valor de tensão depende da diferença de potencial entre os eléctrodos. Este tipo de sensores funciona também com base na comparação entre uma referência, geralmente o ar de instrumentação ou em alguns casos, ar ambiente.

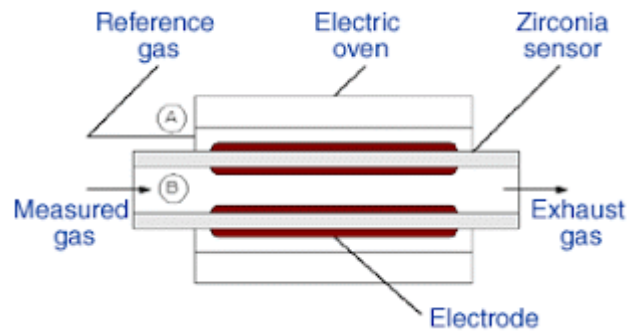


Figura 14 - Estrutura interna de um sensor de zircônio (ABB, 2016)

As células cerâmicas de zircônio permitem que apenas os íons de Oxigênio circulem através de altas temperaturas. Com o gás de referência (ar de instrumentação) de um lado e o gás de amostra do outro (Figura 14), a movimentação dos íons de oxigênio movem-se do lado em que a concentração é mais alta em relação à mais baixa, gerando uma força eletromotriz que pode ser medida e assim determinar o teor de oxigênio que determinada amostra contém. A força eletromotriz (Figura 15) gerada irá sempre depender da temperatura da célula de zircônio assim como da concentração do gás de referência (ar de instrumentação).

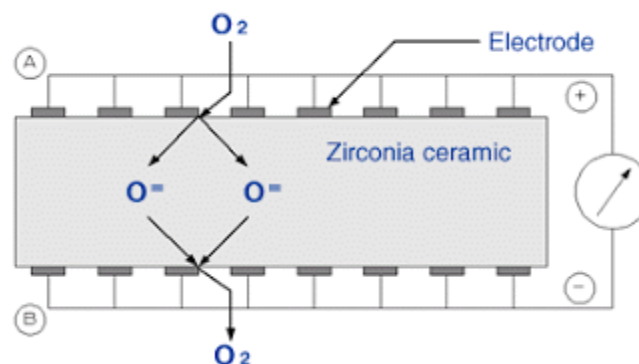


Figura 15 – Movimentação iônica num sensor de zircônio (ABB, 2016)

Os analisadores de zircônio operam sempre a uma temperatura elevada (Figura 16), e a sua eficiência assim como a duração de vida do sensor, podem ser influenciadas caso não existam cuidados devidos, tais como:

- Não medir gás inflamável porque pode (e irá certamente) causar uma reação de combustão, logo, o resultado da medição é falseado;
- Não medir gás com teor de monóxido de carbono de elevado poder calorífico (o sensor irá acumular um histórico de calor o que poderá danificar o eletrodo de platina – descascamento do sensor);

- Não medir gás corrosivo;
- Não medir gás com elevado teor de humidade, poeira e névoa;
- Controlar e calibrar as pressões dos gases de medição assim como do ar de referência;
- Controlo da temperatura dos gases a serem medidos é essencial.

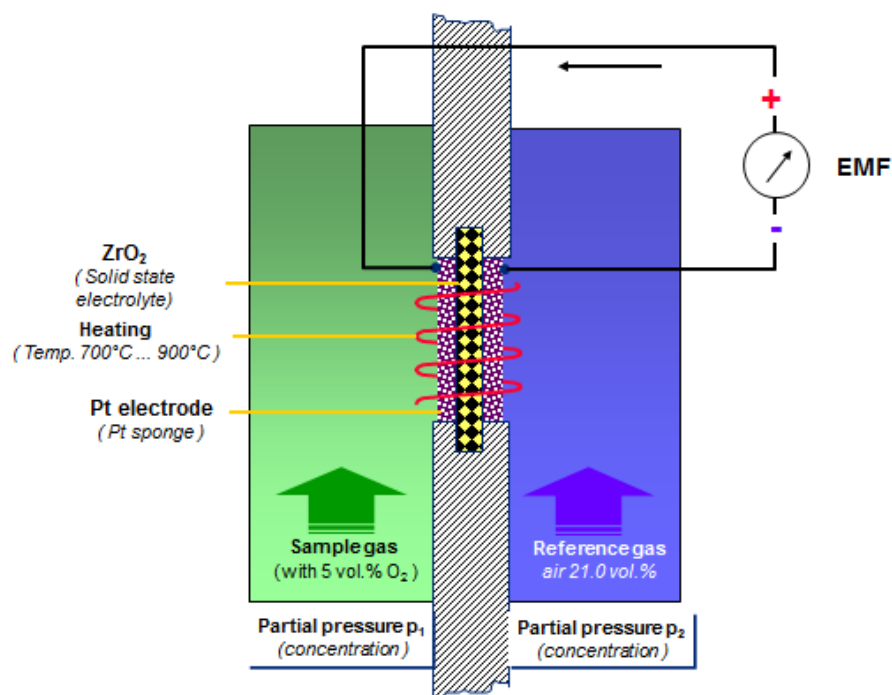


Figura 16 - Princípio de funcionamento de um sensor de zircónio (ABB, 2016)

Os **sensores eletroquímicos** são na prática, uma pilha com um eletrólito no seu interior (Figura 17), sendo constituídos por um cátodo, por um ânodo e por uma solução aquosa – Eletrólito. A separação entre o interior do sensor e o gás a ser medido é realizado através de uma membrana que impede que ocorra mistura do gás com o eletrólito e vice-versa. No seu interior ocorre uma reação química semelhante ao sensor de zircónio, isto é, através de reações químicas no interior da célula, é gerada uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo, em que os seus valores são proporcionais à concentração de oxigénio a ser medida.

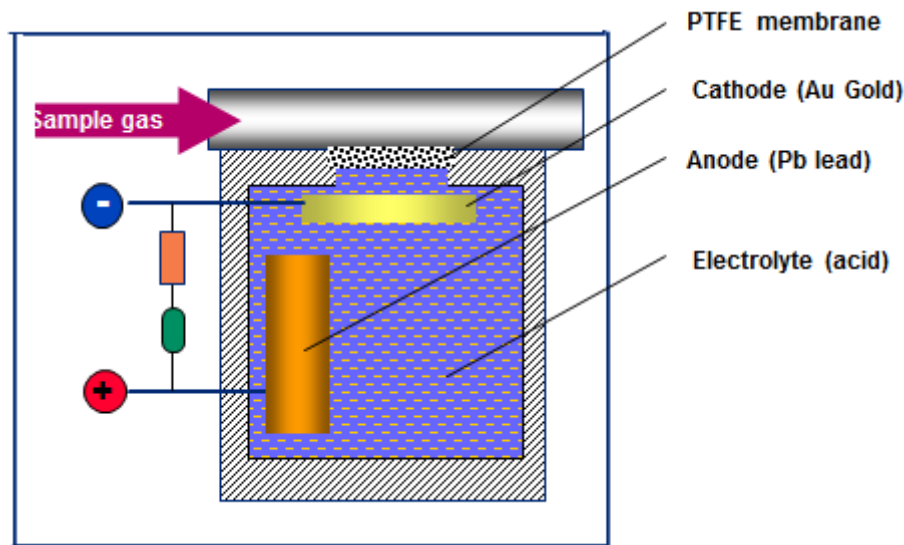
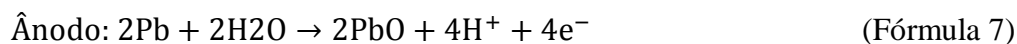


Figura 17 - Constituição interna de uma célula eletroquímica KE25 (Sensor de Oxigênio) (ABB, 2009)

As reações químicas que ocorrem no seu interior podem ser descritas pelas seguintes equações 1 a 3:



O cátodo da célula eletroquímica é constituído por ouro e o ânodo por chumbo, sendo utilizado um ácido fraco como eletrólito. No cátodo, com o oxigênio do gás de amostra, ocorre uma absorção eletroquímica do oxigênio. No ânodo, o Chumbo liberta eletrões e é oxidado para formar óxido de chumbo. À semelhança de uma convencional bateria, a sua durabilidade é também um fator importante a ter em consideração. Apesar de nem todos estes sensores terem uma duração média de vida semelhante, necessitam frequentemente de ser ajustados para o valor máximo de tensão da célula. À medida que vai envelhecendo, o seu valor máximo de tensão diminui, o que vai implicar que a leitura da medida de oxigênio seja mais baixa do que deveria ser na realidade (Figura 18)

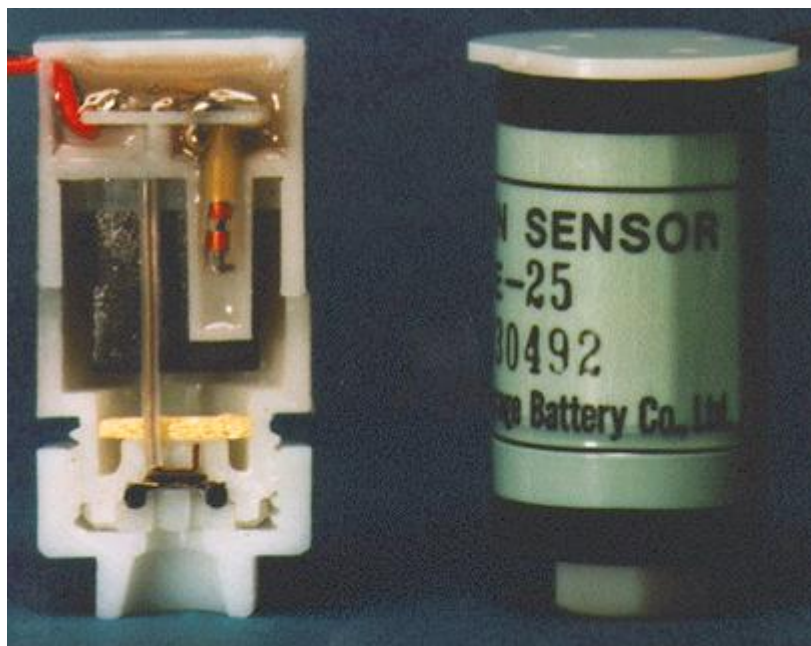


Figura 18 - Aspeto físico de uma célula eletroquímica KE25 (Sensor de Oxigénio) (ABB, 2009)

4.5 Analisadores fotométricos

Os analisadores de fotometria operam com base na quantidade de luz absorvida ou emitida pelas moléculas em determinada amostra a ser medida. Um fotómetro mede a energia da luz absorvida numa pequena quantidade de bandas de comprimentos de onda em que a luz é dividida num espectro de comprimentos de onda e em que podem ser utilizados vários comprimentos de onda para determinar concentrações. A luz interage com a matéria a ser medida de diferentes formas, dependendo do comprimento de onda da radiação. Os olhos do ser humano permitem apenas visualizar uma estreita banda de comprimentos de onda, ou seja, a região visível do espectro. No caso de uma luz visível, cada luz tem um comprimento de onda diferente (Figura 19).

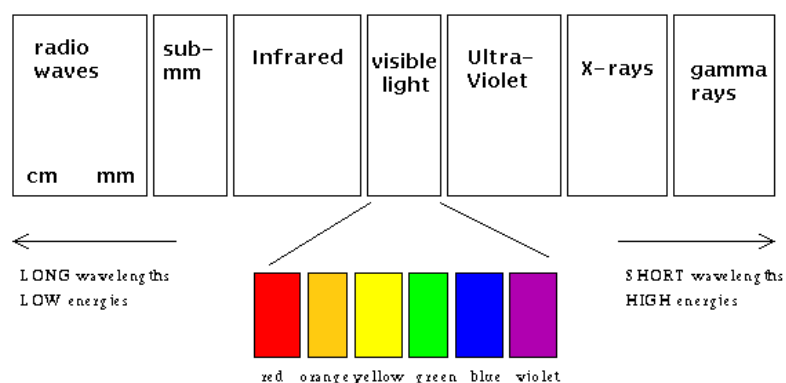


Figura 19 - Representação dos espectros de cores (ABB, 2009)

Não é possível ao olho humano visualizar uma luz que tenha maior comprimento de onda do que a luz vermelha. De igual forma, também não é possível ao olho humano visualizar uma luz que tenha menor comprimento de onda do que a luz violeta, apesar de ser possível detetá-las.

4.5.1 Analisadores de micro-ondas

A região das micro-ondas tem comprimentos de onda superiores ao da luz visível. Algumas moléculas, especialmente a água, tem a capacidade de absorver energia. Consequentemente, com a absorção da energia, a temperatura das moléculas aumentará naturalmente.

Um das utilizações de analisadores de micro-ondas na indústria é a capacidade de medição de concentração de vapor de água em determinado gás, ou, determinar a concentração de água em determinada superfície.

4.5.2 Analisadores de infravermelho

Espectrometria por infravermelho é um instrumento analítico que foi projetado e já com largos anos de utilização. Utiliza o princípio de medição de absorção de infravermelho, isto é, o princípio de que as moléculas de determinado gás absorvem o feixe infravermelho e analisa de forma contínua a variação da concentração de determinado componente de uma mistura gasosa. É um método de análise espectral em que as moléculas, através da absorção da energia radiante do infravermelho, oscilam e rodam. Esta tecnologia opera através de um espectro eletromagnético no qual o seu comprimento de onda λ (lambda) se encontra numa faixa de valores específica, também conhecida por região de infravermelho (*IR – Infrared*) tal como representado na Figura 20, Figura 21 e Figura 22.

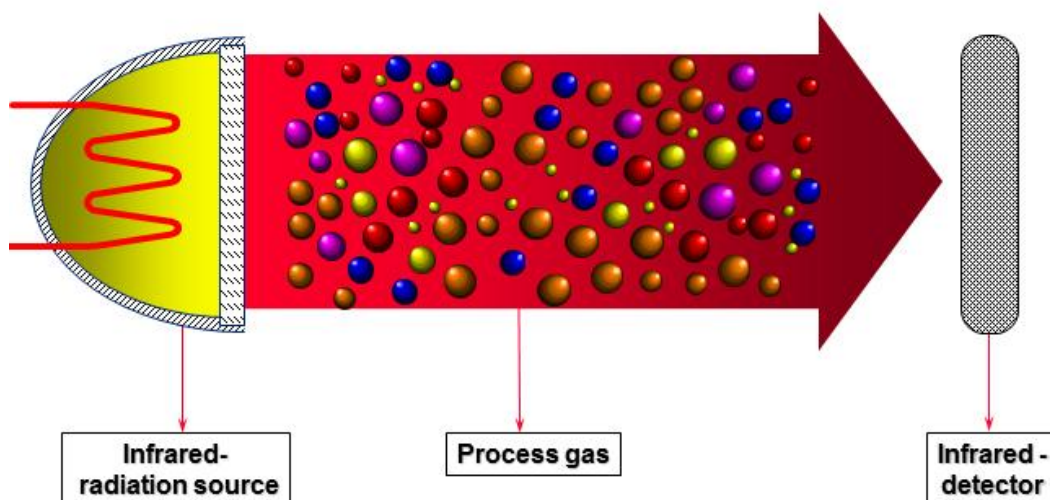


Figura 20 - Representação de funcionamento de medição de gases por infravermelho (ABB, 2009)

Como é natural, cada molécula de determinado gás reage a determinado comprimento de onda específico do espectro (e respetiva frequência correspondente) em que através da emissão do infravermelho e com base na transmitância e absorção deste feixe, é possível determinar a concentração do gás em questão. Ou seja, de outra forma, as moléculas são sempre afetadas pelo feixe infravermelho, todas elas. No entanto, e devido ao facto das moléculas de cada gás reagirem apenas em determinadas posições do espectro (Figura 22), é possível distinguir qual o componente que está presente.

Uma amostra gasosa transporta sempre vários componentes a serem medidos. A sua medição é feita através de um detetor que irá apenas reagir para o comprimento de onda do espectro pretendido e assim conseguir identificar o componente presente na amostra gasosa.

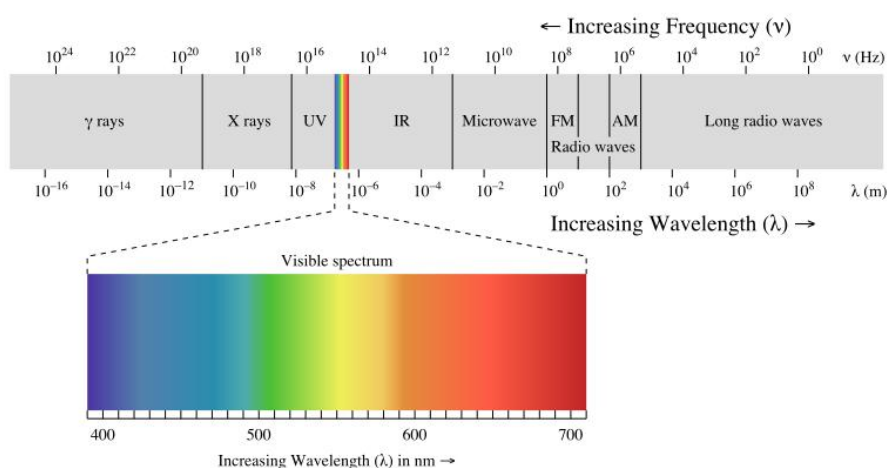


Figura 21 - Representação dos espectros de cores nos diferentes comprimentos de onda (ABB, 2009)

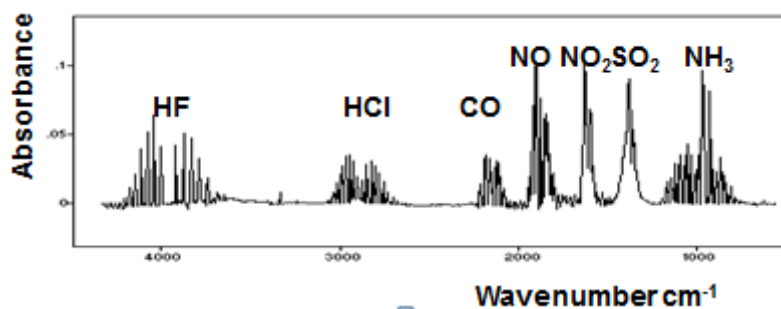


Figura 22 - Representação da absorvância nos diferentes comprimentos de onda (ABB, 2009)

Todas as regiões do espectro eletromagnético interagem de alguma forma com a matéria (vibração molecular, *spin* do eletrão, rotação molecular). No caso dos analisadores de infravermelho, é possível obter essa interação através da absorção de energia eletromagnética. Neste caso, a absorção ocorre por vibração molecular. Logo, podemos concluir que existe um

feixe luminoso que atravessa determinado gás. As moléculas irão vibrar numa determinada frequência e estas irão também absorver a energia eletromagnética.

A energia eletromagnética absorvida em determinada banda de frequência, irá resultar naturalmente numa atenuação da transmitância que pode ser descrita matematicamente pela lei de Beer-Lambert em que:

$$E = E_0 * e^{-\varepsilon * c * l} \quad (\text{Fórmula 9})$$

E = Energia recebida após passagem do gás

E₀ = Energia emitida (energia máxima, transmitância a 100%)

ε = Constante de absorção/extinção de energia do gás

c = Concentração (%)

l = Comprimento do caminho ótico que o feixe luminoso percorre (mm)

De uma forma resumida, podemos concluir que em espectroscopia infravermelha, a porção da região mais utilizada para análise de componentes orgânicos não se situa imediatamente adjacente ao espectro de luz visível, mas sim, numa faixa de comprimento de onda entre os 2500 nm e os 16000 nm. Podemos concluir que as suas frequências se situam entre (9):

$$2500 \text{ nm} (1\text{m} = 10^9\text{nm})$$

$$v = \frac{2500 \text{ nm}}{10^9\text{nm}} = 2.5 * 10^{-6}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Em que:

$$c = 3.0 * 10^8 \text{ m/s} (\text{Velocidade da luz no vácuo})$$

Logo:

$$f = \frac{3.0 * 10^8 \text{ m/s}}{2.5 * 10^{-6} \text{ m}} = 1.2 * 10^{14} \text{ Hz}$$

Assim como:

$$16000 \text{ nm} (1\text{m} = 10^9\text{nm})$$

$$v = \frac{16000 \text{ nm}}{10^9 \text{ nm}} = 1.6 * 10^{-5} \text{ m}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Em que:

$$c = 3.0 * 10^8 \text{ m/s (Velocidade da luz no vácuo)}$$

Logo:

$$v = \frac{3.0 * 10^8 \text{ m/s}}{1.6 * 10^{-5} \text{ m}} = 1.875 * 10^{13} \text{ Hz}$$

Portanto, as frequências do espectro de luz infravermelha situam-se entre os $1.875 * 10^{13}$ e os $1.2 * 10^{14} \text{ Hz}$.

Exemplo:

Na imagem abaixo, está representado um esquema de absorvância para alguns componentes.

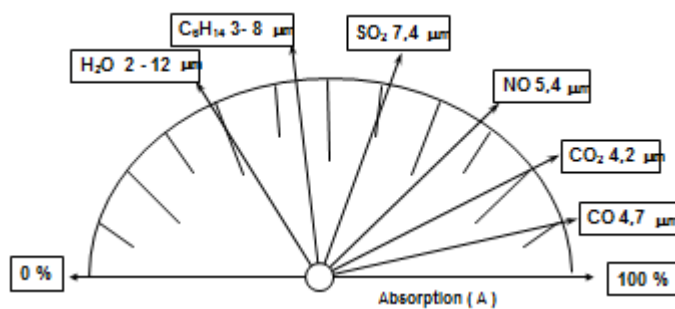


Figura 23 - Frequências de absorção

No caso do CO, a sua frequência de absorção situa-se na zona dos 4.7 μm .

Ou seja, o seu comprimento de onda é:

$$1 \mu\text{m} = 1 * 10^{-4} \text{ cm}$$

$$4.7 \mu m = 4.7 * 10^{-4} cm$$

$$cm^{-1} = \frac{1}{cm} \Leftrightarrow cm^{-1} = \frac{1}{4.7 * 10^{-4}}$$

Logo:

$$2127.659 cm^{-1}$$

No caso do NO, a sua frequência de absorção situa-se na zona dos 5.4 μm .

Ou seja, o seu comprimento de onda é:

$$1 \mu m = 1 * 10^{-7} cm$$

$$5.4 \mu m = 5.4 * 10^{-7} cm$$

$$cm^{-1} = \frac{1}{cm} \Leftrightarrow cm^{-1} = \frac{1}{4.7 * 10^{-7}}$$

Logo:

$$1851.851 cm^{-1}$$

Tal como representado na Figura 22 e na Figura 23, podemos constatar a absorvância de ambos os componentes e a frequência de onda.

Os analisadores mais comuns em processo são de luz infravermelha não dispersiva (NDIR), laser (TDL), *near infra-red* (NIR) e Analisadores de infravermelhos por Transformada de Fourier (FTIR). Contrariamente a fotometria por NDIR ou TDL que medem apenas um ou dois componentes numa amostra gasosa (em alguns casos é possível a medição de um terceiro componente), tecnologia NIR e FTIR tem a capacidade de medição de vários componentes, visto que permitem medir a absorção de múltiplos comprimentos de onda.

4.5.3 Analisadores de espectroscopia Raman

Tal como a absorção por infravermelho, em espectrometria Raman é medida a quantidade de energia absorvida através de discretas vibrações dos átomos das moléculas da amostra.

Tipicamente, a amostra é iluminada por um laser monocromático e o analisador deteta o comprimento de onda assim como a intensidade da luz espalhada. Em comparação com outros métodos de espectroscopia vibracional, tais como FTIR e NIR, o método Raman tem algumas

vantagens. Uma das vantagens, é devido ao seu funcionamento, e à não necessidade de existência de condicionamento da amostra. São utilizadas sondas óticas que são inseridas diretamente na amostra, desde que sejam colocadas numa correta localização. As sondas usam fibras óticas para emissão e recolha dos comprimentos de onda medidos.

4.5.4 Analisadores de Ultravioleta

A região do espectro em que a luz ultravioleta se encontra inserida, encontra-se entre os 100 e os 400 nm. A região visível e a região ultravioleta utilizam *hardware* semelhante na constituição do equipamento de medição. No entanto, a energia ultravioleta tem uma diferente forma de interação com as moléculas do que a energia infravermelha.

A parte energética mais alta da radiação ultravioleta provoca uma distorção dos elétrons de valência que unem dois átomos na mesma molécula. Os elétrons absorvem alguma dessa energia, ficando num estado de excitação. Depois, os mesmos elétrons excitados retornam à sua condição inicial libertando a sua energia extra como calor ou como ondas eletromagnéticas de maior comprimento de onda do que a radiação incidente original.

Os analisadores de absorção ultravioleta medem a quantidade de energia absorvida pelas moléculas em determinados comprimentos de onda característicos. Grande parte dos analisadores usam simples filtros de *bypass* para selecionarem os comprimentos de onda medidos – Exemplo de analisadores de ultravioleta não dispersivo. Outros usam emissores de luz monocromáticos – TDL.

Os analisadores de fluorescência ultravioleta (UVF) conseguem medir a quantidade de energia emitida para determinada radiação, tipicamente passando a luz através de um filtro ótico que bloqueia os comprimentos de onda incidentes e permite que a energia fluorescente atinja o detetor. Este tipo de analisadores que usam como fonte emissora uma lâmpada de Xenon pulsada (PUVF) conseguem ter uma maior sensibilidade do que aqueles que usam uma fonte de luz constante (Figura 24).

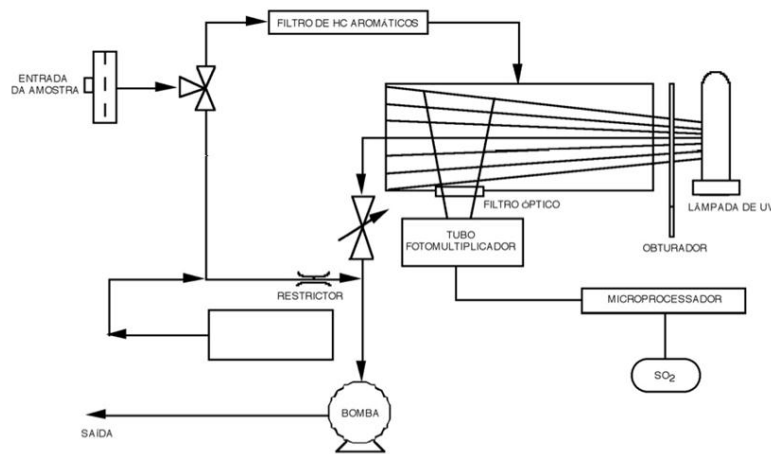


Figura 24 - Esquema de funcionamento de um analisador de baixas concentrações por método de ultravioleta (Horiba, 2009)

4.5.5 Analisadores de Quimiluminescência

Fluorescência é a capacidade de uma substância emitir luz quando exposta a radiações do tipo ultravioleta, raios catódicos ou raios X. As radiações absorvidas, neste caso, transformam-se em luz visível, ou seja, com um comprimento de onda maior do que a radiação incidente.

Por sua vez, a quimiluminescência é uma fluorescência causada por uma reação química a frio. Tipicamente, a amostra reage com ozono no interior de uma célula ótica formando moléculas em estado de excitação que emitem radiação fluorescente. A energia radiada atravessa um filtro ótico e entra num detetor que consegue medir valores de muito baixa concentração.

Uma das aplicações comuns é a medida de óxido nítrico em gás de amostra.

A Figura 25 representa a estrutura interna de um analisador cujo método utilizado é quimiluminescência.

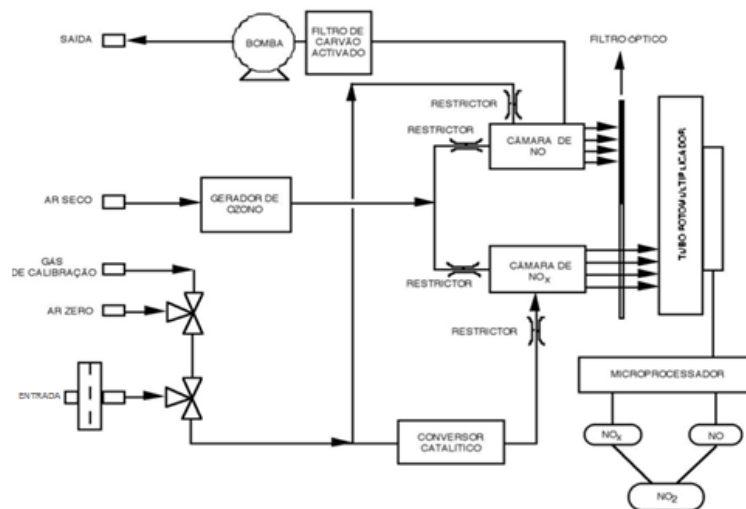


Figura 25 - Esquema de funcionamento de um analisador de baixas concentrações por método de quimiluminescência (Horiba, 2009)

No entanto, além da medição de NO, o analisador também pode medir outros componentes/derivados do NO, nomeadamente Óxido Nítrico (NO_x) através da conversão de NO₂ em NO que se realiza num conversor.

4.5.6 Analisadores de ressonância magnética nuclear

A espectroscopia de ressonância magnética nuclear é uma técnica analítica de química usada em controlo de qualidade e pesquisa pela determinação do conteúdo e grau de pureza de uma amostra assim como a sua estrutura molecular. Por exemplo, é possível analisar quantitativamente misturas que contêm componentes conhecidos. Assim que a estrutura básica é conhecida, a técnica de ressonância magnética nuclear pode ser utilizada para determinar a estrutura molecular numa solução ou também estudar as suas propriedades físicas ao nível molecular tais como alterações de fase, solubilidade e difusão.

O princípio básico de ressonância magnética nuclear consiste em que os seus núcleos (das moléculas) possuem momento angular (também chamado de *spin*) e são eletricamente carregados. Se um campo magnético externo for aplicado, é possível uma transferência de energia entre a energia base até um nível energético superior. A transferência de energia (Observado na Figura 26) ocorre quando o comprimento de onda corresponde às frequências de rádio e quando o momento angular dos núcleos retorna ao seu nível de base, altura em que a energia é transmitida à mesma frequência.

O sinal que corresponde a esta transferência é medido de diferentes formas e processado de forma a produzir um espectro para o núcleo correspondente.

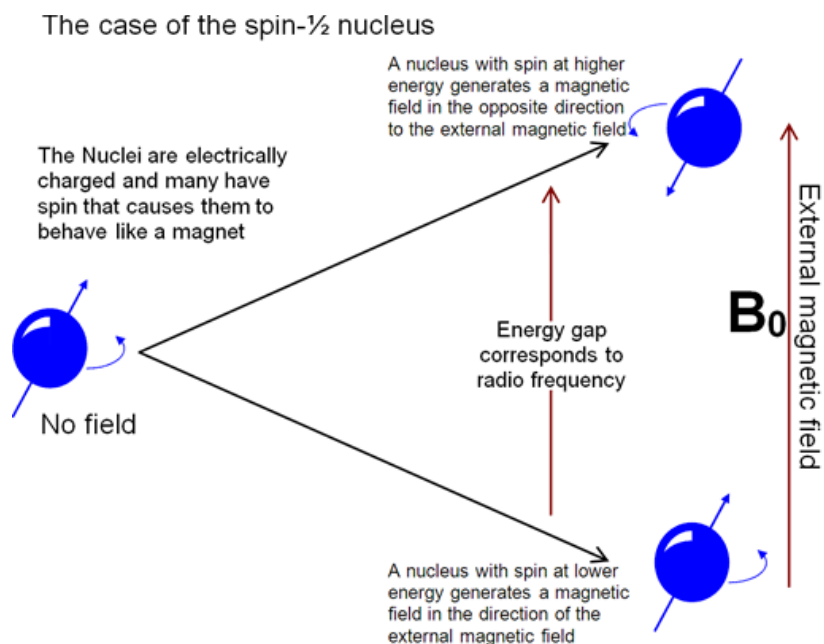


Figura 26 - Momento angular (spin) do núcleo (Horiba, 2009)

A frequência de ressonância exata da energia de transição está dependente do campo magnético efetivo que existe no núcleo. Este campo é afetado pelo escudo que existe no elétron que acaba por depender do ambiente químico. Como resultado, informação química sobre o núcleo pode ser derivada da sua frequência ressonante. No geral, quanto mais eletronegativo for o núcleo, maior é a sua frequência ressonante.

A ressonância magnética nuclear tem também vantagens: a resposta espectral é linear e não necessita transmissão ótica, logo, este tipo de analisadores podem medir líquidos escuros ou mesmo opacos.

O analisador usa métodos quimiométricos para determinar a concentração de múltiplas análises de forma a estimar determinadas propriedades físicas da amostra.

4.6 Analisadores por separação de compostos

Existem alguns tipos de analisadores um pouco mais complexos do que os restantes que conseguem separar as moléculas a serem analisadas, de outras moléculas da amostra a recolher. São eles:

- Analisadores por cromatografia gasosa e líquida;
- Analisadores por espectrometria de massa.

4.6.1 Analisadores por cromatografia gasosa e líquida

Cromatografia gasosa (Figura 27) é um processo de análise química instrumental por separação de compostos químicos de uma amostra com elevado grau de complexidade.



Figura 27 - Cromatógrafo Siemens

A cromatografia gasosa usa um tubo estreito através do qual se dá o fluxo conhecido como coluna, através do qual diferentes constituintes de uma amostra passam numa corrente de gás em diferentes taxas dependendo de várias propriedades físicas e químicas. Ocorre então a interação com esse fluxo (coluna), a chamada fase estacionária. A função da fase estacionária na coluna é a separação dos componentes diferentes, causando a cada um, a saída da coluna em tempos diferentes (tempo de retenção) - Figura 28.

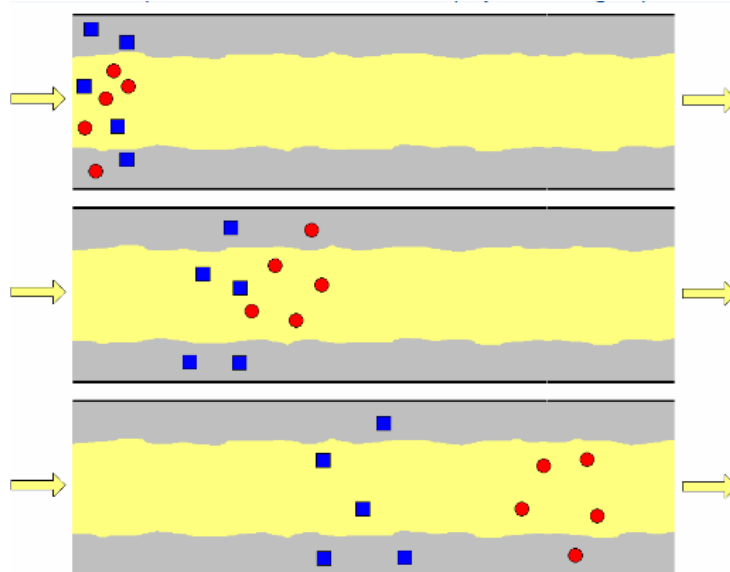


Figura 28 – Representação da separação de misturas por interação diferencial dos seus componentes (ABB, 2011)

Em cromatografia gasosa a separação ocorre na coluna cromatográfica, em que existem duas fases envolvidas no seu processo, que são elas a fase estacionária e a fase móvel. A fase estacionária reside na própria coluna e pode ser tanto líquida como sólida tal como representado na Figura 29. A fase móvel em cromatografia gasosa é constituída por gás inerte (Hélio e Azoto) e que é utilizado como veículo de transporte de todas as moléculas químicas em que se pretende realizar a separação química - *stream*. A fase móvel em cromatografia líquida é constituída por um líquido de baixa viscosidade.

Quando um sólido adsorvente serve como fase estacionária, a técnica é chamada de cromatografia gás-sólido (CGS) e quando um líquido é distribuído sobre um sólido inerte ou quando cobre a parede interna de um tubo com uma fina camada, chama-se cromatografia gás-líquido (CGL).

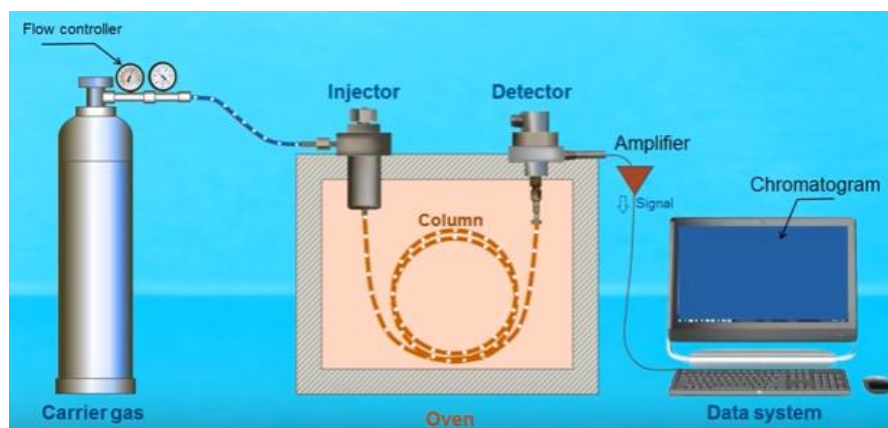


Figura 29 - Representação genérica de um sistema de cromatografia (ABB, 2011)

O gás de arraste - *stream* (N_2 , H_2 ou Hélio), passa através de um regulador de pressão e penetra no sistema de injeção de amostra, arrastando a amostra para dentro da coluna de separação. Os componentes da amostra são separados durante a passagem pela coluna e, um após o outro, passam pelo detetor que, por sua vez, envia um sinal elétrico a um amplificador. Finalmente, o gás passa através de um medidor de caudal e é então, libertado para a atmosfera. Quando qualquer substância diferente do gás de arraste passa pelo detetor, este envia um sinal elétrico ao sistema de dados, que representará a alteração que irá constituir o cromatograma - Figura 30. Ou seja, a amostra é injetada no circuito a uma temperatura elevada em que é vaporizada e é misturada com a fase móvel dentro da fase estacionária (a coluna é preenchida com a fase estacionária) que irá percorrer em direção ao detetor eletrónico.

Em cromatografia gasosa para ocorrer a separação das moléculas, a molécula tem que ser volátil, caso contrário não é possível a utilização desta técnica. Importa referir que, quimicamente, Volatilidade significa a facilidade que a substância tem de passar do estado

líquido para o estado gasoso. Ou seja, a molécula ao ser volátil irá vaporizar ao mesmo tempo que é transportada no gás de transporte - *stream* (gás inerte) através da coluna na fase móvel.

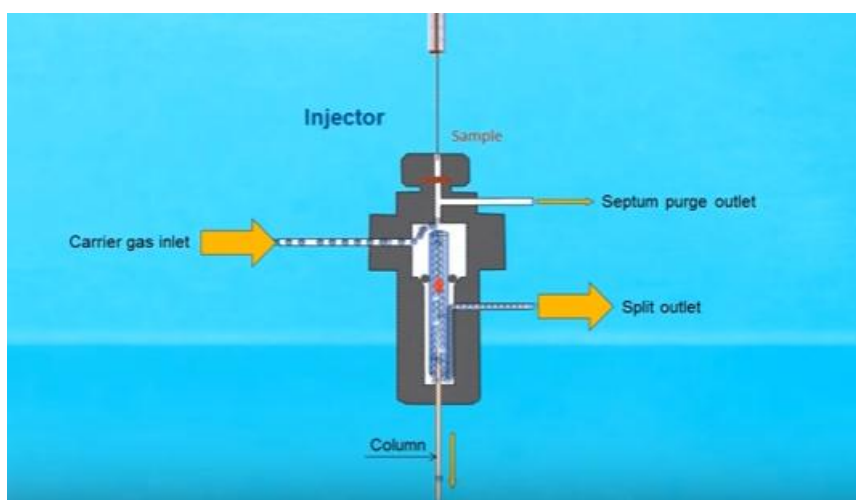


Figura 30 - Ponto de injeção de amostra a ser quantificada (ABB, 2011)

Existem vários fatores que afetam a separação, tais como a estrutura química do composto, a fase estacionária em si assim como a temperatura da coluna. Este último é um fator muito importante para o funcionamento correto de um sistema de cromatografia. O tempo de retenção de uma substância é o tempo gasto desde que a amostra é injetada, até ao momento em que o maior número de moléculas da substância sai do sistema cromatográfico e é detetado. O tempo de retenção é característico de uma dada substância, em condições determinadas de análise. Dessa forma, para uma dada coluna, um dado gás de arraste e condições de temperatura e pressão estabelecidas, cada substância tem um tempo de retenção próprio, que permite a sua identificação através da comparação com a análise de padrões, realizada sob as mesmas condições. A movimentação da fase móvel pela fase estacionária dentro da coluna associado ao facto de as moléculas terem polaridade, é o que faz com que exista separação das moléculas. Ou seja, ocorre adsorção das moléculas a uma superfície adsorvente (neste caso, uma superfície sólida) - Figura 31.

Esta adsorção irá contribuir para o tempo de retenção das moléculas.

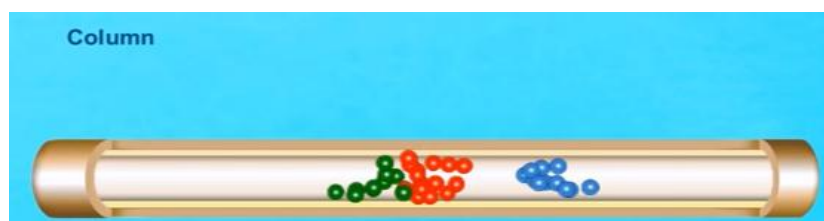


Figura 31 - Coluna de adsorção (ABB, 2011)

Na generalidade, a cromatografia gasosa é aplicável para separação e análise de misturas em que os constituintes da fase móvel tenham pontos de ebulição até 300° e claro, desde que sejam termicamente estáveis.

Moléculas com elevada volatilidade atingem o detetor mais rapidamente, logo o tempo de retenção é menor. Em cromatografia gasosa, o importante é então o tempo de retenção, ou seja, o tempo que as moléculas demoram a chegar ao detetor desde a fase de injeção. À medida que as moléculas atingem o detetor do cromatógrafo, será gerado um cromatograma (Figura 32), que é o registo gráfico de uma análise por método cromatográfico. Nesse registo, é possível a visualização da separação dos diferentes componentes da mistura de gases (*stream*) onde através dos tempos de retenção assim como pelas áreas dos picos medidos, é possível a determinação da concentração de cada substância contida no *stream* medido.

A análise quantitativa está relacionada com a área formada sob os picos, pois a intensidade do sinal enviado pelo detetor é proporcional à quantidade de substância presente na amostra. Para se realizar uma análise cromatográfica é necessário que o cromatograma obtido esteja bem "resolvido", ou seja, tem que existir uma boa separação entre os picos, de tal forma que se possa determinar com precisão, tanto os tempos de retenção bem como as áreas dos mesmos.

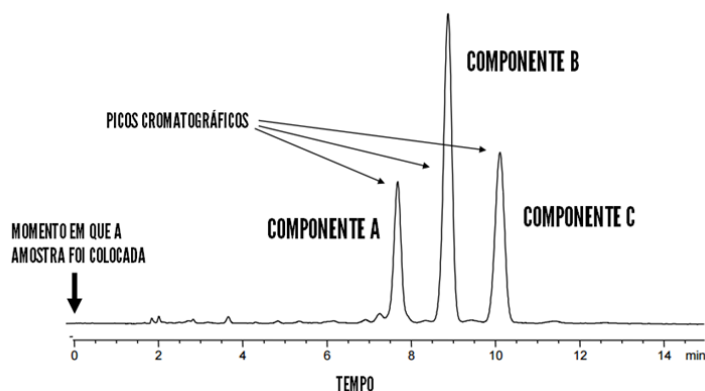


Figura 32 - Cromatograma genérico (ABB, 2011)

Na prática, controlando-se adequadamente os parâmetros cromatográficos, pode-se obter um registo cromatográfico com picos bem separados e simétricos, isto é, com boa resolução - Figura 32.

Analisadores de cromatografia líquida não são utilizados com tanta frequência tais como analisadores de cromatografia gasosa.

4.6.2 Espectrometria de massa

É uma técnica analítica utilizada para identificação de compostos desconhecidos, por meio da medição da sua massa e da caracterização da sua estrutura química. O princípio básico de um espectrômetro de massa consiste em criar iões de compostos orgânicos por um método adequado, separá-los de acordo com a sua taxa de massa e, por sua vez, detetá-los qualitativa e quantitativamente pela sua taxa de massa.

A espectrometria de massa é também, frequentemente, aplicada no controlo de poluição, controlo alimentar, física atômica e muitos outros ramos científicos. Na espectrometria de massa, pode ser aplicada qualquer técnica para alcançar as metas de ionização, separação e deteção de iões em fase gasosa. Logo, pode-se afirmar que existe uma configuração básica para todos os tipos de espectrômetros de massa.

Um espectrômetro de massa consiste numa fonte de iões (em que os componentes de uma amostra são convertidos em iões através de um agente ionizante), seguido por um analisador de massa que separa os iões de acordo com a taxa massa/carga e um detetor, o qual conta e transforma a corrente de iões em sinais elétricos que, posteriormente, vão para um sistema de computador que processa o sinal de todos os componentes - Figura 33. O resultado é um espectro de massa, que é uma representação da intensidade do sinal.

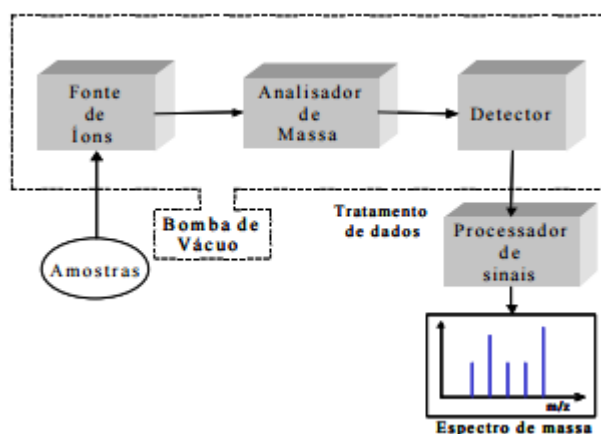


Figura 33 - Componentes básicos de um espectrômetro de massa (ABB, 2011)

O espectrômetro de massa é assim composto por quatro partes (10): Fonte de iões, Analisador de massa; Detetor; Processador de sinais. Existem diversas técnicas de ionização. Na Tabela 5, estão representadas algumas das diversas técnicas, umas para a fase gasosa e outras por adsorção iónica.

Tabela 5 - Técnicas de ionização existentes

Tipo	Nome	Agente Ionizante
Gasosa	- Impacto de elétrons (EI)	Electrons energéticos
	- Ionização Química (CI)	Iões de gás reagente
	- Ionização por campo elétrico (FI)	Eléctrodo em potencial eléctrico
	- Luz sincotráo	Fotões
Adsorção	- Adsorção por campo elétrico (FD)	Eléctrodo em potencial eléctrico
	- Ionização por electro spray (ESI)	Campo eléctrico intenso
	- Ionização/dessorção por laser, assistido por uma matriz (MALDI)	Feixe de laser (UV)
	- Adsor de plasma (PDMS)	Fragmentos de fissão
	- Bombardeado por átomos rápidos (FAB)	Feixe de átomos energéticos
	- Emissão de iões secundários (SIMS)	Feixe de iões energéticos
	- Ionização térmica (<i>thermospray</i>) (TS)	Temperatura alta
	- Impacto de iões pesados (HIMS)	Feixe de iões aceleradores (MeV)

Um espectro de massa é obtido através da criação de um campo elétrico que acelera os iões a alta velocidade e os projeta para um campo magnético ou eletromagnético onde são separados de acordo com a sua massa ou carga. Os vários tipos de separação de iões são por magnetismo, quadripolo ou tempo de projeção. O espectro de massa é em tudo semelhante a um cromatograma, mas com algumas diferenças. Na câmara de ionização, cada molécula forma vários iões fragmentados que têm diferente massa, logo cada pico do espectro de massa contém fragmentos de iões de várias moléculas da amostra.

Além de mostrarem todo o espectro, os espectrómetros de massa têm, tipicamente, um pequeno número de detetores posicionados para receber os iões da carga pretendida. O instrumento calculará então a contribuição em cada pico obtido e irá deduzir a concentração relativa dos gases medidos da amostra original.

De uma forma geral, as amostras para qualquer tipo de analisador, neste caso com especial relevância os cromatógrafos, devem ser sempre limpas e com elevado grau de pureza. No caso de não se conseguir garantir a pureza da amostra, deve-se sempre colocar filtros a montante da

válvula de injeção. Não pode nunca existir partículas ou detritos sólidos no circuito de amostragem sob pena de se poder inviabilizar um sistema de amostragem, neste caso, podendo ocorrer a destruição da válvula de injeção de amostra.

As amostras gasosas, assim como todo o funcionamento do sistema, deverão obedecer sempre a alguns requisitos: Temperatura e pressão constante são essenciais, apesar da grande maioria dos sistemas estarem dotados de correção de temperatura e pressão atmosférica.

De uma forma geral, a cromatografia é sempre gasosa, mas no entanto a amostra nem sempre é gasosa. No caso de medida de líquidos, estes tem que ser vaporizados logo após a injeção no sistema de gás de arrasto no circuito de amostragem. Formação de bolhas no líquido não é desejável. Manter o líquido a uma pressão alta e uma temperatura baixa por norma previne a formação de bolhas no líquido.

4.7 Amostragem gasosa para analisadores fotométricos

Num sistema de amostragem em que é utilizado um equipamento de medição por infravermelho, a amostragem do gás é recolhida diretamente para o analisador. A amostra depois de recolhida da conduta/chaminé e após ser condicionada, no interior do analisador de gases passa por uma célula de medida saindo depois para o exterior. A célula tem um comprimento fixo (que depende da gama do componente a ser medido) e tem em ambas as extremidades janelas óticas transparentes que permitem que a radiação atravesse a célula através do gás de amostra. No entanto, algumas células são espelhadas no seu interior de forma que o feixe energético do infravermelho possa ser espelhado corretamente.

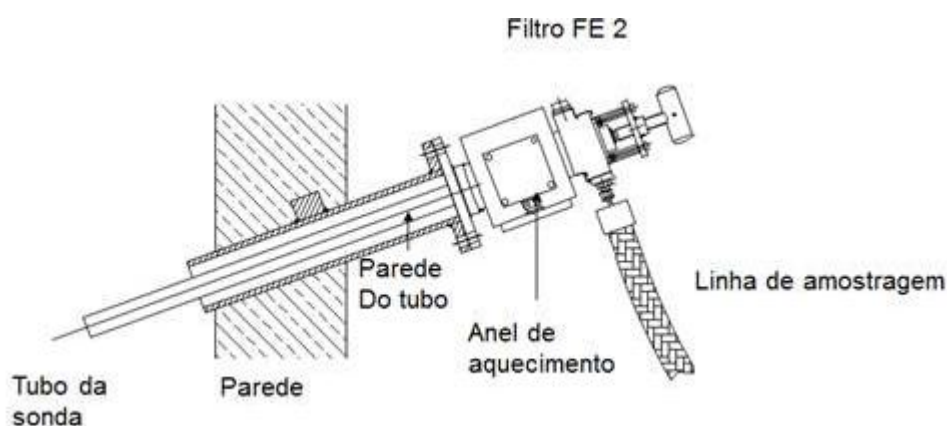


Figura 34 - Sistema de extração de amostra gasosa de condutas (ABB, 2009)

Um dos aspetos mais importantes em todo o sistema, é a recolha da amostra e o seu condicionamento (Figura 34). A amostra recolhida não pode de forma alguma escurecer as janelas óticas das extremidades ou as suas superfícies no interior da célula, nem com sujidade

nem através de ataque químico às mesmas. Uma célula contaminada inviabiliza uma correta medida do componente, seja em que equipamento for. No caso de serem medidos gases corrosivos, pode ser necessária a utilização de células com material específico no seu revestimento de forma a resistir aos ataques químicos e até à corrosão dos gases da amostra.

Uma boa filtragem é essencial. Partículas sólidas no gás podem absorver parte da radiação ou até mesmo contribuir para o espalhamento da radiação nas paredes interiores da célula ou mesmo nas janelas. Um sistema de condicionamento de amostra deve remover qualquer tipo de humidade, condensação ou até mesmo a névoa gerada pelo excesso de condensação no circuito. Os líquidos podem e irão certamente absorver energia do infravermelho, o que irá causar erros de medição. Líquidos no interior de células de amostragem irão certamente destruir componentes no seu interior.

É importante também considerar que o analisador por fotometria responde mediante o número de moléculas no feixe, logo, é de todo conveniente que a amostragem do gás em questão mantenha uma temperatura e pressão constante na célula de medida. Variações de temperatura especialmente no bloco ótico onde se encontra a célula são altamente desaconselháveis. Caso ocorra condensação da amostra pode revelar problemas nos equipamentos a muito curto prazo. Vários problemas poderão ser associados a este fenómeno que vão desde reações químicas não desejadas, interferências no feixe infravermelho, entupimentos em qualquer ponto de passagem de gás no circuito, ou no pior caso, danos no próprio equipamento. É importante a existência de uma temperatura estável e controlada em todo o circuito de amostra - Figura 35.

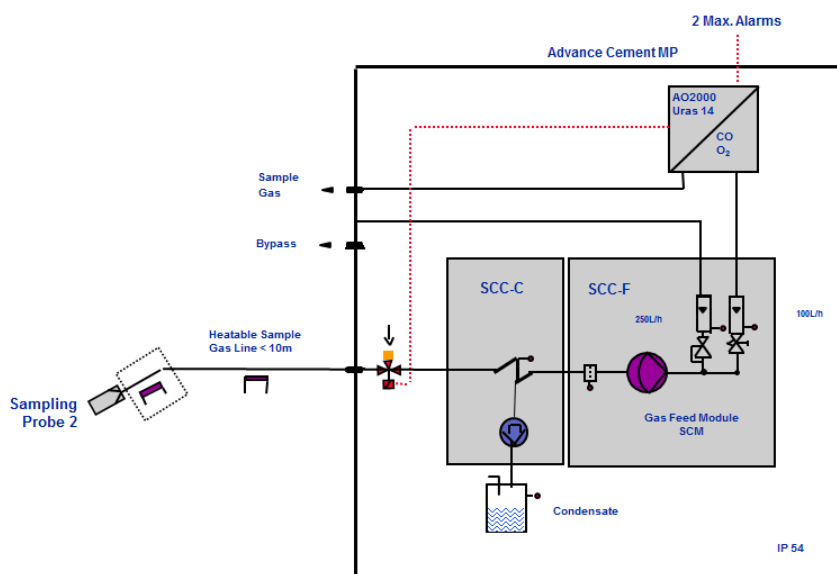


Figura 35 - Esquema simplificado de amostragem e condicionamento gasoso (ABB, 2009)

Note-se que a amostra quando é recolhida, na maioria dos casos, é recolhida a uma temperatura bastante mais elevada do que a temperatura ambiente fora da conduta. Não sendo uma condição fulcral para o funcionamento do sistema, o caudal é um dos parâmetros importantes que importa controlar e regular. Existem situações em que pode ocorrer uma vaporização parcial no circuito (aparecimento de névoas ou vestígios de humidade nas tubagens). Estas névoas podem induzir o equipamento com resultados errados e até mesmo com instabilidade no próprio equipamento. A forma mais correta de atuar nestas situações será incrementar um pouco a pressão no circuito assim como reduzir um pouco também a temperatura no circuito de amostragem.

Em circuitos de amostragem é bastante vulgar também a ocorrência de fenómenos de adsorção nas linhas e tubos de transporte da amostra. Isto pode ser um problema pois irá haver interferência no equipamento de medição. Efeitos de memória nas tubagens, porosidade dos materiais utilizados e baixas concentrações são consequências do fenómeno de adsorção. Na impossibilidade de eliminação definitiva deste fenómeno, ele deverá ser minimizado. Se possível, pode-se minimizar a superfície de contacto dos gases até ao analisador (utilização de linhas de transporte curtas é um bom princípio), aumentar a velocidade do fluído, aumento de temperatura e limpeza dos materiais são soluções para este tipo de fenómeno.

Da mesma forma que são observados por vezes fenómenos de adsorção, por vezes poderão ocorrer também fenómenos de difusão (permeabilidade) do circuito. Problemas frequentes estão relacionados com uma fraca permeabilidade dos plásticos das tubagens/acessórios do circuito, as superfícies que contactam com o gás e as pressões existentes no interior. Como ação de correção, deverá ser reduzida a velocidade do fluído e ao mesmo tempo reduzir a temperatura das linhas de transporte. As linhas de transporte são apenas parte integrante do sistema. No momento em que a amostra é recolhida, esta é recolhida através de um tubo – sonda de amostragem - Figura 36. O tubo deverá ter um comprimento adequado à dimensão da conduta onde se encontra inserido. Como importa manter a temperatura da amostra, este tubo pode ou não ser aquecido – dependerá também da estrutura da chaminé e da sua construção.



Figura 36 - Tubo pertencente a sonda de amostragem gasosa (ABB, 2009)

A temperatura existente dentro da conduta irá certamente manter o tubo de amostra com alguma temperatura – a suficiente para que não existam entupimentos por variações de temperatura (exceto nos casos em que há a possibilidade de existência de pontos frios na sonda). A amostra quando é recolhida do interior da chaminé/conduta tem na sua constituição alguns componentes indesejáveis e que deverão ser eliminados antes de penetrarem no circuito podendo levar a problemas mais sérios: partículas e humidade. Estas partículas assim como a humidade são filtradas através de um filtro poroso em material cerâmico - Figura 37.



Figura 37 - Filtro cerâmico ABB (ABB, 2009)

Este filtro cerâmico é geralmente aquecido a uma temperatura de 180° através de um anel de aquecimento - Figura 38 (esquerda), constituído por uma ou duas resistências (poderá trabalhar apenas com uma) e é regulado através de um relé. A medida da temperatura é geralmente feita através de uma sonda de temperatura inserida na estrutura metálica onde se encontra o anel de aquecimento - Figura 38 (direita).



Figura 38 – Esquerda: Suporte para filtro cerâmico ABB. Direita: Anel de aquecimento para suporte de filtro cerâmico (ABB, 2009)

Após a recolha da amostra e filtragem da mesma, para que não ocorram fenómenos de condensação nas tubagens, é importante garantir a temperatura nas tubagens de transporte desde o filtro aquecido até a um refrigerador. Para isso são utilizadas linhas de amostra com aquecimento - Figura 39, que são linhas onde circula o gás mas que são revestidas com uma

espécie de espuma de borracha (rígida) e onde existe uma resistência de aquecimento em todo o seu comprimento assim como uma sonda de temperatura que percorre a linha no seu interior. O objetivo é o aquecimento dessa mesma linha a um valor semelhante ao do anel de aquecimento de forma a manter a temperatura. A temperatura é igualmente regulada por um relé.

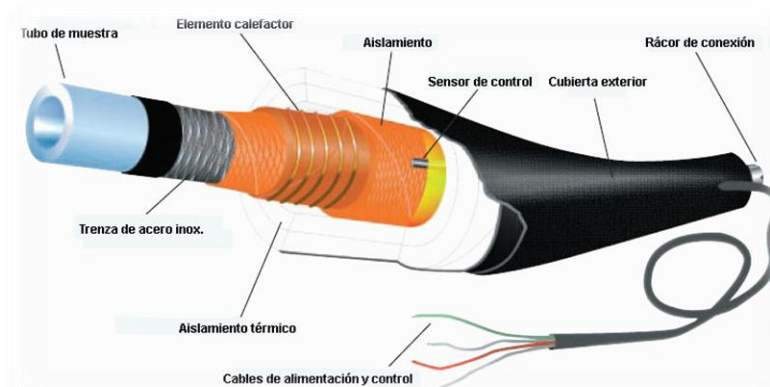


Figura 39 - Constituição interna de linha aquecida de transporte da amostra (ABB, 2009)

As linhas de aquecimento de amostra à semelhança da tubagem do restante circuito, deverão ser sempre o mais curtas possível. Note-se que muitas células óticas de gás tem um volume elevado. De acordo com o tempo de resposta desejado assim como o volume da célula, é importante ter uma correta regulação do caudal de amostragem de forma a poder obter uma resposta desejada. Não é bom para a operação que o analisador tenha um tempo de reação demasiado lento nem demasiado rápido.

Algumas aplicações mais específicas, para poderem ter uma maior sensibilidade, necessitam de poder analisar a amostra a uma pressão mais elevada que em outras aplicações. Cada sistema tem a sua especificação, logo, não pode ser aplicado o mesmo método em todos os sistemas. Em alguns casos não irá funcionar.

Se estivermos a fazer referência a um sistema de medições atmosféricas, à partida estaremos perante um sistema em que os gases de escoamento serão mais limpos, com menos resíduos tais como partículas.

Se estivermos a fazer referência a um sistema de controlo de processo – por exemplo um sistema de controlo de queima de carvão – os gases serão certamente mais corrosivos e necessitarão de um tratamento mais cuidado, e uma maior vigilância no que toca à manutenção preventiva.

É importante manter sempre um circuito limpo, controlado nos aspetos de temperatura e caudal, assim como descontaminado de possíveis contaminantes para o equipamento.

Analísadores por fluorescência podem sofrer de extinções de luz anormais durante o seu funcionamento. Isto pode acontecer devido ao facto de existirem outras moléculas na amostra que podem provocar este fenómeno.

Durante o processo de condicionamento de amostra, deve ocorrer a remoção destas mesmas moléculas ou em alguns casos, a colocação de filtros óticos que suprimem estes fenómenos indesejáveis.

4.8 Espectroscopia FTIR

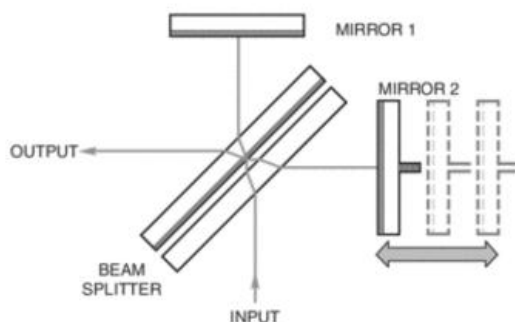


Figura 40 – Representação de um divisor de feixe de luz (*beam splitter*) (ABB, 2009)

Um espectrómetro FTIR é um instrumento que adquire largura de banda NIR (*Near Infra Red*) para espectro FIR (*Fourier Infra Red*).

Ao contrário de um instrumento de luz dispersiva (Exemplo de um Durag DR300), o espectrómetro FTIR recolhe todos os comprimentos de onda ao mesmo tempo. A esta característica podemos chamar de Multiplexagem ou *Fellget advantage*.

FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) é um método de obtenção de um espectro de infravermelho através da recolha de um interferograma de um sinal de uma amostra utilizando um interferómetro e só depois, a aplicação da Transformada de Fourier ao interferograma para obtenção do espectro.

Resumindo: Um espectrómetro FTIR recolhe e digitaliza o interferograma, executa a Transformada de Fourier e mostra o espectro como resultado.

Deverá ser escolhido um Espectrómetro FTIR ao invés de um instrumento dispersivo quando:

- O trabalho realizado é em infravermelho;
- Quando é necessário elevada resolução espectral;
- Quando existem sinais fracos (baixas gamas de medição);
- Quando é necessário obter rapidamente o espectro e com elevada taxa S/N (S/N= Relação sinal-ruído em que é obtido um sinal num ambiente ruidoso). Quanto mais elevada, mais é a potência do sinal perante o ruído ambiente, logo, o sinal é obtido com melhor definição – desde que o ruído não seja elevado ao ponto de distorcer o sinal levando à sua degradação);
- Quando é necessária elevada precisão do espectro.

4.8.1 Funcionamento de um espectrómetro FTIR

FTIR é baseado no Interferómetro de Michelson (*The Michelson Interferometer*).

Consiste num divisor de feixe de luz (*beam splitter* - Figura 40), um espelho fixo e um espelho que tem um movimento preciso bidirecional. O divisor de feixe de luz (*beam splitter*) é feito de um material especial que transmite metade da radiação e reflete a outra metade de forma precisa.

A radiação da fonte emissora incide diretamente de forma precisa no divisor de feixe de luz (*beam splitter*) e separa-a em dois feixes de luz. Um feixe é transmitido através do divisor de feixe de luz até ao espelho fixo e o segundo é refletido até ao espelho móvel (que tem um movimento bidirecional). Tanto o espelho móvel como o espelho fixo refletem a radiação de volta ao divisor de feixe de luz (*beam splitter*). Novamente, metade da radiação refletiva é transmitida e metade é refletida o que resulta em que um dos feixes atravessa a célula até ao detetor e o outro é devolvido à fonte emissora. Ou seja, vamos ter uma radiação refletida pelos diversos espelhos até ao detetor.

4.8.2 Descrição de um espectrómetro

Os seus componentes constituintes são (Figura 41):

- Interferómetro com a eletrónica para controlo do espectrómetro e comunicação com computador externo ao analisador;
- Fonte de infravermelho;
- Lentes de transmissão de feixe ótico;
- Detetor de infravermelho;

- Célula de medida.

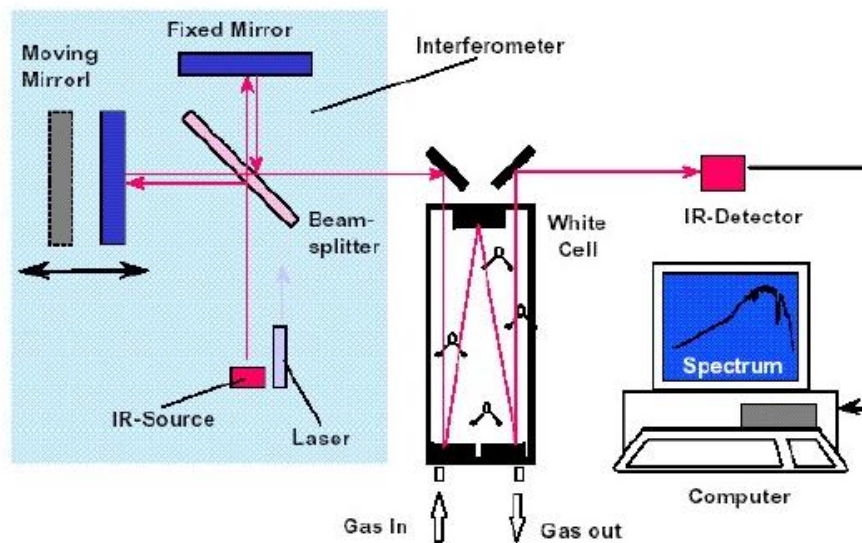


Figura 41 - Representação de um espectrômetro (ABB, 2009)

Interferômetro:

- O interferômetro modula a luz infravermelha juntamente com a luz proveniente do laser assim como o emissor de luz branca.

A luz do laser assim como a luz branca são utilizadas como dimensionamento do espectro. O interferômetro é constituído por todas as fontes de luz (infravermelho, laser e luz branca), fontes de alimentação, detetor para a luz do laser, detetor para a luz branca, o divisor de feixe de luz (*beam splitter*), o retrorefletor (dispositivo que reflete a luz de volta à sua origem com um mínimo de espalhamento da luz, mesmo que os raios desta não estejam ortogonais face à superfície do retrorefletor), espelhos e braço do espectrômetro.

Fonte de infravermelho:

- Fonte emissora de luz infravermelha com características de temperatura.

Detetor de infravermelho:

- Detetor DTGS (*deuterized triglyceride sulphate*).

Célula:

- Está ligada ao espectrômetro. É uma célula de "longa distância".

Devido a uma lente localizada no topo da célula, o feixe de infravermelho atravessa a célula. Dentro da célula, o feixe emitido pelo infravermelho é refletido várias vezes por 3 espelhos

localizados no seu interior, que servem para aumentar o comprimento do caminho ótico dentro da célula até à saída da mesma, chegando ao detetor. Este caminho ótico é definido por fábrica através da fixação dos espelhos e normalmente tem um valor de 6.4 metros.

Processamento dos valores medidos:

- O sinal medido pelo detetor é avaliado em termos de concentração dos diferentes gases da amostra através de um computador.

Analizador de Oxigénio:

- Uma pequena proporção do fluxo de gás de amostra é divergido através de um circuito até ao Analisador de oxigénio (no caso da versão FTIR CEMAS da ABB). Para prevenir a condensação, o gás de amostra percorre a célula aquecida até ao analisador de Oxigénio (no caso do FTIR CEMAS, célula eletroquímica. No caso do FTIR ACF-NT da ABB, a medida de oxigénio é através de sensor de zircónio).

Sensor de Oxigénio:

- O fluxo de gás de amostra no circuito exterior ao sensor é proporcional à difusão do oxigénio (Figura 42).

Existe uma barreira porosa que limita a difusão do gás entre o circuito de amostra e o interior do sensor, para que seja originado um sinal linear correspondente à concentração de oxigénio.

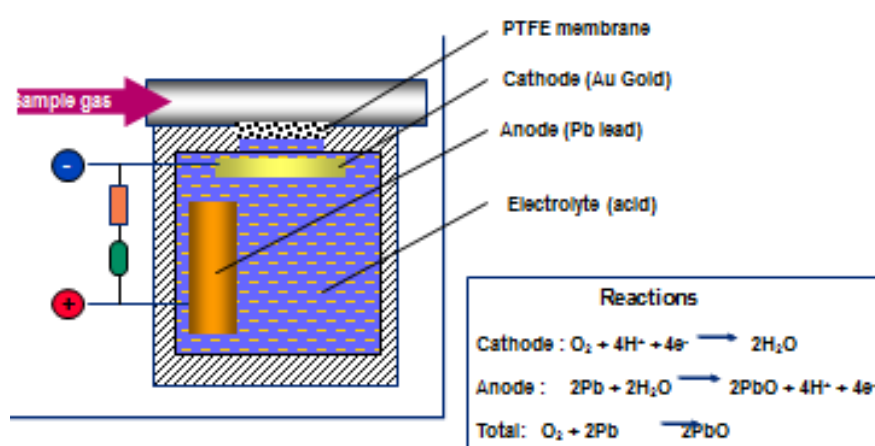


Figura 42 - Sensor de oxigénio (eletroquímico) (ABB, 2009)

A superfície do ânodo regenera-se continuamente a ela própria à medida que o chumbo se dissolve no eletrólito.

Quando ocorre a auto calibração do analisador, o analisador de O₂ é automaticamente ajustado durante o registo do espectro de zero.

4.8.3 Interferómetro de Michelson

É usado para dividir um feixe de luz em dois, de forma que os trajetos dos dois feixes sejam diferentes. O interferómetro de Michelson (Figura 43) recombina os dois feixes e conduz ambos ao detetor, onde a diferença de intensidade de ambos os feixes é medido como sendo a diferença entre percursos.

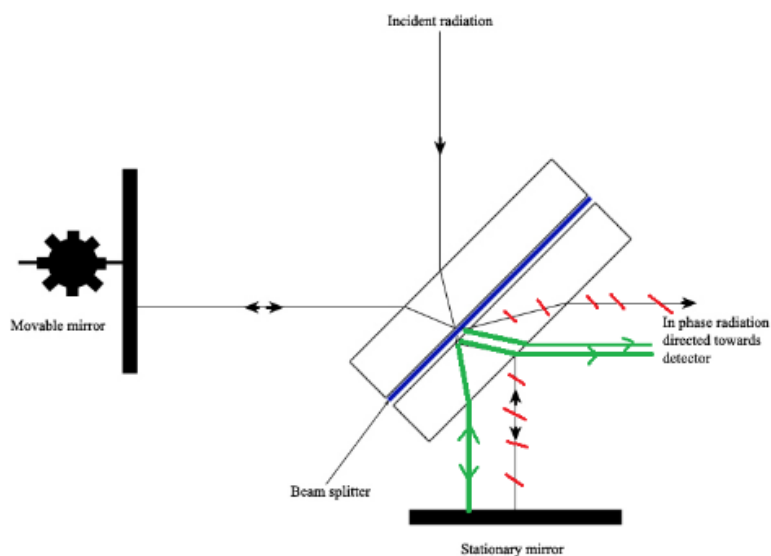


Figura 43 - Representação do trajeto de feixe de luz (ABB, 2009)

O típico interferómetro de Michelson consiste em dois espelhos perpendiculares e um divisor de feixe de luz (*beam splitter*). Um dos espelhos é fixo e o outro é móvel. O *beam splitter* é destinado a transmitir metade da luz e refletir a outra metade. Consequentemente, a luz transmitida incide no espelho fixo e a luz refletiva incide no espelho móvel. Depois de refletida pelos espelhos, os dois feixes recombinam-se um com o outro no *beam splitter*. Quando os dois feixes de caminhos óticos diferentes se recombinam, ocorre uma interferência no *beam splitter*. A força da interferência depende da diferença entre feixes do caminho ótico causado pela posição do espelho móvel. Se as distâncias percorridas por ambos os feixes forem iguais, significa que as distâncias entre ambos os espelhos e o *beam splitter* são iguais. Esta situação é definida como sendo o *zero path difference* (ZPD). Mas, no caso em que o espelho móvel se distancie do *beam splitter*, o feixe de luz que incide no espelho móvel vai percorrer uma distância superior do que o feixe que incide no espelho fixo.

A distância a que o espelho móvel se encontra distanciado do ZPD (*zero path difference*) é definida como sendo o seu deslocamento e é representado por Δ . Neste caso, a distância extra

percorrida pela luz até ao espelho móvel será de 2Δ . A distância extra é definida como a diferença de percurso ótico (OPD – *optical path difference*) e é representado por δ (delta).

Ou seja:

$$\delta = 2\Delta$$

Quando o OPD é múltiplo do comprimento de onda, ocorre interferência construtiva devido a cavas sobrepostas com cavas e picos sobrepostos com picos. Como resultado, o valor de intensidade máxima do sinal é observado pelo detetor, e pode ser descrito pela equação:

$$\delta = n\lambda$$

onde $n=0,1,2,3\dots$ sendo o λ o comprimento de onda.

Em contraste, quando o OPD é metade do comprimento de onda ou metade do comprimento de onda com múltiplos comprimentos de onda, ocorrerá interferência destrutiva devido a sobreposições de cavas com picos. Como resultado, o valor de intensidade mínimo é observado pelo detetor, e pode ser descrito pela equação:

$$\delta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

onde $n=0,1,2,3\dots$ sendo o λ o comprimento de onda.

4.8.4 OPD – *Optical Path Difference*

OPD é a diferença de percurso entre os feixes que atravessam os dois braços do interferómetro. OPD é igual ao produto da distância física percorrida pelo espelho móvel (multiplicado por 2, 4 ou outro multiplicador cuja função é o numero de elementos refletidos utilizados) e “n”, índice de refração do componente presente no braço do interferómetro (ar, azoto).

O valor *raw* do FTIR consiste em pares de valores do sinal OPD.

Um interferograma é o sinal de interferência medido pelo detetor em função da diferença de percurso entre os feixes (OPD). A Figura 44 é a representação de um interferograma típico. Na sua posição mais elevada – pico – o comprimento do caminho ótico é igual para a radiação que retorna do espelho móvel assim como a radiação que retorna do espelho fixo para o detetor.

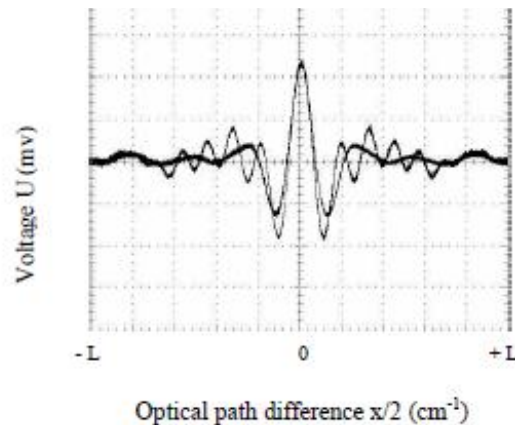


Figura 44 - Interferograma típico (ABB, 2009)

4.8.5 ZPD – Zero Path Difference

O FTIR tem um ponto natural de referência em que os espelhos fixos e móveis se encontram à mesma distância do *beam splitter*. A esta condição é chamada de ZPD (*zero point difference*).

O espelho móvel desloca-se Δ , medido pelo ZPD.

Caso o feixe refletido pelo espelho móvel percorra 2Δ em comparação com o espelho fixo, a relação do OPD (*optical path difference*) é:

$$\text{OPD} = 2\Delta n$$

4.8.6 Interferograma

É o nome do formato do sinal obtido pelo espectrómetro do FTIR. É habitualmente mais complexo do que uma simples senoide, que seria o expectável caso existisse apenas um único comprimento de onda. Na Figura 45 está representado o feixe ótico de duas ondas com comprimentos de onda diferentes.

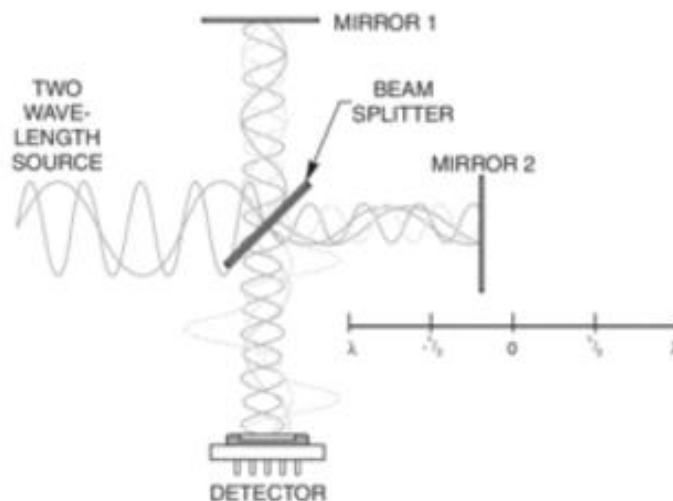


Figura 45 - Feixes óticos de diferentes ondas com comprimentos diferentes (ABB, 2009)

Na Figura 46 está também representado o interferograma da largura de banda de uma fonte emissora. O formato do interferograma a meio é também conhecido por “*center burst*”, ou ZPD (*zero path difference*). O pico na medida (em volts) no centro do gráfico é característico e indicadora da fonte emissora que está a ser utilizada.

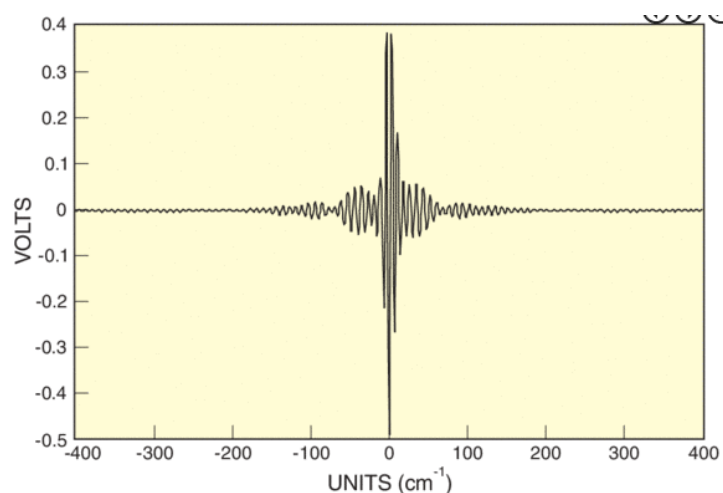


Figura 46 - Interferograma da largura de banda de uma fonte emissora (ABB, 2009)

À medida que o feixe ótico varia, OPD (*optical path difference*), diferentes comprimentos de onda produzem valores de leitura de picos em diferentes posições, e, num sinal de largura de banda, eles nunca atingem os próprios picos ao mesmo tempo. Portanto, à medida que se desloca do seu ponto zero (ZPD – *zero path difference*), o interferograma assume uma forma de sinal oscilatório complexa com amplitude decrescente - Figura 45.

O eixo “X” do interferograma representa a diferença no feixe/caminho ótico. Cada espectro individual de cada componente contribui para este sinal, uma senoide simples em que a frequência é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda. O espectro é calculado através de um interferograma através da aplicação e cálculo de algoritmos de transformadas de Fourier.

Notas:

Comprimento de onda (Wavelength) = μm

Absorbance/Wavenumber: 2200 nm = 0.00022 cm

Definição de medida de unidade espectral:

A quantidade de ondas (wavenumber - cm^{-1}) é representado por “n”.

A quantidade de ondas (*wavenumber*) representa o número de ondas completas de um particular comprimento de onda por centímetro de comprimento, tipicamente em vácuo com índice de refração = 1.

A vantagem de definir um espectro em número de ondas é que estas estão diretamente relacionadas com níveis de energia.

Uma característica espectral situada na localização espectral 4000 cm^{-1} representa a transição entre dois níveis moleculares, separados pelo dobro da energia de transição com assinatura espectral nos 2000 cm^{-1} .

A Tabela 6 tem correspondência para as diferentes unidades de medida (ver fórmulas acima):

Tabela 6 - Correspondência entre as diferentes unidades

$\nu\text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\lambda\text{ (\mu m)}$	f (10 ¹² Hz)	E (eV)
200	50	5.996	0.02479
500	20	14.99	0.06199
1000	10	29.98	0.12398
2000	5	59.96	0.24797
5000	2	149.9	0.61922
10000	1	299.8	1.23984

4.8.7 O Algoritmo da Transformada de Fourier

O interferograma depois de recolhido necessita de ser convertido para um espectro (emissão, absorção, transmissão, etc). O processo de conversão é através do algoritmo de Transformada de Fourier. Existem alguns passos que estão envolvidos no cálculo do espectro. Existe também imperfeições do equipamento e limitações que necessitam ser consideradas através da correção de fase. Estas imperfeições óticas e eletrónicas podem causar leituras erradas em tempos diferentes ou desvios na fase nos vários componentes espectrais.

Os FTIR's tem uma elevada resolução devido ao facto de que o limite da resolução é simplesmente o inverso da diferença do percurso ótico - OPD (*optical path difference*).

Por exemplo, um percurso ótico de 2 cm (OPD) pode por exemplo atingir uma resolução de 0.5 cm^{-1} .

4.8.8 Benefícios da Multiplexagem e análise quantitativa de um espectro FTIR

No caso de um espectrómetro dispersivo, a quantidade de ondas são observadas sequencialmente, à medida que ocorre difração da luz emitida. Num espectrómetro FTIR, todas as ondas são observadas de uma só vez. Quando o espectro é obtido em condições idênticas (o espectro é obtido ao mesmo tempo, na mesma resolução, com a mesma fonte emissora, com o mesmo detetor e com o mesmo percurso ótico) em espectrómetros dispersivos FTIR, o sinal de ruído do espectro será maior do que no caso de se usar medida por infravermelho dispersivo. A lei básica para a espectrometria quantitativa é a lei de Beer-Lambert e nela é demonstrada a relação da concentração de gás de amostra com a absorbância de um espectro de amostra.

É relacionado por:

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \log\left(\frac{1}{T}\right) = A = a * b * c$$

Em que:

I_0 = Intensidade da radiação de infravermelha que incide na amostra

I = Intensidade da radiação infravermelha que atravessa a amostra

A = Absorbância

T = Transmitância

$a = a(u)$ = Absorbância (Depende do comprimento de onda)

b = Comprimento do caminho ótico

c = Concentração da amostra

A absorvidade caracteriza a capacidade de uma molécula em absorver radiação infravermelha. O valor da absorvidade varia de uma molécula para outra através de uma função do comprimento de onda, mas, é constante para determinada molécula em determinado comprimento de onda. O comprimento do caminho ótico é a distância da radiação infravermelha que atravessa a amostra gasosa.

Se o comprimento do caminho ótico for constante, através da lei de Beer-Lambert é possível determinar que a absorbância é diretamente proporcional à concentração do gás de amostra em determinado comprimento de onda. Dado que a lei de Beer-Lambert é aditiva, a absorbância

total (em cima representado por “A”) é igual ao somatório da absorvância individual de cada gás.

Existem duas condições que limitam a utilização da lei de Beer-Lambert: a radiação é monocromática e a absorvância da amostra não varia com a concentração.

No caso de ocorrerem variações na pressão dos gases causados por colisões moleculares, podem ocorrer alargamentos na linha de absorção da amostra gasosa. Isto afeta todas as regiões de infravermelho. À medida que a temperatura aumenta, as moléculas são distribuídas em diferentes níveis de energia. Desta forma, para medição da concentração de um composto gasoso, é necessário calcular o número de moléculas de gás em determinada célula de amostragem. O número de moléculas de gás na célula de amostragem, depende linearmente da pressão do gás e do volume da célula de amostra e também da temperatura do gás, seguindo portanto a equação dos gases perfeitos dada por:

$$pV = nRT$$

Em que:

p = Pressão

V = Volume

n = Quantidade de moléculas de gás

R = Constante do gás

T = Temperatura

Toda e qualquer alteração na temperatura de gás de amostra assim como da sua pressão afetarão certamente a medição do composto gasoso e conseqüentemente o valor da sua concentração.

Naturalmente, alterações de parâmetros como pressão do gás ou temperatura poderão afetar o espectro de absorvância medida e conseqüentemente a fiabilidade dos resultados medidos.

4.8.9 A análise multi-componente

As etapas de absorção da radiação infravermelha em cada comprimento de onda, relacionam quantitativamente o número de moléculas absorvidas no gás de amostra.

Visto que existe uma relação linear entre a absorvância e o número de moléculas absorvidas, é possível a realização de medida de multi-componentes. Para se poder realizar análise multi-

componente, é necessário um espectro de amostra. Adicionalmente, é necessário sempre um espectro de referência de todos os componentes de gás que possam existir na amostra.

Um espectro de referência é um espectro de um gás único com concentração específica.

Em análise multi-componente, é realizada a combinação das referências com multiplicadores apropriados de forma a obter um espectro que seja o mais semelhante possível com o espectro da amostra.

Desta forma, se for possível a obtenção de um espectro semelhante ao espectro da amostra, conseguimos obter a concentração de cada componente da amostra gasosa, utilizando cálculos relacionados com o espectro de referência, isto se conhecermos a concentração dos gases de referência.

Esta técnica pode ser exemplificada pela Figura 47:

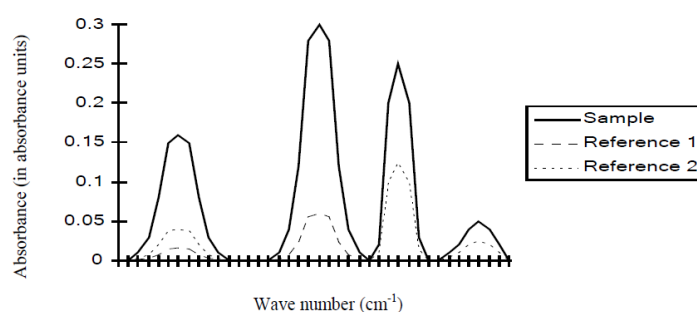


Figura 47 - Exemplo de um espectro de análise multi-componente (ABB, 2009)

Suponhamos que temos um espectro de amostra de referência semelhante ao da Figura 47. Neste caso em específico, sabemos que o gás de amostra tem na sua constituição o gás de referência 1 e gás de referência 2. Ou seja, sabemos que a referência 1 terá uma concentração de 10 ppm e a referência 2 terá uma concentração de 8 ppm. Para encontrar a concentração de cada componente do gás de amostra, é formado um espectro da amostra utilizando a combinação linear do espectro das duas referências.

Ou seja, neste caso em específico, se multiplicarmos o espectro da referência 1 por 5 e a referência 2 por 2, e combinarmos esses dois espectros, consegue-se obter um espectro que é bastante similar ao espectro da amostra. De acordo com os cálculos realizados, é de fácil percepção que o gás de amostra contém 5 vezes a quantidade do espectro de referência 1 e 2 vezes o espectro de referência 2. Assim, conseguimos determinar analiticamente que o valor do gás 1 presente na amostra é de 50 ppm ($50 \text{ ppm} * 2$) e a concentração do gás 2 é de 16 ppm ($8 \text{ ppm} * 2$).

4.8.10 Fiabilidade da resolução espectral de análise por transformada de Fourier

A resolução espectral da medida indica a precisão com que é possível a separação de diferentes comprimentos de onda de radiações absorventes no espectro. Se a resolução espectral for elevada, é possível a deteção visual da exata localização dos limites dos picos de absorção e reduz a sobreposição de espectros. No caso de um cenário ideal em que a resolução fosse infinita, não iriam existir desvios na lei de Beer-Lambert.

É benéfico a utilização de equipamentos com elevada resolução espectral de forma a obter bons resultados na medida analítica. No entanto, quanto maior for a resolução, maior a probabilidade de problemas dado que ocorre também um aumento do ruído espectral o que implica que a análise seja menos precisa. No entanto, em ambientes não laboratoriais, não é necessário um equipamento de muito elevada resolução espectral.

Existem sobretudo duas razões para o aumento da relação sinal-ruído de um espectro:

- Num espectrómetro por transformada de Fourier, o comprimento do interferograma medido determina a sua resolução. Quanto mais longo for o interferograma, mais pontos de dados são necessários e maior é a sua resolução. Num estudo de resolução elevada, o tempo necessário por uma medida é também bastante longa, logo, é necessário acumular menos informação num tempo fixo o que leva a que ocorra um nível de ruído elevado. Portanto, quanto maior for o interferograma medido, maior é a relação sinal-ruído;
- Alta resolução requer também um feixe num caminho ótico estreito de forma a prevenir o fenómeno de espalhamento de feixe. No entanto, quanto menor for a distância de passagem do feixe, menor é o seu sinal, logo, a relação sinal-ruído também diminui.

4.9 Considerações Finais

As técnicas existentes para análise molecular dos gases existentes não são novas e mantêm-se atuais até aos dias de hoje. No entanto, a melhoria dos sistemas de medição permitiu ao longo dos tempos que as técnicas fossem cada vez mais aperfeiçoadas e menos tendenciosas a erros de medição. A combinação de várias técnicas é também possível para um sistema de medição, mas, cada equipamento por norma utiliza apenas um princípio de medição – o mais adequado perante o componente que está a ser medido.

5 Fiabilidade e manutenção em Analisadores de Processo e Emissões

Neste Capítulo serão descritas algumas das intervenções de manutenção realizadas nos mais diversos equipamentos ao longo do período de tempo estudado. Na seção 5.1 é apresentado o conceito de fiabilidade e conceito de manutenção. Na secção 5.2 é apresentado o desafio da manutenção neste tipo de equipamentos. Nas seções 5.3 e 5.4 são apresentados os diversos tipos de equipamentos existentes assim como as intervenções de manutenção realizadas nestes. Na secção 5.5 são enunciadas as considerações finais.

5.1 Fiabilidade

A história da existência dos analisadores de processo remonta ao início do século XX e desde então muito se evoluiu. Atualmente este tipo de equipamento pode-se dizer que tem um índice de fiabilidade e precisão muito elevado, mas nem sempre assim foi.

No início da sua criação e utilização, o mercado existente para este tipo de equipamentos era bastante diminuto, o que pouco ou nada contribuiu para a pesquisa e desenvolvimento. Nesta fase, a sua fiabilidade era bastante reduzida e a sua manutenção era também bastante difícil. Atualmente a tecnologia evoluiu bastante, assim como a produção deste tipo de equipamentos. O mercado é bastante maior, a formação e informação disponível sobre este tipo de equipamentos é cada vez maior mas, no entanto, mantém-se o estigma que sempre pairou sobre estes equipamentos: porque é que a sua fiabilidade continua a ser tão baixa? Quais as causas?

5.1.1 A importância da fiabilidade num sistema

Os Analisadores de gases são instrumentos fiáveis e de elevada qualidade. A sua fiabilidade não pode ser considerada apenas no próprio equipamento – o analisador - mas sim em todos os outros que se encontram em seu redor, a começar pelo projeto de instalação do mesmo. Apesar de ser um equipamento que opera também na indústria, não podemos considerar este equipamento como sendo um equipamento isolado, sem qualquer tipo de actividade ou interação, tal como por exemplo acontece com uma simples sonda de temperatura ou até mesmo um transmissor de pressão.

Um analisador de processo tem obrigatoriamente que estar inserido num conjunto de fatores favoráveis ao seu correto funcionamento onde tudo começa pelo projeto inicial de colocação e montagem em que deverão ser considerados todos os fatores físicos e ambientais de forma que

o equipamento seja o mais protegido e resguardado possível de forma que esteja imune à maioria das adversidades previstas e não previstas no projeto ou mesmo na localização em si. Além disso, o analisador é e será sempre a parte final de um processo de recolha de amostra em que a amostra tem que ser recolhida do seu ponto de recolha sendo condicionada até ser entregue para medição no analisador.

Independentemente da marca ou modelo do equipamento em questão (ressalvando sempre que cada equipamento tem as suas características próprias assim como o grau de incerteza), o condicionamento de amostra é o aspeto mais importante e fulcral num processo de análise. Neste processo de análise, podemos, de forma mais simplificada, considerar um processo de amostragem simples em que existe uma sonda de extração de amostra, assim como os respetivos elementos filtrantes e todas as tubagens com temperatura adequada. Assegura-se desta forma e com toda a certeza, considerando o analisador em perfeito estado de funcionamento, que a maior causa para o funcionamento incorreto do sistema será sem dúvida o condicionamento e tratamento da amostra.

Quanto mais complexo for o sistema, maiores serão as probabilidades de falhar por condicionamento de amostra. Não é difícil descobrir qual a causa das falhas dos sistemas: os sistemas de amostragem, apesar de também terem evoluído, não evoluíram a uma taxa semelhante à dos analisadores. Ou seja, os sistemas de condicionamento são muito semelhantes ao que eram no início da grande massificação da utilização destes equipamentos. Dado que a evolução nos analisadores contribuiu e muito para a sua fiabilidade, os sistemas de amostragem e condicionamento são apontados como sendo cada vez mais os responsáveis pela falha não só nos equipamentos mas também como na falha geral do sistema. No caso de ocorrer uma falha no condicionamento da amostragem, o sistema em si não irá funcionar de forma correta, logo a fiabilidade das suas medidas é menor. A fiabilidade do equipamento pode ser tomada como sendo genérica, dado que para o mesmo modelo e versões iguais, o seu grau de fiabilidade e estabilidade será bastante semelhante.

Considera-se fiabilidade como sendo veracidade e certeza dos valores medidos pelo equipamento ao longo do seu tempo útil de funcionamento. Considera-se estabilidade como sendo a medida estável ao longo do tempo em que o equipamento é verificado com determinado padrão sem que ocorram oscilações durante a sua medida.

5.1.2 Medidas processuais

Porque existem analisadores de processo? Qual a sua função? O que justifica a sua aquisição e manutenção corrente? Quais os benefícios?

Através das medições e controlo de processo, o utilizador ou determinado procedimento pode ser executado quase em tempo real. Podemos considerar um exemplo muito simples: a proteção e segurança de um sistema de electrofiltro.

Em instalações em que exista queima de combustível líquido ou mesmo sólido, ocorre sempre a libertação de gases resultantes da queima que serão sempre arrastados pelas tubagens normais desse mesmo processo. No caso de um electrofiltro, cujo objetivo do mesmo é a retenção de partículas que circulam na corrente de gases, é importante garantir a segurança do mesmo assim como da instalação onde se encontra instalado, segurança que pode ser comprometida devido a uma queima incorreta ou mesmo por algum fenómeno imprevisto durante todo o processo. Esta variável pode ocorrer a qualquer instante desde que a instalação se encontre ativa e é imperativo garantir a segurança não só dos equipamentos como das pessoas, logo tem que ser medida em tempo real. Logicamente que a medida de segurança a ser executada numa situação destas não será manual. Provavelmente estará programada num sistema de supervisão de onde sairá um sinal devidamente programado que irá desencadear uma série de ações que visam a proteção e ação imediata.

5.1.3 Analisadores de processo e emissões

Tal como referido anteriormente, analisadores são diferentes dos outros restantes instrumentos de medição de variáveis de processo, tais como pressão, temperatura, entre outros. Permitem obter informação sobre a composição de determinado fluido ou gás e quais as suas propriedades físicas. Estas informações são de extrema importância para os operadores de processo de qualquer instalação de forma a poderem ter um maior controlo sobre o produto final de forma segura e eficiente.

Importa claramente a fiabilidade do equipamento. Não tanto a fiabilidade do equipamento em si, mas sim a fiabilidade do sistema onde é extraída e condicionada a amostra. Um sistema de condicionamento é um conjunto de tubagens e acessórios que extraem uma amostra do fluido do processo e transportam a amostra ao analisador de forma segura. Nenhum analisador consegue ter um bom desempenho sem um correto e funcional *design* de sistema de condicionamento. No entanto, e apesar de ser uma componente fundamental em qualquer sistema, é uma área obscura por parte dos fabricantes de equipamentos, mas principalmente

por parte dos técnicos que realizam intervenções de manutenção nesses mesmos sistemas devido à falta de recursos disponíveis para aprendizagem do tema.

Um correto e funcional sistema de amostragem e condicionamento é essencial. No entanto, um sistema não pode ser aplicável em todas as instalações. Cada instalação/processo é diferente de instalação para instalação e não é possível estabelecer semelhanças entre uma instalação de uma indústria química com uma instalação de uma indústria transformadora. Mas, no entanto, erradamente, as soluções de condicionamento existentes nas diferentes instalações são entre si bastante semelhantes. O que pode ser um erro.

Quando é referido o termo “fiabilidade”, é importante distinguir a fiabilidade do equipamento e a fiabilidade do sistema. Referiu-se anteriormente que os analisadores apesar de serem cada vez mais evoluídos e cada vez dotados de mais tecnologia, continuam com o rótulo de deterem uma fiabilidade baixa. Mas, que fiabilidade é esta que é referida?

A fiabilidade de um sistema começa ainda na fase de projeto. Um correto projeto, de acordo com as necessidades aplicadas a cada instalação é essencial. Após a realização do projeto mesmo depois do comissionamento e colocação em serviço do sistema, por vezes surgem problemas que poderiam ser evitados anteriormente. Neste caso poderemos estar perante uma taxa de fiabilidade baixa do sistema de condicionamento, e não do analisador em si. Uma falha no condicionamento pode levar a que ocorram leituras erradas do equipamento ou no pior caso, pode originar a que haja destruição dos componentes óticos do analisador.

O rótulo de baixa fiabilidade que é aplicado aos analisadores é errado.

Os sistemas de amostragem sofrem de vários problemas, alguns deles de difícil contorno. Como é uma área obscura no que toca a conhecimento científico, acaba por ser uma área onde na maioria dos casos prevalece o conhecimento empírico dos mais diversos responsáveis, seja pelo projeto, seja pela manutenção do mesmo. Mais, em fases de projeto, é uma das áreas com menos especificações tanto por parte do cliente final como por parte do projetista que na maioria dos casos não tem qualquer informação plausível para o sistema. Mas é sempre possível melhorar os sistemas na sua globalidade, mesmo que em alguns casos seja necessário proceder a uma reformulação do sistema em si. O acompanhamento dos sistemas é essencial assim como o registo de problemas e avarias e qual a frequência com que ocorrem. É importante não no que diz respeito à trivialidade de cada problema que ocorre frequentemente, mas sim os problemas que conseqüentemente contribuem para um elevado tempo de sistema fora de serviço. E são frequentemente os problemas de mais fácil resolução.

Há problemas ocultos que dificilmente conseguem ser vistos, mas que, na prática, poderão ser críticos para o funcionamento do sistema. Tempos excessivos de resposta ou contaminação de amostra são os mais frequentes. Alguns destes problemas são impossíveis de serem detetados a menos que exista um detalhado e cuidadoso plano de manutenção para cada sistema. A fiabilidade depende disso mesmo.

5.1.4 Falhas em sistemas de condicionamento

Em cada projeto novo, um sistema de amostragem é sempre um dos fatores ao qual existe sempre menos cuidados. Na grande maioria de novos ou projetos antigos, apenas existe a especificidade de quais os componentes que se pretende que sejam medidos e acompanhados em tempo real. Esse é o foco principal, não havendo, normalmente, requisitos específicos para os sistemas de amostragem. E este é o primeiro erro que na maioria dos casos irá sempre acompanhar a fiabilidade dos sistemas na sua globalidade.

Sistemas de amostragem não são muito tolerantes a erros de *design* ou de projeto. A amostra recolhida circula de uma forma geral através de tubos até ser entregue ao analisador. É muito simples ocorrer um erro de *design*, de projeto ou mesmo de manutenção que irá inviabilizar o funcionamento do sistema. Cada projeto novo deve ser cuidadosamente acompanhado desde o seu início em que deve haver uma especificidade em todos os aspetos relacionados com o sistema na sua globalidade que vão desde o ponto em que são realizados os trabalhos mecânicos para recolha da amostra até ao ponto de medida.

Mas apesar de tudo o que advém do projeto, até mesmo de erros, é possível colocar um sistema a funcionar de forma correta. Muitas das vezes é necessário proceder a alterações posteriores à instalação do projecto, o que também pode ser um erro.

Pressupõem-se que, numa fase em que o projeto se encontra concluído, já com comissionamento e colocação em serviço, o sistema seja mantido na sua posição original de forma que não sejam realizadas alterações não autorizadas. Mas, infelizmente, isto não acontece e é bastante vulgar que ocorram alterações posteriores. Estas alterações ocorrem pelos mais variados motivos: Ou o sistema original nunca funcionou corretamente e foi necessário adaptar o sistema, ou o sistema original funcionou mas por motivos de manutenção foi necessário alterar novamente o sistema, ou porque as condições de processo da instalação foram alteradas e foi necessário alterar o sistema. Existem “n” motivos que poderiam justificar alterações posteriores. No entanto, alterações posteriores não autorizadas podem causar mais problemas do que aqueles que resolvem. No caso em que existe um sistema que funciona, em

que os seus resultados comparados com resultados em laboratório são válidos, em alterações posteriores deverão sempre ser estudadas as novas variáveis do sistema: Alteração no processo de onde é recolhida a amostra é a variável fulcral e que deve ser sempre tida em consideração em alterações de sistemas.

Alterações não autorizadas aliadas a erros de projeto são a principal causa para a rotulagem negativa que estes equipamentos têm tido ao longo dos anos. Podemos, desta forma, concluir que os sistemas de amostragem falham principalmente por dois grandes motivos:

- A amostra recolhida é bastante difícil de condicionar, ou por ser muito quente, ou por ser bastante suja, ou bastante húmida. Não é fácil encontrar uma solução adequada;
- Falha na fase de projeto. Neste caso é mais fácil encontrar uma solução para o problema.

Num sistema de amostragem deverão existir, pelo menos, seis grandes objetivos (Tabela 7).

Tabela 7 – Objetivos associados a um sistema de amostragem genérico

Compatibilidade	A amostra compatível tem que ser compatível com o equipamento e não pode nunca prejudicar o funcionamento do equipamento.
Baixo <i>delay</i>	O sempre desejável é uma amostra em tempo real, com baixo <i>delay</i>.
Representativa	A amostra tem que ser representativa de forma a poder ser representada e analiticamente medida.
Confiável	Além da amostra ser representativa, tem que ser confiável de forma que os resultados no equipamento sejam iguais ou muito aproximados aos resultados em laboratório.
Baixo custo	Quanto mais baixos forem os custos de implementação e manutenção, melhor para a operação.
Segurança	Sistemas de amostragem têm que ser seguros tanto para as pessoas como para o ambiente em geral.

A captação e transporte da amostra vai desde o local em que é recolhida no processo até à entrada do condicionamento. Um erro de projeto neste ponto pode significar a entrega de amostra não representativa do processo. Uma captação bem dimensionada resolve o problema. O local de instalação é fundamental no processo de amostragem tendo-se também que contabilizar as propriedades do fluido a ser recolhido, a composição do mesmo, viscosidade...

O uso de sondas é frequente. Uma sonda é um tubo que é inserido no processo que deve ser calculado consoante o local onde se encontre tendo em conta a velocidade e densidade do fluido de forma a evitar danos indesejáveis. A temperatura da amostra e do local de recolha é também importante. Em alguns casos as sondas têm que ser feitas de material extremamente resistente à temperatura assim como à corrosão.

A inserção de uma sonda é também algo que deve ser tido em consideração. As curvas em tubagens ou restrições nas mesmas contribuem para a não homogeneização da amostra o que implica que a amostra a ser recolhida não seja representativa. A amostra deverá ser sempre recolhida de um local onde não existam perturbações. O transporte da amostra deverá ser o mais curto possível. Amostras que circulem em tubos estão sujeiras a efeitos físicos e químicos que interferem nas suas características. As perdas de calor também são aspetos a considerar. Apesar de serem utilizadas mangas aquecidas que mantém a temperatura da amostra o mais homogênea possível, podem ocorrer condensações nas tubagens. É recomendado a amostra ser mantida a uma temperatura acima do ponto de orvalho.

A adsorção também é um aspeto indesejável que pode ocorrer. As paredes internas das tubagens podem agarrar parcialmente a amostra à medida que ela escoar. Isto pode induzir em erro o sistema de medição gasoso em que o valor medido não é totalmente representativo da amostra recolhida. O aumento da temperatura nos tubos atenua esse fenómeno. Importa que além da amostra ser o mais representativa possível, que o tempo de resposta também seja o mais curto possível. Daí a importância das tubagens diretas e curtas.

A amostra percorre o caminho até ao analisador a uma determinada velocidade e pressão que depende do comprimento e do diâmetro do tubo de amostra.

5.2 O desafio da manutenção

Um dos desafios dos equipamentos de medição em contínuo é a sua elevada disponibilidade e fiabilidade. Visto que existem compromissos legais a serem respeitados, o desejável é a existência de equipamentos com uma taxa de fiabilidade de 100%, o que na prática torna-se impossível.

A colocação de sistemas de redundância pode ser visto como sendo uma boa solução a ter em consideração com vista a minimizar a probabilidade e tempo de indisponibilidade de medidas. Garante-se assim a medição em contínuo e o cumprimento dos requisitos legais de controlo e medição de emissões atmosféricas. No entanto, um sistema de redundância pressupõe que o

investimento na instalação seja em duplicado, o que na maior parte dos casos acaba por ser uma solução pouco viável devido às condicionantes económicas.

Redundância significa manter sistemas em duplicado (em casos raros, em triplicado) para garantir a disponibilidade de processos e equipamentos críticos. Redundância implica a existência de sistemas em duplicado, o que implica a existência de um maior número de ativos. É utilizada em vários segmentos e em inúmeros meios para garantir disponibilidade elevada de forma a não perder produção e/ou serviços.

Os custos de estruturação e manutenção aumentam significativamente – assim como o tempo de manutenção aos mesmos. Não faz sentido existir um sistema redundante se não houver um plano de manutenção adequado a ambos os sistemas. Não faz sentido um sistema redundante não poder ser utilizado por falta de manutenção em ambos os sistemas, apesar de um deles ser considerado de *backup*. É necessário avaliar custos de manutenção tais como consumo de materiais, peças, mão-de-obra, tempo e acima de tudo, avaliar as implicações da não existência de um sistema redundante. Se, por exemplo, os custos operacionais de uma paragem imprevista forem superiores ao custo de um sistema redundante aliado aos custos de manutenção dos equipamentos, estamos perante um mau dimensionamento operacional.

Um medidor de efluentes gasosos é um equipamento delicado e minucioso. Se considerarmos uma fonte em que exista uma redundância em que um equipamento se encontra em funcionamento e o redundante se encontre parado, a manutenção terá que existir de igual modo como se estivessem ambos em operação. Provavelmente os planos de manutenção preventiva poderão ser diferentes para ambos os equipamentos, mas, a manutenção exigida pelo fabricante deverá sempre ser cumprida.

Um dos aspetos também a considerar – que na grande maioria dos casos não o é, e quando o é, já ocorre numa fase tardia – é o tempo de vida do equipamento, custos de manutenção e tempo de disponibilidade. Um equipamento com 10/20 anos não oferece uma fiabilidade ou certeza de medição tão boa como um equipamento novo e isso são fatores que podem potenciar a troca do mesmo.

A manutenção pode ser assente em três vertentes:

- **Manutenção preventiva:** O equipamento é controlado, verificado e testado com regularidade. O objetivo é reduzir substancialmente o número de falhas aumentando para isso a disponibilidade e desempenho do equipamento. A manutenção preventiva aumenta a fiabilidade do mesmo e o objetivo é que o mesmo opere nas condições

ideais de funcionamento. Implica uma maior disponibilidade de recursos humanos e de tempo e requer a existência de planeamento de trabalhos;

- **Manutenção corretiva:** É o tipo de manutenção não planeada e que é causada por falhas ou anomalias no funcionamento. O objetivo é a correção imediata do problema quando este ocorre. Implica uma menor disponibilidade de recursos humanos mas pode implicar danos para a instalação;
- **Manutenção preditiva:** É o tipo de manutenção que acompanha periodicamente os equipamentos. O seu objetivo é a verificação pontual do funcionamento dos equipamentos, antecipando problemas que possam causar danos maiores como na manutenção corretiva.

Frequentemente os planos de manutenção não espelham a realidade e as limitações de determinada instalação assim como das dificuldades inerentes à concretização dos planeamentos. É cada vez mais importante o estabelecimento de metas de disponibilidade realistas! Disponibilidade de 100% é um mito, simplesmente não existe. É impossível e é imprudente colidindo com o seu propósito de existência assim como da sua manutenção recomendada. Analisadores de gases e de partículas requerem calibrações e manutenções frequentes pelo que é impossível atingir uma taxa de 100% de disponibilidade. Em alguns casos, os próprios equipamentos são configurados com rotinas de auto calibração e de limpeza automática. Dispensa o recurso humano diário mas confere indisponibilidade do equipamento durante algum tempo. Um exemplo de manutenção automática que causa indisponibilidade no sistema de medição são analisadores com sistemas de limpeza automática – *blowback* – que é uma sopragem de ar comprimido em contra corrente, para limpeza de filtros. Se considerarmos uma sopragem de 1 minuto por cada hora de funcionamento, a disponibilidade do equipamento deixa de ser 100% para passar a ser 98%. Reduz-se a disponibilidade do equipamento para aumentar a sua fiabilidade, que em termos financeiros, o preço a pagar pela falha será sempre maior do que o tempo em que o mesmo se encontra indisponível. E neste tempo não estão incluídas as funções de manutenção preventiva que igualmente causam indisponibilidade do equipamento.

Numa equipa de manutenção, o ideal é a existência de técnicos dedicados apenas a tarefas analíticas. Este tipo de equipamentos, por norma, é sempre deixado para outros planos quando surgem outras frentes de trabalho. Normalmente são equipamentos não tão fulcrais mas que estão associados ao controlo e otimização de determinado processo – incluindo emissões atmosféricas e controlo de processo.

O acompanhamento dos equipamentos é fundamental. O acompanhamento local e à distância é essencial! O reconhecimento de “padrões” é também essencial e pode ser feito à distância, apenas com o recurso a um computador. Na sua maioria, estes sistemas encontram-se integrados num sistema de controlo SCADA com indicação de leituras em tempo real. Há comportamentos típicos que podem indicar uma falha eminente no equipamento: Valores com muita oscilação; valores mais altos/baixos do que o normal; valores a zero são exemplos disso. Num sistema de emissões gasosas, um valor a zero se for real poderá ser bom. Num sistema de controlo de processo ou de proteção, um valor a zero poderá ser indicação de que o equipamento poderá não estar a funcionar bem. Exemplo disso: Um sistema de electrofiltro. Se os valores medidos de monóxido de carbono em determinado processo forem zero ou perto disso, pode indicar mau funcionamento do equipamento. E se houver uma subida abrupta dos níveis de monóxido ou ocorrer um foco de incêndio? O mecanismo de proteção poderá não atuar e irão ocorrer sérios danos. Vale a pena arriscar ausência de manutenção?

As cartas de controlo podem também ser fortes aliados no estudo e acompanhamento da fiabilidade dos equipamentos.

Importa novamente referir a existência de dois tipos diferentes de sistemas de amostragem gasosa: emissões ambientais e controlo/otimização de processo.

A legislação em vigor “obriga” a que os operadores das instalações evidenciem acompanhamento da fiabilidade dos equipamentos – apenas para emissões atmosféricas. Esse processo de acompanhamento pode ser feito automaticamente ou manualmente e irá ser abordado mais tarde. Para controlo processual, e como a legislação de emissões atmosféricas não é aplicável a este tipo de sistemas, o controlo fica ao critério da equipa de manutenção. É importante o acompanhamento e monitorização dos indicadores de desempenho de determinado equipamento.

No estudo prático que o autor realizou, optou por considerar sistema a sistema e não cada equipamento em si. A justificação para isso é de que cada sistema compreende a existência de vários equipamentos. Vejamos o exemplo de um sistema de controlo de emissões que tem um analisador de gases, um refrigerador de gases, uma linha aquecida de transporte de gás, uma bomba de amostragem e diversos mecanismos de proteção do equipamento tais como detetores de condensação. A falha ou avaria de um qualquer mecanismo implica a paragem do sistema, ou seja, apesar do analisador se encontrar operacional, o sistema está indisponível devido a uma falha verificada num dos equipamentos que o constitui. O sistema em si tem que ser

considerado como sendo um todo e não como sendo individualmente. E é dessa forma que o sistema deve ser avaliado, a sua *performance*, a sua disponibilidade e a sua eficiência. O baixo desempenho de um sistema pode estar associado a diversos fatores tais como a amostragem inadequada, peças de baixa qualidade, fraca manutenção ou até mesmo condições adversas de processo. Claro que é possível suprimir diversos fatores ou mesmo eliminar pontos de falha mas, é importante estudar e compreender o motivo e as causas das falhas. O aumento de custos e intervenções mais frequentes podem indicar a necessidade de substituição do equipamento. E se estivermos perante um sistema mal projetado ou que a especificação não é a adequada para a localização do equipamento? Sem indicadores de manutenção não é possível determinar.

A implementação de analisadores de processo ou de emissões é algo que deve ser pensado e tratado de maneira diferenciada. Seja por resposta a compromissos legais seja por resposta a otimização de processo, a sua utilidade e redução de custos que pode atingir depende do envolvimento de todos os intervenientes desde a fase inicial de projeto até à fase final de implementação. Os custos de implementação não são baixos. Mas o retorno que pode ser obtido, pode ser muito superior.

5.3 Intervenções de manutenção nos sistemas

Nesta secção será descrita a manutenção realizada a equipamentos de medição de efluentes gasosos, não apenas do equipamento em si mas também dos restantes equipamentos que fazem um sistema global desde que a amostra é recolhida até ao ponto em que é entregue para quantificação. Um sistema de amostragem não é apenas constituído pelo analisador em si que quantifica a amostra recolhida: é também constituído pelos restantes equipamentos, desde simples tubos até controladores de temperatura. A falha de qualquer um dos componentes pode invalidar a fiabilidade de um sistema e na grande maioria dos casos invalida a representatividade da amostra recolhida.

5.3.1 Identificação dos equipamentos

Não é possível que todos os equipamentos de um sistema se encontrem devidamente identificados. O ideal seria que cada sistema tivesse uma quantificação de todos os equipamentos existentes nesse mesmo sistema, não só como guia para manutenções futuras mas também para controlo de necessidades futuras assim como uma mais fácil identificação das peças, características e especificidade. A construção e elaboração de uma pequena base de dados seria uma mais-valia.

É difícil, por exemplo, quantificar a tubagem que existe num circuito. Mas não impossível. É sim muito mais fácil a identificação de um controlador de temperatura devido a este apresentar uma etiqueta de características.

Quais serão as peças a serem substituídas preventivamente num período de 6 a 12 meses? Qual o custo que determinado sistema, seja ele de controlo de processo ou mesmo de emissões, possa ter para o proprietário do mesmo? Compensará a adjudicação a serviços de manutenção externa a um sistema com baixa necessidade de manutenção e com fiabilidade elevada? Justificará assegurar a manutenção a um sistema com alguns anos de vida ao invés da aquisição de um novo? É impossível uma previsão com alguma precisão se não existirem dados referentes ao sistema desde os dados de manutenções anteriores.

Fiabilidade de 100% é uma utopia. Os serviços de manutenção tentam sim garantir a maior fiabilidade possível.

A identificação dos equipamentos (individualmente) permite obter uma série de dados e informações sobre esse mesmo equipamento, tais como a marca, modelo, número de série, ano de fabrico e outras especificações técnicas que importam para a fase de implementação ou de substituição em caso de mau funcionamento ou melhoria do sistema. Claro que é impossível todos os equipamentos de um sistema terem identificação com número de série, mas, sempre que possível deveriam ter.

Vejamos o exemplo de uma bomba de amostragem vulgarmente utilizada em sistemas de amostragem gasosa (Figura 48).

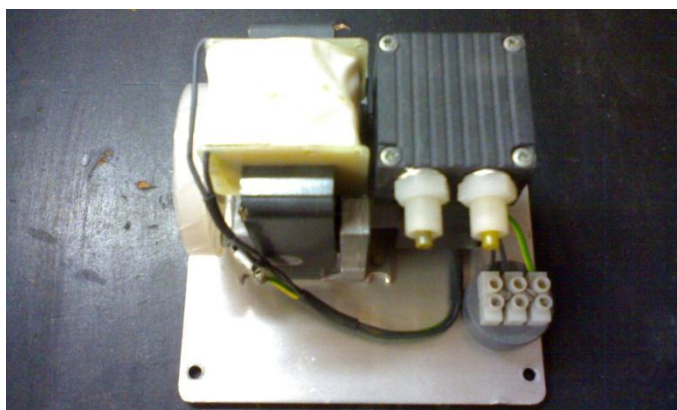


Figura 48 - Bomba de amostragem

Estas bombas de amostragem funcionam com auxílio de uma membrana diafragma, conseguindo provocar sucção/pressão suficiente para recolher gases desde o ponto de amostragem até ao ponto de amostra. Tem na sua constituição peças móveis e fixas sujeitas a

desgaste ao longo do tempo de normal utilização que caso se danifiquem podem comprometer o funcionamento da mesma e conseqüentemente a fiabilidade do sistema.

Este tipo de bombas funcionam ininterruptamente logo o desgaste das suas peças móveis é bastante elevado. As condições em que se encontra é também determinante para a durabilidade das mesmas, pelo que condições de temperatura, humidade elevada ou ambiente poluído é indesejável.

No caso de um cenário ideal, este tipo de equipamento deveria ter um registo com a data de colocação em serviço assim como registo de intervenções na mesma de forma a planear futuras manutenções preventivas na mesma.

Vejam agora o caso de um analisador de gases em que existe uma etiqueta identificadora com a descrição do equipamento (Figura 49).

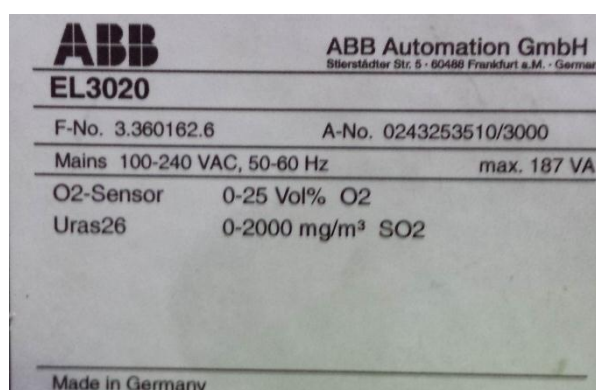


Figura 49 - Etiqueta identificadora de analisador ABB EL3020

Na Figura 49 estão representadas algumas informações relevantes do equipamento tais como:

- Marca e modelo do equipamento;
- Número de fabrico;
- Componentes de medição instalados no sistema e escalas correspondentes;
- Tensão e frequência de alimentação do equipamento.

Através do número de fabrico é possível aceder a diversas informações úteis sobre este mesmo equipamento, desde o *datasheet* do mesmo até ao ficheiro de configuração do *software* instalado. Esta base de dados pertencente ao fabricante fornece os dados técnicos do equipamento. Neste caso, na eventualidade de mais tarde ser necessário substituir algum componente crítico do analisador que possa requerer nova programação do mesmo, o fabricante fornece o programa e respetivo *software* para que seja reinstalado o sistema.

A base de dados do fabricante apenas fornece algumas informações sobre o equipamento. Durante a vida útil do equipamento deverá ser o cliente a construir a sua base de dados sobre este mesmo equipamento onde deveriam constar informações tais como registo de calibrações, peças aplicadas, avarias para registo futuro e a avaliação regular do estado de funcionamento do equipamento.

5.4 Manutenções realizadas

Durante o tempo de levantamento e registo de avarias a alguns sistemas, foram realizadas manutenções/intervenções, algumas delas preventivas outras já após se saber da existência de anomalia nos sistemas.

De forma a melhor se estruturar a descrição dos mesmos, é importante estabelecer uma divisão entre condicionamento e equipamentos.

5.4.1 Manutenções realizadas em sistemas de condicionamento

Sistemas de condicionamento são parte integrante de um sistema de análise global. Apesar de ser possível existir um sistema de amostragem com ausência de um sistema de condicionamento, na grande maioria dos casos é impossível a não existência desse mesmo sistema. A manutenção de sistemas de condicionamento assim como a necessidade de maior manutenção depende do local onde este se encontra aplicado. Nem sempre, mas, na generalidade dos sistemas existentes, a necessidade de maior manutenção ocorre em sistemas de condicionamento em sistemas de controlo de processo.

Vejamos o seguinte exemplo aplicado ao caso de uma cimenteira:

O cimento é um material cerâmico que em contacto com a água produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. Tem na sua constituição matérias-primas tais como carbonato de cálcio, sílica, alumínio e minério de ferro que são geralmente extraídas de rochas calcárias (podendo ser adicionado também calcário no caso da rocha não ser suficientemente rica em calcário) ou argila. Após extração da matéria-prima, esta é triturada, armazenada e homogeneizada até entrar no circuito de cozedura.

Após armazenamento e moagem, o material resultante – farinha – é enviado a um forno rotativo. Antes de ser inserida no forno rotativo, a farinha passa por uma torre de ciclones para que seja aquecida através dos gases quentes originados pelo forno. Quando a farinha chega ao forno rotativo, a temperatura pode alcançar os 900°C, ajudando claramente a reduzir o

consumo de energia e aumentar a produção de clínquer. Já no interior do forno, a temperatura pode chegar a atingir os 1500°C (Figura 50).

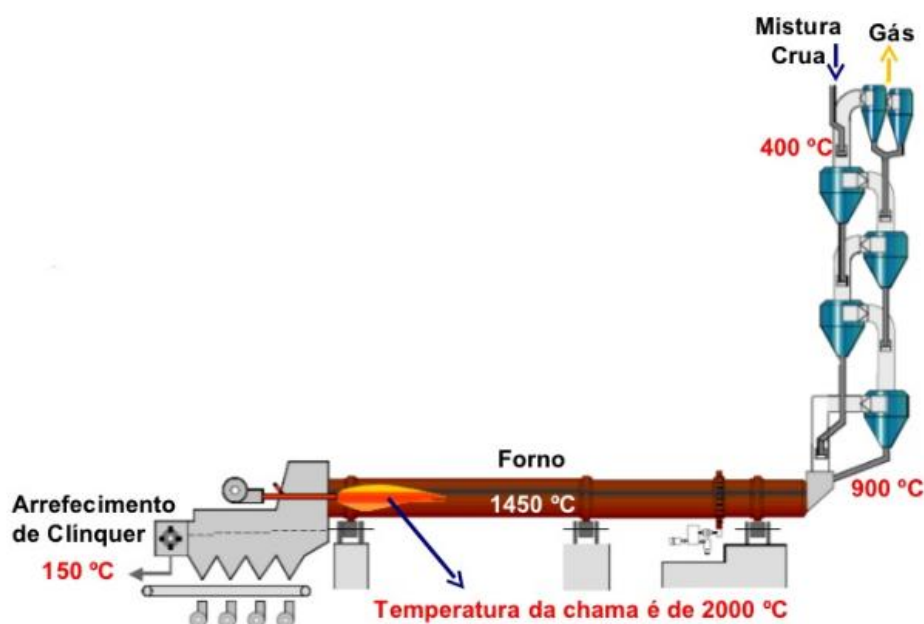


Figura 50 - Processo de alimentação e combustão de forno rotativo de clínquer (FLS, 2017)

Como podemos verificar na Figura 50 estamos perante um processo de combustão a elevadas temperaturas que não é limpo – isento de pó e partículas. Como tal, nesta fase, se o processo de cozedura tiver sistemas de análise gasosos, vamos estar perante condições adversas em que o tratamento da amostra é fundamental para o correto funcionamento dos sistemas.

Mas, e como o intuito de otimizar o processo, requer que sejam extraídas amostras que sejam medidas em tempo real, sendo necessário retirar a amostra gasosa do interior do forno, eliminando todos os contaminantes existentes até a amostra ser entregue ao analisador. Esta tarefa nem sempre é fácil e pode até ser complexa. No entanto é uma tarefa fulcral para o bom funcionamento de qualquer sistema.

Devido à constituição química da matéria-prima, existirá sempre a formação de enxofre no forno inclusive na torre de pré aquecimento – este forma-se a temperaturas entre os 400° e os 700°C – que em sistemas de condicionamento pode originar ácido sulfúrico. Parte das tarefas realizadas foram no âmbito de manutenção preventiva. Algumas das tarefas foram no âmbito de intervenções de manutenção preventivas tendo sido também realizadas manutenções corretivas.

O exemplo seguinte (Figura 51 e Figura 52) é referente a uma sonda de recolha de gases.



Figura 51 - Sonda de gases FLS

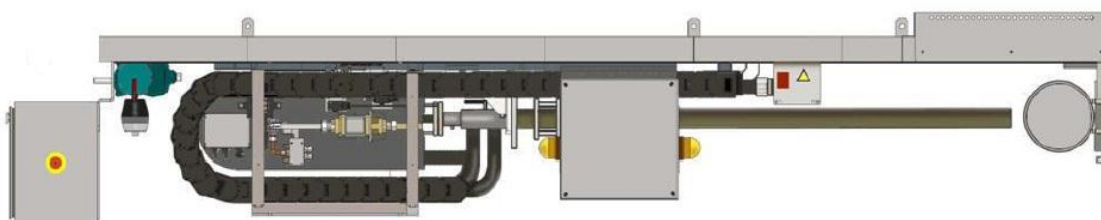





Figura 52 - Sonda de gases ABB ACK (ABB, 2012)

A função desta sonda é estar permanentemente inserida na conduta, seja na entrada de um forno seja no circuito de pré aquecimento de gases a aspirar os gases ali existentes. Este tipo de sondas são aplicadas apenas em locais específicos de processo e não em sistemas de emissões. Algumas das avarias registadas neste equipamento estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8 – Avarias registadas na sonda de gases

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
<p>Sonda com obstruções frequentes.</p>	<p>O sintoma inicial era de que a sonda estava constantemente a obstruir, mais do que o habitual. Após inspeção da mesma verificou-se que esta se encontrava fissurada e com fuga de água. A resolução passou pela sua substituição.</p> <p>Houveram casos em que a sonda se encontrava também a obstruir com frequência em que foi possível solucionar apenas com a alteração da zona de aspiração – alteração do ângulo.</p>	

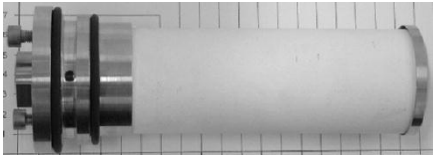
<p>Sonda com água no circuito de recolha de amostra</p>	<p>Após substituição de uma sonda semelhante por fissura na mesma, foi colocada uma nova – reparada. A deteção desta avaria foi quase imediata, durante os testes de ensaio da mesma. No entanto, e devido à avaria existente, houve uma passagem de água entre o circuito de refrigeração e o circuito de recolha de amostra. O resultado foi que a água com pressão considerável passou para o circuito de recolha a montante da sonda tendo sido necessária a limpeza de todas as linhas de recolha de amostra e um dos analisadores na parte ótica.</p>	
<p>Sonda com valores irrealis após arranque da instalação</p>	<p>Após o arranque da instalação depois de uma paragem programada, os valores medidos pelos analisadores não correspondiam à realidade. Verificou-se que a tubeira de proteção no interior do forno tinha sido aumentada em 1 metro o que implicava que a sonda estivesse completamente no interior da mesma. A amostra que estava a ser recolhida estava a ser falseada com ar ambiente, exterior. A solução passou por alterar a sua posição – para uma maior introdução.</p>	
<p>Temperatura de água de refrigeração da sonda com elevada variação</p>	<p>Sonda PT100 defeituosa. Foi substituída.</p>	
<p>Temperatura da água de refrigeração muito elevada</p>	<p>Bomba mecânica defeituosa. Foi necessária a sua substituição.</p>	

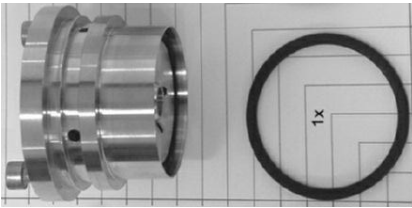
<p>Temperatura da água de refrigeração muito baixa</p>	<p>Resistência de aquecimento do depósito de água com circuito aberto. Houve necessidade de vaziar o circuito de água para proceder à sua substituição.</p>	
<p>Temperatura da água de refrigeração muito baixa</p>	<p>O depósito encontrava-se vazio devido a fuga. No entanto e devido a ausência prolongada de manutenção no interior do depósito, os indicadores de nível de água forneceram uma informação errada. Foram limpos e reparados.</p>	

A recolha de amostra na sua extremidade tem um filtro cerâmico cuja função é a retenção de partículas e contaminantes. Todo o circuito de amostragem gasosa encontra-se em depressão devido ao facto de ser necessário aspirar os gases do interior do forno. Como tal, este filtro – que se encontra aquecido - encontra-se em depressão, logo é espectável a acumulação de partículas e resíduos na parte exterior do mesmo. Algumas das tarefas de manutenção preventiva consistiam na limpeza regular destes filtros assim como a substituição preventiva das juntas em Teflon – *o’rings* – de forma a garantir a retenção de partículas no lado exterior do filtro e a não existência de entradas de ar falso que pudessem adulterar os valores medidos.

Uma manutenção deficiente neste componente poderia originar problemas mais complicados (entupimentos de tubagens e contaminação do circuito de amostragem) daí ser importante o seu estado de conservação. A Tabela 9 apresenta as avarias detetadas.

Tabela 9 – Avarias registadas no filtro cerâmico



<p>Avaria detetada</p>	<p>Resolução</p>	<p>Fotografia</p>
<p>Falta de caudal no circuito</p>	<p>Filtro com bastante sujidade. Apesar de uma das tarefas de manutenção preventiva ser a sua limpeza regular, em alguns casos a sua substituição era realizada com alguma regularidade, dependendo do sistema em causa.</p>	

Entrada de ar falso no circuito	Este tipo de avaria é uma das avarias mais frequentes neste tipo de sistemas. A degradação dos elementos em todo o circuito com o tempo origina pequenas entradas de ar falso que falseiam os valores medidos. Uma forma de detetar este tipo de avaria é colocar o circuito completo em vácuo até se descobrir o local onde existe a fuga. Um dos locais em que este tipo de fugas surgia era no filtro cerâmico de entrada – nos seus vedantes – devido a estes estarem expostos a temperatura elevada o que acelerava a sua degradação.	
---------------------------------	--	---

A montante deste filtro aquecido existe sempre uma linha aquecida de transporte de amostra.

Esta linha de transporte é isolada com resistências de aquecimento que visam manter a temperatura uniforme durante o transporte da mesma. A Tabela 10 apresenta as avarias.

Tabela 10 – Avarias registadas na linha de transporte

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Falta de caudal no circuito	Linha de transporte contaminada e obstruída devido a acumulação de sujidade no seu interior. Foi necessário desobstruí-la e procurar o motivo da obstrução a jusante, o que implicou a substituição dos vedantes do filtro aquecido.	
Alarme de linha de temperatura	Foi medida a resistência ohmica e confirmou-se que a temperatura se encontrava realmente muito baixa. Após se medir a resistência de aquecimento constatou-se que realmente esta se encontrava com circuito aberto. Foi necessário substituir toda a linha de transporte.	

A montante da linha aquecida encontra-se sempre um refrigerador. Antes de mais, importa referir como funciona um vulgar refrigerador, sendo que um típico refrigerador tem quatro componentes fulcrais para o seu funcionamento:

- Um dispositivo de expansão de gás;
- Um evaporador/bobine de condensação;
- Um compressor;
- Um gás refrigerante.

Num processo de refrigeração (Figura 53) o evaporador gera o frio. O gás refrigerante neste caso está em estado gasoso e extrai o calor do interior do refrigerador. A pressão do refrigerante durante este processo é baixa. O compressor aspira o refrigerante em estado gasoso e comprime-o a alta pressão até ao condensador. O refrigerante converte-se novamente em líquido e emite o calor durante o percurso na bobine de condensação – para o exterior. Mais tarde, a pressão é reduzida em tubo capilar (passando do estado líquido para o estado gasoso) em que durante o percurso nesse capilar a pressão baixa, originando que este retorne ao estado gasoso percorrendo novamente o interior do mesmo removendo o calor do interior do refrigerador.



Figura 53 - Esquema de funcionamento de um circuito de refrigeração (Mitsubishi, 2014)


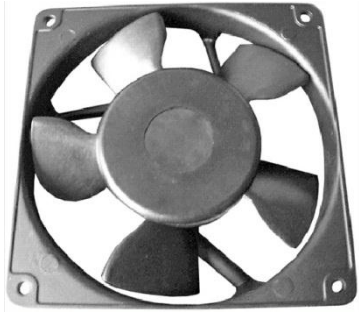
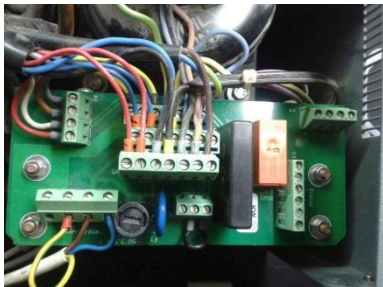
A função deste refrigerador é o arrefecimento brusco da amostra recolhida do interior de determinada conduta. São refrigeradores com uma ou duas câmaras arrefecidas a uma temperatura de 3°C.

Normalmente, a amostra é recolhida a uma temperatura considerável (acima de 100°) que é transportada através da linha aquecida que se encontra, normalmente, com uma temperatura de 150° de forma a evitar condensações indesejáveis. Mas, a amostra para ser medida pelos equipamentos tem que ser arrefecida. Ao arrefecer bruscamente a amostra vai condensar no

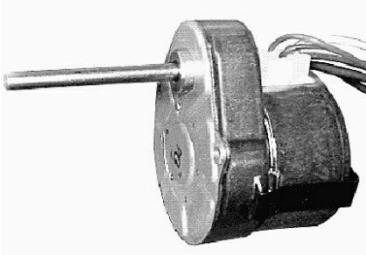

interior das câmaras e condensar. O condensado fica então retido no refrigerador sendo depois removido para o exterior. A amostra é então arrefecida e a humidade é removida.

É um dos processos mais importantes no condicionamento – e também um dos mais problemáticos. Um fraco condicionamento compromete a fiabilidade de um sistema assim como a integridade dos equipamentos existentes a montante. A Tabela 11 descreve as avarias.

Tabela 11 – Avarias registadas num refrigerador

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Temperatura do refrigerador demasiado elevada	O refrigerador encontrava-se com 20°. A electroválvula de <i>bypass</i> de gás de refrigeração não estava a manobrar. Foi necessário substituir o refrigerador e mais tarde substituir a electroválvula. A substituição da electroválvula implica a introdução de gás de refrigeração no equipamento.	
Temperatura do refrigerador demasiado elevada	Avaria no ventilador do permutador do equipamento. Foi substituído. Este tipo de avaria é frequente em sistemas com fraca capacidade de retenção de lixo exterior assim como sistemas com exposição a temperaturas ambiente muito elevadas.	
Temperatura do refrigerador demasiado baixa	Avaria no relé de estado sólido da placa de controlo que manobrava a electroválvula de <i>bypass</i> . Foi possível a sua substituição.	

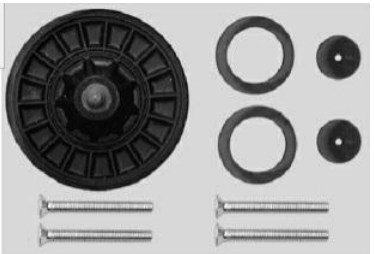
<p>Temperatura do refrigerador demasiado instável e com bastante ruído na electroválvula de <i>bypass</i></p>	<p>Electroválvula a ser alimentada apenas a 130 V quando deveria estar a ser alimentada a 230 V. Avaria no regulador de tensão. Substituição da placa e mais tarde substituição do retificador.</p>	
<p>Analisador de gases com vestígios de humidade no interior do bloco ótico assim como dentro das tubagens</p>	<p>Avaria no motor de remoção de condensados do refrigerador. Como as serpentinas do refrigerador acumularam líquido e com a depressão da bomba de amostragem, o condensado foi arrastado até ao interior do analisador. Foi substituído o motor de remoção de condensados assim como o seu mecanismo – engrenagem.</p>	
<p>Entrada de ar falso no circuito com valores a serem falseados. Vestígios de humidade no circuito de tubagem.</p>	<p>Avaria no rolete da bomba de remoção de condensados. Este rolete tem acoplado um tubo que com a rotação do mesmo remove a condensação do interior das serpentinas do refrigerador. Uma das molas cedeu e partiu. Teve que ser substituído.</p>	
<p>Disparos frequentes de condensação no circuito.</p>	<p>Praticamente todos os circuitos de recolha de amostra encontram-se dotados com um detetor de condensados que atua na presença de líquido no circuito. Neste caso estavam a ocorrer alarmes frequentes de presença de condensados. A serpentina de vidro quebrou no interior devido a desgaste que impedia que os condensados fossem extraídos para o exterior. Teve que ser substituída a serpentina.</p>	
<p>Disparos frequentes de condensação no circuito.</p>	<p>Os tubos de borracha que se encontram acoplados ao rolete de remoção de condensados encontram-se permanentemente sobre pressão. Neste caso um dos tubos por desgaste encontrava-se demasiado danificado</p>	

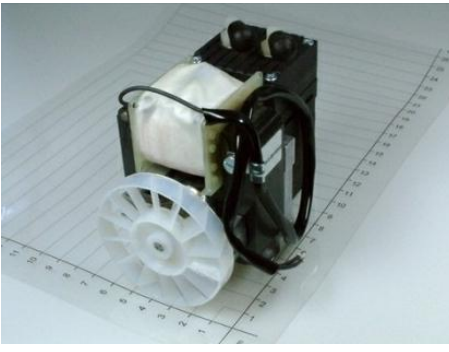


	e não conseguia extrair a condensação para o exterior. Foi substituído.	
Tubagem com vestígios de humidade no interior.	Caixa redutora da bomba de remoção de condensados com as engrenagens danificadas. O motor estava em correto funcionamento mas a engrenagem encontrava-se com desgaste não acompanhando a movimentação do motor. Foi substituído o conjunto completo com motor e engrenagem.	
Analizador com medidas irreais.	As serpentinas do refrigerador encontravam-se contaminadas e com algum liquido no interior o que falseou os valores medidos de determinados componentes. Foi necessário lavar as serpentinas.	

O circuito de amostragem não funciona sem o auxílio de uma bomba de amostragem que provoca sucção/pressão suficiente para recolher gases desde o ponto de amostragem até ao ponto de amostra. Tal como os restantes equipamentos, e sendo uma bomba mecânica com peças móveis, funciona permanentemente apenas com alguns períodos de paragem.

Como tal, o desgaste deste equipamento é também frequente e implica o mau funcionamento de um sistema de amostragem. A Tabela 12 descreve as avarias registadas.


Tabela 12 – Avarias registadas no circuito e amostragem

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Medidas de oxigénio do analisador com oscilações cíclicas.	Detetou-se que a membrana da bomba de amostragem se encontrava defeituosa – deteriorada.	

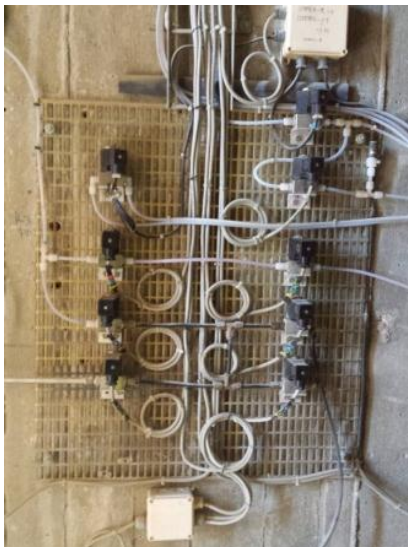
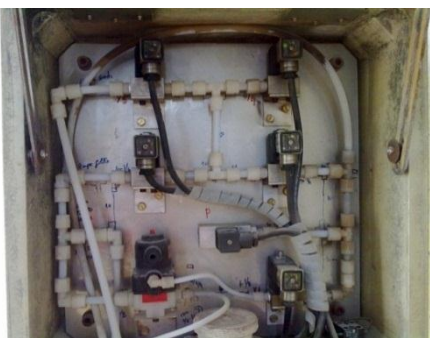


<p>Falta de caudal no analisador.</p>	<p>Bomba de amostragem com rolamento gripado. Foi necessário proceder à substituição da bomba e mais tarde substituído o rolamento da bomba retirada. Tipo de avaria recorrente devido ao local em que se encontram assim como os elementos móveis se encontrarem desprotegidos.</p>	
<p>Caudal de amostragem muito baixo com irregularidades.</p>	<p>Bomba de amostragem com membrana corroída. A presença de ácidos e condensações no circuito de amostragem desfez a membrana de amostragem. Foi substituída. Tipo de avaria frequente devido a desgaste – peça móvel em borracha.</p>	
<p>Analisadores com medidas instáveis e caudal também com oscilação.</p>	<p>Neste caso especial em que o sistema em causa tinha duas bombas (uma delas de purga) as bombas foram danificadas por falha de uma electroválvula de limpeza automática do circuito – sonda. Foi necessário substituir ambas as bombas.</p>	

Em alguns sistemas mais críticos é frequente a existência de sistemas de limpeza automática. São sistemas compostos por electroválvulas que são programados para efetuar limpeza do ponto de recolha, nomeadamente sondas. Em alguns casos, ocorreram avarias (Tabela 13).

Tabela 13 – Avarias registadas no sistema de limpeza

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
<p>Autómato desligado.</p>	<p>Detetado curto-circuito numa das válvulas de limpeza automática do circuito. Foi substituída e substituído também o fusível de alimentação do autómato.</p>	


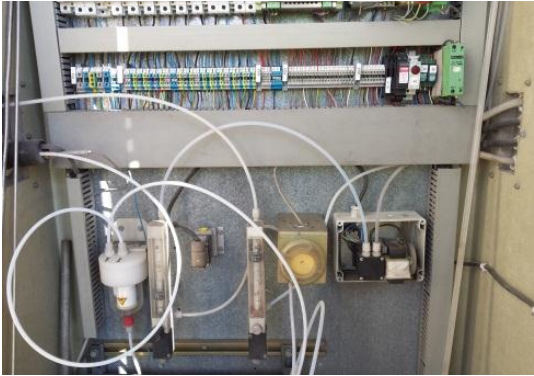

<p>Valores irreais medidos pelo analisador.</p>	<p>Detetadas diversas fugas no sistema de sopragem automática da sonda. Foram vedadas. Não foi possível total resolução devido a ser um sistema antigo.</p>	
<p>Falta de caudal no analisador e valores medidos não reais.</p>	<p>A válvula que comuta entre a limpeza automática e o funcionamento normal bloqueou devido a resíduos no seu interior, impossibilitando-a de abrir normalmente. Foi substituída a membrana de borracha no seu interior.</p>	
<p>Valores irreais medidos pelo analisador.</p>	<p>Entupimento da sonda de recolha de amostra devido a electroválvula danificada. A bobine queimou e teve que ser substituído o conjunto completo.</p>	
<p>Valores irreais medidos pelo analisador.</p>	<p>Válvula de entrada de amostra obstruída. Foi desmontada e limpa. Foi também necessário substituir o filtro de entrada no circuito devido a este ter quebrado e ter permitido a passagem de partículas.</p>	
<p>Analisador com valores irreais.</p>	<p>Devido a anomalia no processo de produção da instalação, houve um derrame de material que destruiu cabos e tubagem. Houve necessidade de refazer todo o circuito de tubagens assim como a passagem de novos cabos neste caso por novo percurso de forma a evitar futuras situações semelhantes. Foi também alterada a localização do <i>blaster</i> de limpeza da sonda.</p>	

<p>Analizador com oscilações anormais nas medidas.</p>	<p>Verificou-se que após a limpeza automática da sonda de gases que os valores de oxigénio oscilavam bastante normalizando pouco depois. Tal se deveu ao facto de existir uma electroválvula com passagem de ar devido a não estar a vedar corretamente.</p>	
<p>Analizador com medidas irreais.</p>	<p>Sequência de funcionamento das válvulas de limpeza incorreto. Foi necessário reprogramar o autómato com a correta sequência assim como os tempos de limpeza e amostragem de forma a garantir medidas fiáveis e estáveis.</p>	
<p>Analizador com falta de caudal.</p>	<p>Electroválvula de bloqueio de ar comprimido permanentemente fechada sem razão aparente. Houve uma avaria no autómato que comandava a sequência de limpeza e funcionamento do circuito. Foi necessário substituir a carta de entradas do autómato.</p>	
<p>Analizador com medidas irreais.</p>	<p>Entrada de ar falso através da electroválvula de limpeza de ar comprimido. A electroválvula não estava a vedar corretamente permitindo que o ar comprimido se misturasse com a amostra, inviabilizando os valores medidos. Foi substituída.</p>	

A grande maioria dos circuitos de amostragem gasosa encontram-se dotados com proteções aos equipamentos no que toca a condensações indesejadas nas tubagens assim como por faltas

de caudal. Na presença de líquido no circuito (detetor) ou na falta de caudal, o sistema pára a bomba de amostragem como medida de proteção do analisador. Normalmente não são componentes que possam requerer muita manutenção, mas, são componentes que se não funcionarem corretamente podem contribuir para a destruição de parte dos componentes óticos de um analisador. Neste caso, foram feitas algumas melhorias em alguns sistemas (Tabela 14).

Tabela 14 – Avarias registadas


Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Presença irreal de condensados no circuito.	Relé de condensados com mau funcionamento. Houve necessidade de o substituir.	
Presença irreal de condensados no circuito.	Sensibilidade do detetor muito elevada. Estava em correto funcionamento no entanto com muita sensibilidade o que originava por vezes alarmes irrealis. Foi alterada a sensibilidade do mesmo.	
Falta de relé de condensados	O sistema não estava dotado de detetores de condensados nem do respetivo relé. Foram colocados dois detetores de condensados como medida de proteção aos dois analisadores existentes.	

<p>Falta de relé de condensados</p>	<p>Este sistema encontrava-se dotado de detetores de condensados. No entanto não existia nenhum relé que pudesse atuar na presença de condensações indesejadas. Foi aplicado um relé duplo.</p>	
<p>Falta de caudal irreal no analisador.</p>	<p>Relé de caudal com mau funcionamento. Por vezes atuava sem que ocorresse falta de caudal no analisador. Houve necessidade de o substituir.</p>	
<p>Presença de caudal constante, mesmo quando não havia.</p>	<p>Relé de caudal com mau funcionamento. Não atuava quando falhava o caudal, logo nunca dava indicação de falta de caudal. Foi substituído. Esta situação foi frequente devido ao facto de muitos dos relés aplicados na instalação serem antigos.</p>	

Existem alguns equipamentos específicos cujo funcionamento é dependente da existência de ar comprimido. No caso dos analisadores multigases FTIR, devido à sua conceção, estes não podem funcionar sem ar comprimido. E o ar comprimido que os alimenta tem que ser cuidado, isento de partículas e outros contaminantes que possam vir a contribuir para a sua destruição ou mau funcionamento. Em qualquer instalação fabril o ar comprimido, neste caso a qualidade do mesmo é um aspeto problemático. A canalização de recursos para manutenção em áreas

mais críticas leva a que por vezes a qualidade do ar existente não seja a melhor. Durante o período de levantamento de anomalias, houve uma frequente que afetou o funcionamento do equipamento (Tabela 15).

Tabela 15 – Avarias registadas no sistema de ar comprimido

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Analisador em alarme com falta de caudal.	Presença de água no ar comprimido que impedia o normal funcionamento do sistema, colocando em risco a integridade do próprio equipamento.	

Em termos de medidores de partículas também foram registadas intervenções de manutenção preventiva. E claro, ocorreram também algumas intervenções não críticas porque as anomalias foram previamente detectadas (Tabela 16).

Tabela 16 – Avarias registadas no sistema de medição de partículas

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Lentes com alguma contaminação anormal.	Detetados tubos de ar de limpeza com fissuras derivadas do tempo de funcionamento do equipamento. Foram substituídos.	
Ventilador de ar de barragem das lentes de medidor de partículas com ruído no seu funcionamento.	Tendo sido detetado a tempo, foi possível retirar o ventilador para substituição dos rolamentos. Foram substituídos.	

Em equipamentos de medição exterior de partículas, também foram realizadas manutenções preventivas (Tabela 17). Estes equipamentos funcionam através do mesmo método de amostragem dos analisadores de processo/emissões em que tem na sua constituição uma bomba de amostragem que aspira as partículas a um caudal regulado pelo próprio equipamento. À semelhança dos sistemas de processo/emissões, existe uma bomba de amostragem em permanente aspiração em que o caudal é regulado através de uma válvula que regula o caudal dentro dos limites admissíveis do equipamento. Todos os valores de caudal fora da especificação do equipamento originavam um sinal de alarme do equipamento e consoante invalidação dos valores medidos, mesmo que viáveis. Ao invés dos analisadores de processo/emissões, o caudal destes equipamentos é mais exato e com menor margem de erro.

Tabela 17 – Avarias registadas em equipamentos de medição exterior de partículas

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Analisador com alarme de caudal.	Bomba de amostragem com rolamentos gripados. Esta anomalia apesar de inicialmente não ser frequente, começou a acontecer com mais frequência devido ao tempo/anos de operação. Em alguns casos foram substituídas e reparadas.	
Analisador com alarme de caudal.	Bomba de amostragem com condensador esgotado. Estes motores tem um condensador responsável pelo arranque das mesmas que após algum tempo de operação, devido ao arranque e paragem das mesmas, esgotam a sua capacitância necessitando de serem substituídos.	
Analisador com alarme de caudal.	Válvula reguladora de caudal não manobrava. O motor que aciona o mecanismo encontrava-se danificado, não sendo possível a sua reparação. Teve que ser substituída.	

<p>Analisador com falhas intermitentes de caudal</p>	<p>Válvula reguladora com dificuldades no seu posicionamento. Em grande parte dos casos tal devia-se a sujidade do circuito de amostragem sendo apenas necessário a sua limpeza. Em alguns casos foi mesmo necessário proceder à substituição da válvula.</p>	
<p>Analisador com valores irreais de caudal.</p>	<p>Em alguns casos verificou-se que o detetor de caudal se encontrava sujo no interior sendo para isso necessário proceder à sua limpeza e correta manutenção.</p>	
<p>Analisador com falta de caudal.</p>	<p>Este tipo de bomba de aspiração funciona por palhetas de grafite que deverão ser mudadas preventivamente. No caso desta anomalia, uma das palhetas partiu, tendo encravado a bomba. Houve necessidade de substituir o conjunto das palhetas.</p>	

O condicionamento da amostra é claramente um dos pontos mais sensíveis de todo um sistema e é o que necessita de maior manutenção. Apesar de ser aquele onde a manutenção é mais frequente, a probabilidade de ocorrer uma falha num sistema derivado ao condicionamento é maior.

5.4.2 Manutenções realizadas em sistemas de medição – analisadores

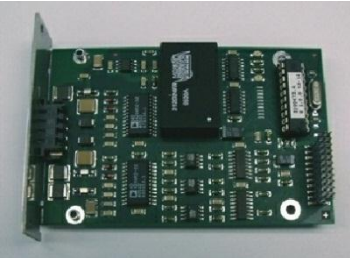
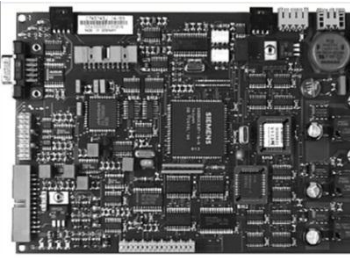
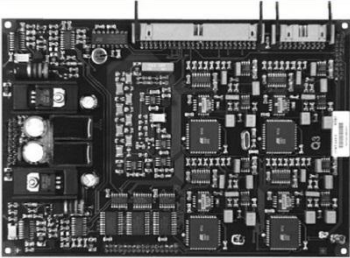
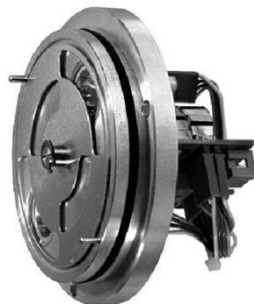
Os equipamentos de medição e quantificação de amostra – os analisadores – não estão sujeitos a manutenções preventivas tão frequentes. No entanto, as avarias que podem ocorrer por norma são mais complexas e podem originar maiores tempos de indisponibilidade num sistema.

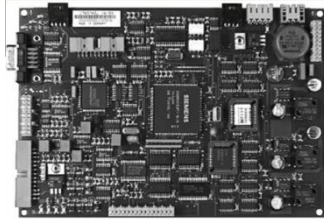


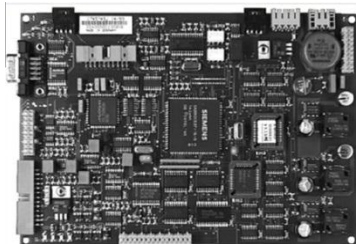


Um Analisador de gases é composto por diversos componentes eletrónicos – cartas – que não necessitam uma manutenção constante. A partir do momento em que o equipamento se encontra em funcionamento e devido à sua boa robustez assim como a sua fiabilidade, não

existe necessidade de intervenções de manutenção tão frequentes como os restantes componentes.

A Tabela 18 apresenta as avarias realizadas em sistemas de medição – analisadores. Algumas das avarias foram detetadas durante tarefas de manutenção preventiva enquanto outras foram detetadas mais tarde, já depois da falha ocorrer e o sistema se encontrar indisponível, ou seja, o sistema, em alguns casos, já se encontrava fora de serviço devido a avaria.

Tabela 18 – Avarias registadas em sistemas de medição

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Sem sinal analógico das medidas do analisador.	O equipamento tem na sua constituição cartas de saída analógicas com vários canais, em que cada canal corresponde à medida de um dos componentes medidos pelo equipamento, expressos num sinal elétrico entre 4 e 20 mA. Neste caso a carta avariou e teve que ser substituída.	
Analisador com indicação de erro sem valores de medição.	O analisador encontrava-se em erro e com falha de comunicação entre o módulo onde a informação da calibração, escalas e componentes é armazenada. Não foi possível nova programação do módulo e este teve que ser substituído.	
Analisador com indicação de erro e sem valores de medição com erros aleatórios.	A parte ótica onde se situa a fonte emissora de infravermelhos assim como o modelador do feixe encontrava-se com funcionamento irregular. A carta eletrónica que regula a parte ótica teve que ser substituída.	
Analisador com indicação de erro e sem valores de medição com erros aleatórios.	Na sequência da avaria da carta de controlo do modulador e respetivos emissores de infravermelho, o bloco modulador também se encontrava a funcionar de forma incorreta. Foi necessário substituir os emissores de infravermelho.	

<p>Analisador com indicação de falha de comunicação entre o módulo de análise e a <i>board</i> do sistema.</p>	<p>Todas as cartas eletrónicas dentro do analisador encontram-se ligadas na <i>board</i> principal do equipamento. Neste caso, quando ocorriam alterações na programação do equipamento – o exemplo de uma calibração – o equipamento por vezes acusava erro de comunicação.</p> <p>Foi substituída a carta.</p>	
<p>Analisador em defeito geral sem informação de nenhum módulo no sistema.</p>	<p>Foi detetado que o equipamento não reconhecia nenhum dos módulos montados na <i>board</i>. Após tentativa de carregamento de novo <i>firmware</i> na <i>board</i>, foi substituída a <i>compact flash</i> onde é armazenado o <i>firmware</i>.</p>	
<p>Analisador a reiniciar constantemente.</p>	<p>As <i>boards</i> de primeira geração, devido à limitação de canais digitais e analógicos, podiam ser complementadas com cartas expansoras de sinal. Permitiam adicionar mais saídas ao equipamento. Neste caso a carta expansora encontrava-se em curto-circuito não deixando o analisador iniciar. Foi substituída.</p>	
<p>Analisador com erros de temperatura.</p>	<p>O analisador encontrava-se com erros de temperatura. Após substituição dos sensores de temperatura o erro persistia. Detetou-se que o problema estava a ser originado devido ao facto do programa que contém a informação dos componentes medidos pelo analisador estava corrompido. Foi reprogramado em nova memória.</p>	
<p>Analisador sem sinal de um dos componentes medidos.</p>	<p>A polaridade dos cabos de saída da medida analógica estava trocada. Foram colocados na posição correta.</p>	
<p>Analisador com erro na medição.</p>	<p>A emissão de infravermelho não estava a ser modulada devido ao facto de que o veio do motor modulador partiu. Sem modulação não é possível pulsar o sinal emitido logo não é possível obter medição. Foi substituído.</p>	

<p>Analisador com erro na medida.</p>	<p>Num analisador cujo princípio de medição é através de emissão de ultravioletas, detetou-se que o equipamento estava com valores irreais de medição. A lâmpada emissora encontrava-se esgotada e teve que ser substituída.</p> <p>Este tipo de avaria é regular visto que este tipo de lâmpadas tem uma duração de vida limitada.</p>	
<p>Analisador com sensibilidade baixa.</p>	<p>A baixa sensibilidade do equipamento permitia ainda o seu normal funcionamento no entanto não permitia tarefas de calibração do mesmo. Sintoma de lâmpada emissora em fim de vida tendo esta sido substituída preventivamente.</p>	
<p>Analisador com valores irreais.</p>	<p>O analisador encontrava-se com líquido no interior. O refrigerador não conseguiu remover a condensação do circuito tendo o líquido ido para dentro do equipamento. A célula de medida corroeu e ficou destruída. Foi substituída. O sistema mais tarde foi melhorado tendo sido colocados detetores de condensados para prevenir situações semelhantes no futuro. No entanto esta situação foi recorrente em outras instalações e pode ocorrer no caso de existirem problemas no condicionamento da amostra.</p>	
<p>Analisador com valores irreais.</p>	<p>O analisador encontrava-se contaminado no interior com fumo resultante do processo de combustão da instalação onde estava aplicado. Neste caso foi possível lavar a célula. Para prevenir situações semelhantes foram adicionados filtros durante o circuito de amostragem.</p>	
<p>Analisador com valores de oxigénio irreais.</p>	<p>Sensor de oxigénio em fim de vida. Foi substituído tendo sido para isso depois calibrado o analisador.</p>	
<p>Analisador com alerta de temperatura baixa.</p>	<p>O Analisador encontrava-se a medir, mas não corretamente. A temperatura é um dos parâmetros essenciais para o correto funcionamento do equipamento. O fusível limitador de temperatura</p>	

	abriu devido a temperatura elevada. Foi substituído.	
Analizador desligado.	Avaria na fonte de alimentação. Não sendo possível a sua reparação, na maioria dos casos em que esta situação surgiu, a fonte foi substituída.	
Analizador em erro de medição.	Erro devido a curto-circuito interno no motor do mecanismo de calibração do equipamento. Foi substituído.	
Analizador com valores irreais.	As células óticas encontravam-se com água devido a rotura de um tubo de água de refrigeração de uma sonda de gases. A água pressurizada entrou no circuito de amostra e chegou até ao analisador.	
Analizador com valor irreal num dos componentes medidos.	O analisador encontrava-se a marcar valores irreais num dos componentes medidos. A sensibilidade do detetor de gás do componente estava muito baixa o que originava uma leitura falsa com bastante oscilação na medida. Foi substituído.	
Analizador de compostos orgânicos em erro – sem chama.	O analisador encontrava-se em erro com a chama apagada (método de medição por ionização de chama). O defeito deveu-se a anomalia na electroválvula de controlo de hidrogénio, necessário para a inflamação da chama. Foi substituída a válvula.	
Analizador de compostos orgânicos em erro.	Falha no controlo das pressões de gás de alimentação da chama e ar de combustão. Houve necessidade de desmontar e limpar todas as válvulas de controlo do equipamento.	

<p>Analizador multigases com falha no caudal.</p>	<p>Falha numa das válvulas de controlo de caudal do equipamento. Teve que ser substituída.</p>	
<p>Analizador de compostos orgânicos em alarme.</p>	<p>Falha de caudal no equipamento que se deveu a sujidade no injetor onde o ar comprimido é injetado. Foi limpo e colocado em serviço.</p>	
<p>Analizador de compostos orgânicos em alarme.</p>	<p>Falha no controlo de pressões do analisador. Avaria deveu-se a falha na tarefa de manutenção do equipamento em que ficou um vedante por aplicar. Foi colocado.</p>	
<p>Analizador de compostos orgânicos com aviso de desvio de calibração.</p>	<p>O equipamento realiza calibrações automáticas todas as semanas. Falhou a auto calibração devido a pressão baixa nas garrafas de gás padrão.</p>	
<p>Consumo anormal de hidrogénio no analisador de compostos orgânicos.</p>	<p>A garrafa de gás – hidrogénio – encontrava-se com uma queda de pressão absoluta bastante acentuada. Detetada fuga no sistema.</p>	
<p>Consumo anormal de hidrogénio no analisador de compostos orgânicos.</p>	<p>Detetada fuga de gás na válvula de controlo de hidrogénio do analisador.</p>	
<p>Analizador multigases com erros devido a falha de tensão súbita.</p>	<p>A falha de tensão foi originada pela UPS. Devido ao facto das suas baterias estarem em fim de vida, quando a UPS fez o teste de verificação de integridade das baterias, não aguentou a carga e desligou-se. Foram substituídas as baterias da UPS.</p>	

<p>Analizador multigases com erro e não iniciava.</p>	<p>Curto-circuito num dos acopladores óticos. O equipamento falhava o teste de verificação dos acopladores inibindo o arranque do mesmo. Foi substituído.</p>	
<p>Analizador multigases com alarme de caudal.</p>	<p>Obstrução de um tubo capilar que transportava a amostra ao sensor de oxigénio devido a transição de zona quente para zona frio. Foi limpo e isolado.</p>	
<p>Substituição do analisador multigases.</p>	<p>Modernização do equipamento devido à sua antiguidade e falta de peças disponíveis pelo fabricante para eventuais reparações futuras. Foi para isso retirado o equipamento antigo, colocado o novo, calibrado, ensaiado, assim como ensaiados todos os sinais analógicos entre o equipamento e o sistema de aquisição.</p>	
<p>Medida de oxigénio com lentidão a reagir.</p>	<p>Sensor de oxigénio em fim de vida. Foi substituído e calibrado.</p>	
<p>Presença de condensação no circuito de ar comprimido do analisador multigases.</p>	<p>Avaria na electroválvula de purga do depósito de ar existente na instalação. Teve que ser substituída.</p>	

Nalgumas instalações encontram-se também medidores de caudal (Figura 54, Figura 55 e Figura 56). Normalmente são sondas aplicadas dentro de condutas – chaminés – em que o caudal é medido com auxílio de transmissores de pressão absoluta e diferencial.

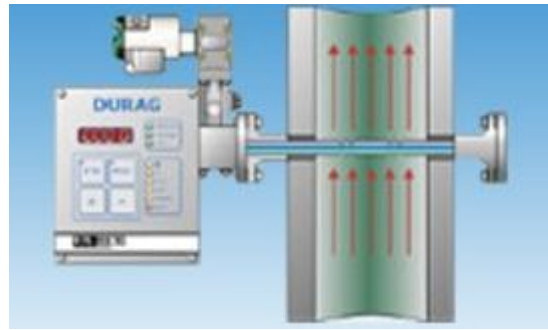


Figura 54 - Sonda medidora de caudal (Durag, 2009)

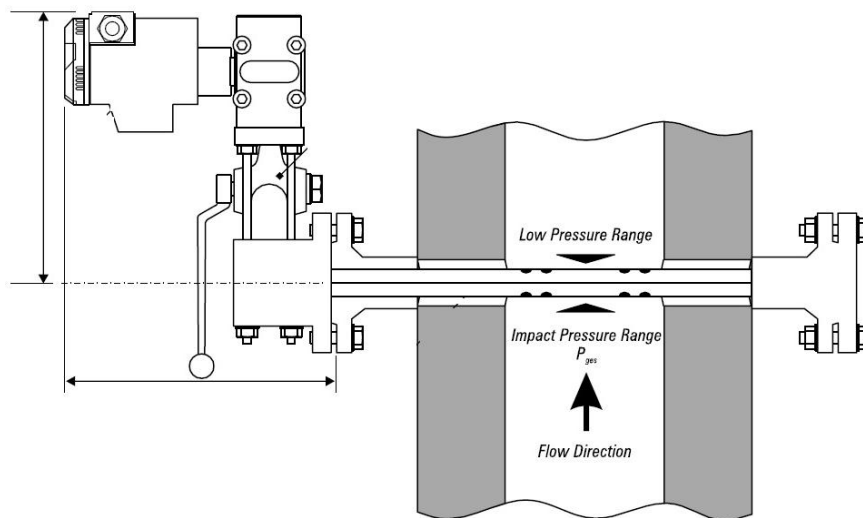


Figura 55 - Representação de sonda medidora de caudal (Durag, 2009)

Este tipo de sondas podem ser completas, ou seja, a sonda atravessa o diâmetro da chaminé ou pode ser aplicada apenas em parte da chaminé, desde que se garanta que a medida seja quantitativa e real de acordo com o existente no interior da chaminé. Esta sonda é dividida no interior.

Devido a existirem chaminés com elevado diâmetro e nem sempre o acesso ser o melhor para operações de manutenção, ao invés de serem usadas sondas que atravessam todo o diâmetro da chaminé podem ser utilizadas sondas mais pequenas ou até podem ser mesmo utilizadas várias sondas espalhadas pelo perímetro da chaminé, em que os valores medidos por todas origina um valor médio de caudal representativo do interior da chaminé.

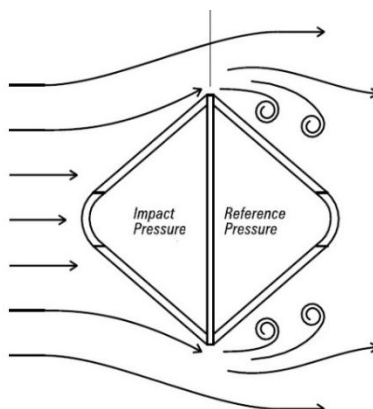




Figura 56 - Funcionamento do tubo *pitot* - sonda de caudal (Durag, 2009)

A zona de pressão de impacto fica na zona em que o fluxo se direciona na conduta – chaminé. Esta câmara é isolada da câmara de pressão de referência. Através da pressão de impacto em comparação com a pressão de referência na conduta, é possível a determinação do caudal existente no local. É para isso utilizada uma unidade de cálculo que recebe os sinais analógicos de ambos os transmissores de pressão absoluta e relativa.

A manutenção nestes sistemas consiste, normalmente, em verificação da estanquicidade das tubagens e limpeza do interior da sonda com ar comprimido. Não são frequentes avarias nestas sondas, sendo que a maioria das avarias são devido a avarias na eletrónica dos sensores ou na unidade de cálculo (Tabela 19).

Tabela 19 – Avarias registadas na sonda medidora de caudal

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Unidade de cálculo em alarme devido a avaria num dos transmissores de pressão.	Foram verificadas os sinais analógicos de ambos os transmissores. Detetou-se que um dos transmissores estava com um valor de corrente nulo e teve que ser substituído.	
Unidade de cálculo em alarme no sistema de aquisição de dados.	Alarme não real derivado ao facto de se terem realizado alterações no <i>software</i> no sistema de aquisição em que o sinal de avaria ficou invertido.	


Também foi realizada manutenção e resolução de avarias em equipamentos de medição de partículas – opacímetros (Tabela 20).

Tabela 20 – Avarias registadas em opacímetros

Avaria detetada	Resolução	Fotografia
Valores de medição fixos, sem qualquer variação.	O opacímetro não variava os valores medidos, nem no interior da chaminé nem no exterior. Tal deveu-se a uma anomalia na eletrónica e este teve que ser retirado para envio para reparação.	
Opacímetro com indicação de alarme.	A maioria dos opacímetros tem cortinas de isolamento da chaminé. Isto é útil no caso em que ocorre uma falha de tensão ou caso haja falha no ventilador que mantém as lentes limpas. Neste caso houve um disparo térmico do ventilador, tendo as cortinas fechado para proteger o equipamento.	
Opacímetro com indicação de avaria no sistema de aquisição de dados.	A unidade tinha sido reparada à pouco tempo no representante. Após a reparação, a programação dos relés de saída do equipamento não ficou com a configuração original, dando por vezes origem a erros inexistentes.	
Opacímetro desligado sem alimentação.	O secundário do transformador de alimentação do equipamento, montado numa das cartas do equipamento avariou.	

<p>Opacímetro com indicação de avaria no <i>display</i>.</p>	<p>A avaria não era real e deveu-se a mau funcionamento do equipamento. A unidade de controlo assim como o opacímetro em si tiveram que ser retirados para reparação no fabricante.</p>	
<p>Opacímetro em erro com indicação de contaminação elevada das lentes.</p>	<p>O tubo de ar de barragem – responsável por manter fluxo de ar no equipamento e assim protegê-lo de partículas e temperaturas elevadas “despipou” da flange. Foi novamente colocado em serviço.</p>	
<p>Opacímetro em funcionamento mas com saídas analógicas a zero.</p>	<p>Carta de saída analógica da caixa de controlo danificada. Substituiu-se a unidade de controlo completa.</p>	
<p>Opacímetro em erro com indicação de contaminação elevada das lentes.</p>	<p>As lentes efetivamente encontravam-se contaminadas devido ao facto do filtro de ar ter rasgado. Foi limpo e o filtro de ar substituído.</p>	
<p>Opacímetro em funcionamento mas sem indicação de valores no sistema de aquisição de dados.</p>	<p>Detetado sinal de saída do equipamento com polaridade trocada nos fios. Foi alterada a polaridade.</p>	

<p>Opacímetro em funcionamento mas com indicação de alarme no sistema de aquisição de dados.</p>	<p>Após o ciclo de verificação automático, ficou presente o erro no sistema de aquisição de dados devido a isolamento dos contactos do relé de saída digital.</p>	
<p>Opacímetro em alarme com indicação de contaminação de lentes.</p>	<p>O equipamento encontrava-se efetivamente em alarme mas este estava a ser causado devido a defeito na modulação da luz emitida. Foi substituído o motor modulador do emissor.</p>	
<p>Opacímetro em normal funcionamento mas com valores elevados de contaminação.</p>	<p>Ainda assim o equipamento encontrava-se normalmente em serviço. No entanto substitui-se preventivamente um dos espelhos do equipamento devido a se encontrar danificado.</p>	
<p>Opacímetro em erro com indicação de contaminação elevada das lentes.</p>	<p>Foram limpas as lentes do equipamento. Este tipo de tarefa é regular e a anomalia pode também o ser na eventualidade de os períodos de manutenção preventiva serem demasiado espaçados.</p>	
<p>Opacímetro em erro com indicação de contaminação elevada das lentes.</p>	<p>Foram limpas as lentes. O filtro de ar encontrava-se já com bastante desgaste e foi igualmente substituído.</p>	
<p>Opacímetro com variação nos valores durante o ciclo de auto calibração.</p>	<p>A lâmpada emissora encontrava-se em fim de vida originando a variação anormal dos valores. Foi substituída.</p>	

<p>Opacímetro em alarme, desligado mas com presença de tensão.</p>	<p>Este equipamento tem um transformador que alimenta o próprio equipamento assim como o ventilador de ar. A placa eletrónica de controlo do ventilador queimou e curto circuitou a fonte que não ligava. Foi substituído o ventilador.</p>	
<p>Opacímetro em alarme com contaminação elevada das lentes.</p>	<p>As lentes encontravam-se com humidade devido à diferença de temperatura no interior da chaminé e a temperatura exterior atmosférica que condensou o ar. Foram limpas.</p>	
<p>Opacímetro sem indicação de valores medidos no sistema de aquisição de dados.</p>	<p>O cabo de sinais desde o campo até à sala elétrica foi fissurado e teve que ser substituído.</p>	
<p>Opacímetro em alarme com contaminação elevada das lentes.</p>	<p>Avaria no mecanismo dos espelhos que realiza o teste de auto calibração do equipamento. O valor medido de contaminação não era real. Foi enviado para o fabricante para resolução da avaria.</p>	
<p>Opacímetro com erro desconhecido.</p>	<p>Avaria na carta de sinais do equipamento devido a curto-circuito num dos integrados responsável pela saída de sinais digitais do equipamento. Foi substituído.</p>	
<p>Opacímetro em erro mas sem acesso aos seus menus.</p>	<p>Não era possível aceder aos menus do equipamento e o feixe laser encontrava-se apagado. Defeito na EPROM do programa do equipamento. Foi substituída tendo sido novamente reprogramada.</p>	

<p>Opacímetro constantemente a executar ciclo de auto calibração.</p>	<p>Possível avaria eletrónica. Foi enviado para o representante afim de ser reparado.</p>	
<p>Opacímetro sem reação.</p>	<p>O opacímetro quando ligado não executava nenhuma ação. Foi enviado para o representante a fim de ser reparado.</p>	
<p>Opacímetro com grandes variações nos valores medidos.</p>	<p>O equipamento encontrava-se em funcionamento sem qualquer anomalia. As variações efetivamente eram reais e foram derivadas ao facto de quando a instalação entrou em funcionamento após longo período de paragem, a chaminé no interior ter libertado corrosão que com o fluxo de gases foi expelida para o exterior.</p>	
<p>Opacímetro com valores de ajuste de auto calibração fora dos limites admissíveis.</p>	<p>Foi possível ajustar os valores durante o ciclo de auto calibração.</p>	
<p>Opacímetro com valores de medição não reais.</p>	<p>Um dos obturadores que se movimenta durante o ciclo de auto calibração não retornou à sua posição original devido a falha num dos fins de curso existentes no equipamento. Foi ajustado o fim de curso.</p>	

<p>Opacímetro com alarme de falta de ar de proteção.</p>	<p>O sensor de caudal de ar teve que ser limpo e o potenciômetro que regula a sua sensibilidade teve que ser igualmente ajustado.</p>	
<p>Medidor de partículas de qualidade do ar com alarme de fita de amostragem colmatada.</p>	<p>Tempo de aspiração demasiado elevado. Foi reduzido de forma a evitar novos alarmes. É um tipo de anomalia frequente com maior incidência durante o verão ou em épocas em que existem mais partículas na atmosfera.</p>	
<p>Medidor de partículas de qualidade do ar com alarme de fita de amostragem desfeita.</p>	<p>Teve que ser ajustada a movimentação da cabeça de medição do equipamento devido a esta por vezes bloquear. Este tipo de avaria aconteceu com alguma frequência.</p>	
<p>Medidor de partículas de qualidade do ar com alarme e sem alimentação.</p>	<p>Curto-circuito num integrado na <i>motherboard</i> queimado. Queimou porque ou houve um bloqueio na válvula que regula o caudal (O mais provável) ou por a válvula ter entrado em esforço com consumo maior de corrente elétrica (Nominal da válvula de 80 mA, integrado com máximo admissível de 300 mA). Depois desta anomalia, em todos os analisadores de partículas iguais a este, foram colocados fusíveis de proteção para que quando ocorresse um curto-circuito este ficasse restrito ao fusível e não a um circuito integrado.</p> <p>Foi necessário substituir a <i>board</i>.</p>	

5.5 Considerações Finais

A fiabilidade num sistema é das suas características mais importantes. Nem sempre é possível evitar todas as avarias e anomalias aleatórias que possam surgir durante o tempo de vida dos equipamentos mas em alguns casos é possível prevenir e detetar avarias atempadamente. Exemplos de avarias em analisadores ou em componentes eletrónicos nem sempre é possível diagnosticar atempadamente, logo é difícil agir preventivamente antes da falha ocorrer. Em sistemas de condicionamento de amostra, apesar de serem sistemas em que a manutenção e o desgaste é mais agressivo, são sistemas em que é mais fácil realizar manutenção preventiva antes de ocorrer falha.

6 Ferramentas de *software* desenvolvidas de apoio à análise de avarias

Neste Capítulo serão descritas as ferramentas de *software* desenvolvidas ao longo do projeto. No capítulo 6.1 é feita uma descrição global das ferramentas e qual a sua utilidade. Na seção 6.2 são enunciadas as considerações finais.

Pretendeu-se neste projeto estudar o modelo de gestão de manutenção, disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos intervencionados. Foi para isso realizado o levantamento das mais diversas intervenções programadas assim como as não programadas num período de tempo considerável. Foi estudado o número de ocorrências que ocorreu para o mesmo sistema, assim como contabilizado o total de tempo indisponível devido a intervenções de manutenção. Foi também possível estudar o *MTBF* (*Mean Time Between Failure*) e respetivamente o *MTTR* (*Mean Time To Repair*) por forma a obter o valor da fiabilidade anual aplicado a cada sistema. Aos dados experimentais recolhidos utilizou-se numa primeira fase a distribuição Exponencial para modelizar a ocorrência das falhas e posteriormente a distribuição de Weibull. Para tal, e como o estudo é aplicado a sistemas de funcionamento contínuo, considerou-se que cada sistema e cada equipamento teria um funcionamento contínuo de 24 horas diárias, todos os dias do ano.

O *MTBF* (*Mean Time Between Failure*) é representado da seguinte forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{Quantidade de falhas registadas no sistema}}$$

O *MTTR* (*Mean Time To Repair*) é representado da seguinte forma:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total fora de serviço por falha}}{\text{Quantidade de falhas registadas no sistema}}$$

Considerou-se um ritmo médio de falhas definido por:

$$\lambda = \frac{\text{Total de falhas registadas no período temporal}}{\text{Tempo de operação total}} = \frac{1}{MTBF}$$

O objetivo final seria sempre o de determinar qual o sistema com maior índice de fiabilidade.

Determinou-se a probabilidade de falha do sistema da seguinte forma:

$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda * t}$$

Em que:

$f(t)$ = Probabilidade de falha

t = Tempo de funcionamento

λ = Ritmo médio de falhas

A fiabilidade efetiva do sistema representa-se da seguinte forma:

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

Apesar de não ter sido do âmbito do estudo, poderia ter-se representado o Índice de Fiabilidade de um sistema. A sua representação seria feita então por:

$$IF = \frac{\text{Total de horas de trabalho}}{\text{Total de horas de trabalho} + \text{Total de horas em paragens não programadas}} * 100$$

Aproveitando então os dados existentes e levantados anteriormente, foi então deduzida uma representação do total de avarias, mas desta forma utilizando o método de Weibull onde a intenção foi o estudo e viabilidade de determinado sistema ao final de algum tempo de funcionamento, ou seja, determinar a probabilidade desse mesmo sistema se encontrar ainda em funcionamento ao final de algum tempo.

Foi necessário para isso definir um estimador de fiabilidade em função temporal, que ficou definido por:

$$R(ti) = \frac{n - i + 0.625}{n + 0.25}$$

Em que:

n = número de equipamentos a testar

ti = Tempo de teste até a falha ocorrer

i = Equipamento/ocorrência de falha

Consideraram-se todos os registos para um índice de $n < 25$ devido ao facto de que para pequenas amostras, podem ser utilizados estimadores de forma a verificar se a distribuição de adapta aos dados (11).

Para obtenção dos dados foi realizado um levantamento extensivo de avarias que ocorreram em instalações distintas durante um período de tempo considerável. Cada instalação tinha vários sistemas instalados em pontos distintos, com diferentes períodos e exigência de manutenção a realizar. Durante este período de tempo foram registadas as avarias em cada um dos sistemas, assumindo claro que qualquer avaria em qualquer componente desse mesmo sistema, inviabilizava o correto funcionamento do sistema.

6.1 Ferramentas desenvolvidas

De forma dar suporte ao estudo desenvolveram-se duas ferramentas: uma recorrendo ao Microsoft Excel e outra ao *Microsoft Access*. A ferramenta do *Excel* serviu para proceder aos cálculos estatísticos. A ferramenta do *Access* serviu e servirá para registo de forma organizada dos eventos associados às avarias – registo de ordens de trabalho.

6.1.1 Folha de cálculo em *Microsoft Excel*

Até à data da realização deste estudo não existia qualquer levantamento ou estudo semelhante para estes sistemas. Foi para isso necessário estudar todos os relatórios de manutenção existentes para as diversas instalações e registar todos os períodos de avaria ou de indisponibilidade do sistema. Registou-se para isso o momento de início da indisponibilidade, o momento de fim da indisponibilidade assim como o tempo de indisponibilidade do sistema.

Numa fase inicial elaborou-se uma folha de cálculo realizada em *Excel* onde puderam ser realizados os cálculos para as distribuições estatísticas de Weibull e Exponencial com valores e gráficos para as diferentes representações nos diferentes sistemas estudados.

Foi para isso necessário assumir o ponto zero, o dia de início do estudo. Foi para isso considerado o dia 1 de Janeiro de 2010 em que cada avaria em cada localização era contabilizada em número de dias em relação à data inicial estipulada.

Exemplo obtido com a ferramenta *Excel* desenvolvida

Consideremos o exemplo de um incinerador com vários pontos de controlo e amostragem gasosa onde em cada um é controlada a frequência de avaria assim como o tempo total em que o equipamento se encontra fora de serviço. Qual o impacto para a fiabilidade global desse mesmo sistema? Estaremos perante um sistema fiável, capaz de nos fornecer informações e dados fiáveis sobre o processo de queima desse mesmo incinerador? A Tabela 21 demonstra o total de avarias existentes para o local em questão.

Tabela 21 – Total de avarias por local referente ao incinerador 1 (MTBF por equipamento)

DIAS	Data	Equipamento	Tempo	Freq.	Tempo total KO	Fiabilidade R(t)
			[min]		[min]	[%]
21	21-01-2010	Incin1 - Alimentação	240			
122	02-05-2010	Incin1 - Alimentação	120			
260	20-09-2010	Incin1 - Alimentação	180			
267	27-09-2010	Incin1 - Alimentação	120	4	660	99.87285
		Média tempo avaria:	165			
401	11-02-2011	Incin1 - Alimentação	360			
402	12-02-2011	Incin1 - Alimentação	180			
404	14-02-2011	Incin1 - Alimentação	120			
461	11-04-2011	Incin1 - Alimentação	360			
497	17-05-2011	Incin1 - Alimentação	150			
497	17-05-2011	Incin1 - Alimentação	150			
504	24-05-2011	Incin1 - Alimentação	180			
576	06-08-2011	Incin1 - Alimentação	120	8	1620	99.68847
		Média tempo avaria:	202.5			
801	21-03-2012	Incin1 - Alimentação	30			
826	16-04-2012	Incin1 - Alimentação	300			
828	18-04-2012	Incin1 - Alimentação	120			
837	27-04-2012	Incin1 - Alimentação	60			
864	24-05-2012	Incin1 - Alimentação	60			
879	09-06-2012	Incin1 - Alimentação	60			
883	13-06-2012	Incin1 - Alimentação	240			
893	23-06-2012	Incin1 - Alimentação	60			

1001	11-10-2012	Incin1 - Alimentação	120			
1023	03-11-2012	Incin1 - Alimentação	30	10	1080	99.7921
		Média tempo avaria:	108			
1216	16-05-2013	Incin1 - Alimentação	120	1	120	99.97686
		Média tempo avaria:	120			
1460	20-01-2014	Incin1 - Alimentação	480			
1579	19-05-2014	Incin1 - Alimentação	180			
1696	16-09-2014	Incin1 - Alimentação	120	3	780	99.84976
		Média tempo avaria:	260			
1805	05-01-2015	Incin1 - Alimentação	60			
1880	20-03-2015	Incin1 - Alimentação	90			
2010	30-07-2015	Incin1 - Alimentação	120			
2040	31-08-2015	Incin1 - Alimentação	45	4	315	99.93927
		Média tempo avaria:	78.75			
405	15-02-2011	Incin1 - Precipitador electrostático	120	1	120	99.97686
		Média tempo avaria:	120			
891	21-06-2012	Incin1 - Precipitador Elect	60			
999	09-10-2012	Incin1 - Precipitador Elect	120			
1013	23-10-2012	Incin1 - Precipitador Elect	120	3	300	99.94216
		Média tempo avaria:	100			
1805	05-01-2015	Incin1 - Precipitador Elect	60	1	60	99.98843
		Média tempo avaria:	60			
98	08-04-2010	Incin1 - Chaminé	300			
210	30-07-2010	Incin1 - Chaminé	120	2	420	99.91905
		Média tempo avaria:	210			
788	08-03-2012	Incin1 - Chaminé	240			
792	12-03-2012	Incin1 - Chaminé	30			
819	09-04-2012	Incin1 - Chaminé	60	3	330	99.93638
		Média tempo avaria:	110			
1228	28-05-2013	Incin1 - Chaminé	180	1	180	99.96529
		Média tempo avaria:	180			
1537	07-04-2014	Incin1 - Chaminé	720	1	720	99.8613
		Média tempo avaria:	720			
1532	02-04-2014	Incin1 - Secador	10080	1	10080	98.09264
		Média tempo avaria:	10080			
1994	14-07-2015	Incin1 - Secador	480	1	480	99.90749
		Média tempo avaria:	480			

Perante a observação da tabela anterior podemos facilmente concluir que no caso do incinerador em questão foi possível observar que os índices de fiabilidade para os diversos equipamentos se situaram todos eles acima de 99%. Tal como referido anteriormente, é impossível uma garantia de fiabilidade de 100%. O objetivo será sempre um valor de fiabilidade o mais próximo do máximo possível. Através da análise da tabela, constatamos que

para o ano de 2011 o equipamento que controla a alimentação do incinerador obteve uma taxa de fiabilidade de 99.688%. Tendo em consideração a sua localização na instalação, não é um valor mau. No entanto verificou-se um aumento no tempo de indisponibilidade do equipamento em relação a 2010, o que contribuiu claramente para a diminuição da fiabilidade do mesmo. Após terem sido reforçadas as tarefas de manutenção preventiva, com maior frequência e maior controlo do sistema, foi possível reduzir claramente o tempo de indisponibilidade do equipamento. Contudo, não foi possível reduzir o número de incidências, embora tendo estas diminuído o tempo em que ocorreram, melhorando a eficiência do sistema.

Sendo um dos locais mais críticos da instalação, tanto a nível de localização como em tratamento da amostra recolhida, não é de estranhar que em comparação com as restantes localizações seja a localização com maior incidência e, respectivamente, menor fiabilidade.

Vejamos o caso para outro incinerador na mesma instalação: A Tabela 22 demonstra o total de avarias existentes para o local em questão.

Tabela 22 – Total de avarias por local referente ao incinerador 2 (MTBF por equipamento)

DIAS	Data	Equipamento	Tempo [min]	Frequência	Tempo total KO [min]	Fiabilidade R(t) [%]
240	30-08-2010	Incin2 - Alimentação	60			
285	15-10-2010	Incin2 - Alimentação	240	2	300	99.9421631
		Média tempo avaria:	150			
434	14-03-2011	Incin2 - Alimentação	120			
533	23-06-2011	Incin2 - Alimentação	30			
657	27-10-2011	Incin2 - Alimentação	180			
692	02-12-2011	Incin2 - Alimentação	30	4	360	99.9306037
		Média tempo avaria:	90			
728	08-01-2012	Incin2 - Alimentação	120			
756	06-02-2012	Incin2 - Alimentação	150			
795	15-03-2012	Incin2 - Alimentação	30	3	300	99.9421631
		Média tempo avaria:	100			
1103	23-01-2013	Incin2 - Alimentação	30			
1153	13-03-2013	Incin2 - Alimentação	120			
1168	28-03-2013	Incin2 - Alimentação	60			
1171	01-04-2013	Incin2 - Alimentação	60			
1316	26-08-2013	Incin2 - Alimentação	120			
1364	14-10-2013	Incin2 - Alimentação	60			
1369	19-10-2013	Incin2 - Alimentação	150			
1370	20-10-2013	Incin2 - Alimentação	120			
1400	20-11-2013	Incin2 - Alimentação	90			
1419	09-12-2013	Incin2 - Alimentação	30	10	1	99.9998071

		Média tempo avaria:	84			
1482	12-02-2014	Incin2 - Alimentação	180			
1483	13-02-2014	Incin2 - Alimentação	60			
1514	14-03-2014	Incin2 - Alimentação	30			
1579	19-05-2014	Incin2- Alimentação	480			
1582	22-05-2014	Incin2 - Alimentação	30			
1730	20-10-2014	Incin2 - Alimentação	600	6	1380	99.7345031
		Média tempo avaria:	230			
1865	05-03-2015	Incin2 - Alimentação	50			
1890	30-03-2015	Incin2 - Alimentação	20	2	70	99.9864987
		Média tempo avaria:	35			
655	25-10-2011	Incin2 - Precipitador electrostático	180	1	180	99.9652898
		Média tempo avaria:	180			
1105	25-01-2013	Incin2 - Precipitador electrostático	360	1	360	99.9306037
		Média tempo avaria:	360			
53	23-02-2010	Incin2 - Chaminé	180			
97	07-04-2010	Incin2 - Chaminé	120			
268	28-09-2010	Incin2 - Chaminé	120	3	420	99.9190471
		Média tempo avaria:	140			
380	20-01-2011	Incin2 - Chaminé	60			
381	21-01-2011	Incin2 - Chaminé	60			
415	25-02-2011	Incin2 - Chaminé	480			
421	01-03-2011	Incin2 - Chaminé	240			
436	16-03-2011	Incin2 - Chaminé	30	5	870	99.8324571
		Média tempo avaria:	174			
732	12-01-2012	Incin2 - Chaminé	60			
858	18-05-2012	Incin2 - Chaminé	30			
909	09-07-2012	Incin2 - Chaminé	60			
993	03-10-2012	Incin2 - Chaminé	120	4	270	99.9479438
		Média tempo avaria:	139.3333			
1108	28-01-2013	Incin2 - Chaminé	60			
1109	29-01-2013	Incin2 - Chaminé	120			
1117	07-02-2013	Incin2 - Chaminé	150			
1136	26-02-2013	Incin2 - Chaminé	30			
1149	09-03-2013	Incin2 - Chaminé	60			
1271	11-07-2013	Incin2 - Chaminé	120			
1275	15-07-2013	Incin2 - Chaminé	120	7	660	99.8728471
		Média tempo avaria:	94.28571			
1592	02-06-2014	Incin2 - Chaminé	30	1	30	99.9942133
		Média tempo avaria:	30			
1828	28-01-2015	Incin2 - Chaminé	20			
1999	19-07-2015	Incin2 - Chaminé	120			
2014	04-08-2015	Incin2 - Chaminé	30			
2123	23-11-2015	Incin2 - Chaminé	120	4	290	99.9440899
		Média tempo avaria:	72.5			

309	09-11-2010	Incin2 - Torre de alimentação	120	1	120	99.9768572
		Média tempo avaria:	120			
571	01-08-2011	Incin2 - Torre de alimentação	60			
593	23-08-2011	Incin2 - Torre de alimentação	60			
656	26-10-2011	Incin2 - Torre de alimentação	120	3	240	99.9537251
		Média tempo avaria:	80			
730	10-01-2012	Incin2 - Torre de alimentação	60			
731	11-01-2012	Incin2 - Torre de alimentação	150			
783	03-03-2012	Incin2 - Torre de alimentação	120			
784	04-03-2012	Incin2 - Torre de alimentação	90			
833	23-04-2012	Incin2 - Torre de alimentação	150			
880	10-06-2012	Incin2 - Torre de alimentação	90			
977	17-09-2012	Incin2 - Torre de alimentação	4320	7	4980	99.0484925
		Média tempo avaria:	711.4286			
1144	04-03-2013	Incin2 - Torre de alimentação	1740			
1167	27-03-2013	Incin2 - Torre de alimentação	120			
1290	30-07-2013	Incin2 - Torre de alimentação	180	3	2040	99.608024
		Média tempo avaria:	680			
438	18-03-2011	Incin2 - Calcinador	300	1	300	99.9421631
		Média tempo avaria:	300			
1391	11-11-2013	Incin2 - Calcinador	240			
1405	25-11-2013	Incin2 - Calcinador	480	2	720	99.9722299
		Média tempo avaria:	360			
289	19-10-2010	Incin2 - Arrefecedor	120	1	120	99.9768572
		Média tempo avaria:	120			
742	22-01-2012	Incin2 - Arrefecedor	120			
748	28-01-2012	Incin2 - Arrefecedor	90			
753	03-02-2012	Incin2 - Arrefecedor	60			
779	29-02-2012	Incin2 - Arrefecedor	240			
982	22-09-2012	Incin2 - Arrefecedor	8640	5	9150	98.2655672
		Média tempo avaria:	1830			
1154	14-03-2013	Incin2 - Arrefecedor	720	1	720	99.8613037
		Média tempo avaria:	1326.667			

O comportamento nesta tabela é semelhante ao comportamento na tabela referente ao incinerador 1, sempre com fiabilidade acima de 99% em cada ano, o que não é de estranhar dada a necessidade obrigatória de funcionamento de cada sistema.

O gráfico da Figura 57 é representativo dos índices de fiabilidade referentes ao incinerador 1 com previsão anual em que é possível observar o comportamento do sistema nos diferentes anos em que ocorreram os registos.

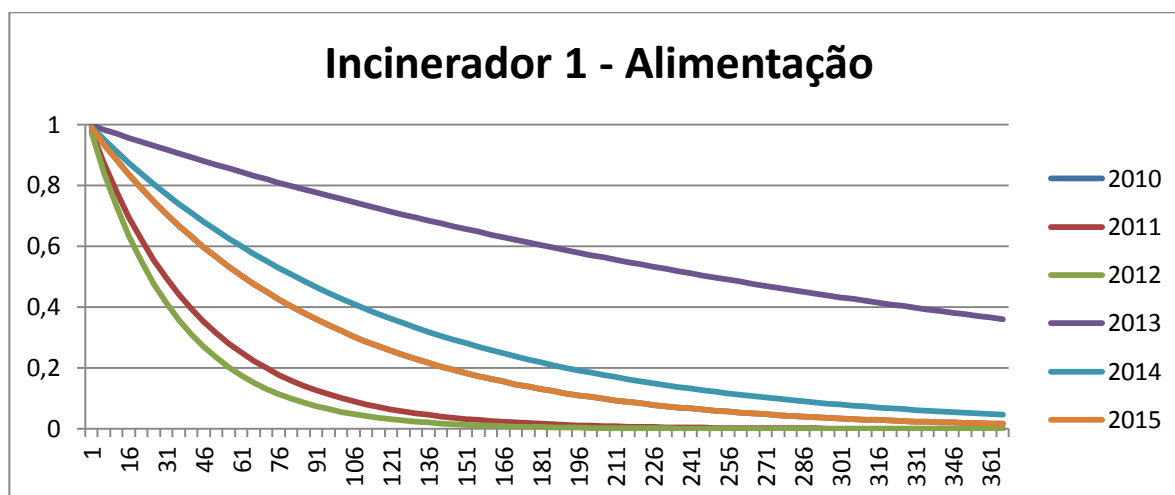


Figura 57 – Representação dos índices de fiabilidade Exponencial para o Incinerador 1 - Alimentação

E se ao invés de se querer estudar a fiabilidade dos equipamentos, o objetivo for estudar a garantia de funcionamento dos mesmos?

Suponhamos que é necessário que os padrões de fiabilidade se situem acima de determinado valor para determinada instalação. Como poderemos determinar esses padrões e em que datas?

Usou-se para responder à pergunta a distribuição de Weibull.

O gráfico da Figura 58 representa um conjunto de dados em que após o seu tratamento é possível verificar a probabilidade acumulada de funcionamento do sistema presente na alimentação do Incinerador 1. É possível, portanto, verificar que a sua taxa de fiabilidade é máxima ao dia zero mas que decresce ao longo do normal funcionamento da instalação. É um estudo global da instalação, não podendo ser considerado um estudo a cada ano.

Dados das ocorrências de avarias (tempo em dias do ano) (Tabela 23).

Tabela 23 – Dia em que ocorreu a avaria (ti), e utilização de um estimador de R(ti) para distribuição de Weibull

ti	10	16	23	26	27	32	36	56	74	101
R(ti)	0.9705	0.9235	0.8764	0.8294	0.7823	0.7352	0.6882	0.6411	0.5470	0.5000
ti	110	111	119	120	132	137	141	194	228	249
R(ti)	0.4529	0.4058	0.3588	0.3117	0.2647	0.2176	0.1705	0.1235	0.0764	0.0294

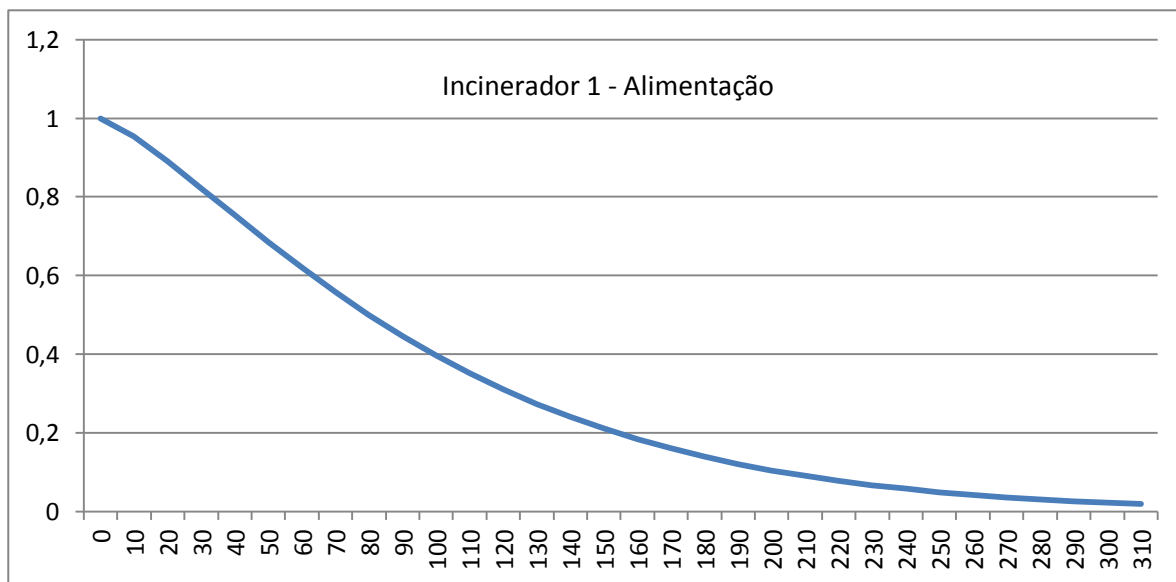


Figura 58 – Representação dos índices de fiabilidade Weibull para o Incinerador 1 - Alimentação

6.1.2 Base de dados em Microsoft Access

A segunda fase do estudo consistiu na elaboração de uma base de dados em que seria possível realizar o registo de avarias assim como os tempos em cada avaria.

Foi para isso utilizada a ferramenta “Microsoft Access” onde foi elaborado um interface gráfico de fácil intuição e utilização para registo dos mais diversos dados associados não só aos equipamentos mas também a uma pequena organização de manutenção com vários clientes.

A tabela foi elaborada com alguma dinâmica de navegação entre as diferentes opções de registos de forma que fossem contemplados quase todos os casos de necessidade de informação durante a introdução de dados nos registos sem que houvesse necessidade de anular essa mesma operação de introdução. O seu esquema de relações é apresentado na imagem da Figura 59.

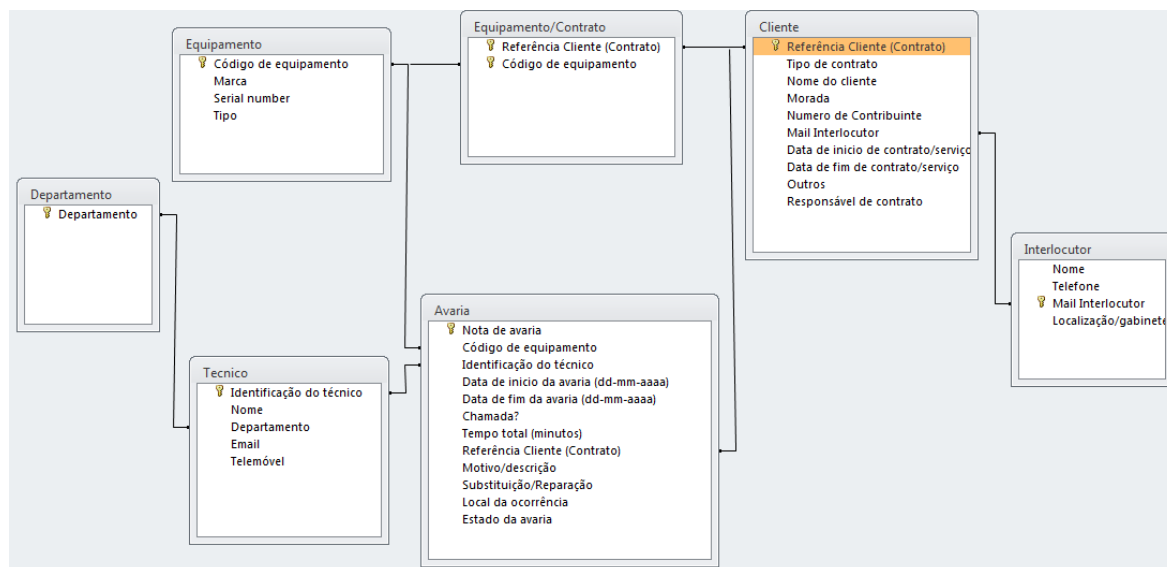


Figura 59 – Esquema de relações de tabelas da base de dados Access

A janela principal da base de dados (Figura 60) é então constituída por vários campos que podem ser devidamente preenchidos. São eles:

- Registo de avarias;
- Equipamentos;
- Técnicos de Manutenção;
- Registo de Clientes;
- Interlocutor do Cliente;
- Exportação de dados;
- Sair.



Figura 60 - Menu principal

Registo de avarias

Nota de avaria	19
Código de equipamento	Ir para:
Identificação do técnico	Ir para: asantos
Data de início da avaria (dd-mm-aaaa)	21-01-2010
Data de fim da avaria (dd-mm-aaaa)	21-01-2010
Chamada?	Não
Tempo total (minutos)	240
Referência Cliente (Contrato)	Ir para: ATC00003
Motivo/descrição	Serpentina de vidro de ur
Substituição/Reparação	Substituição
Local da ocorrência	CI00003
Estado da avaria	Resolvido

Identificação de Avarias em equipamentos

Registo: 1 de 153 Sem Filtro Procurar

Figura 61 – Registo de avarias

Na janela da Figura 61 é possível inserir um novo registo de avaria de equipamentos. O campo “Nota de avaria” é um campo automático em que a cada avaria o seu valor é incrementado. É impossível existir duas notas de avaria com a mesma referência. O campo “Código de equipamento” apesar de não ser obrigatório é referente ao código de cada equipamento existente em cada sistema. Caso não se saiba qual o código, é possível aceder diretamente à tabela que contém os códigos de equipamentos, o seu tipo assim como o seu número de série.

Todos os dados são personalizáveis assim como podem ser adicionados dados no caso de estes não existirem registados anteriormente (exemplo de um equipamento que não exista em base de dados. Durante o procedimento do registo de avaria, no caso do equipamento ainda não se encontrar adicionado na base de dados, é possível adicioná-lo sem interromper o processo de registo da avaria). Todas as tabelas permitem a navegação entre registos facilmente através dos botões de navegação, adicionar novos registos assim como eliminar registos que, eventualmente, possam ter sido introduzidos por engano.

Equipamentos

Código de equipamento	ABBA000001
Marca	ABB
Serial number	A000001
Tipo	Analizador de Gases

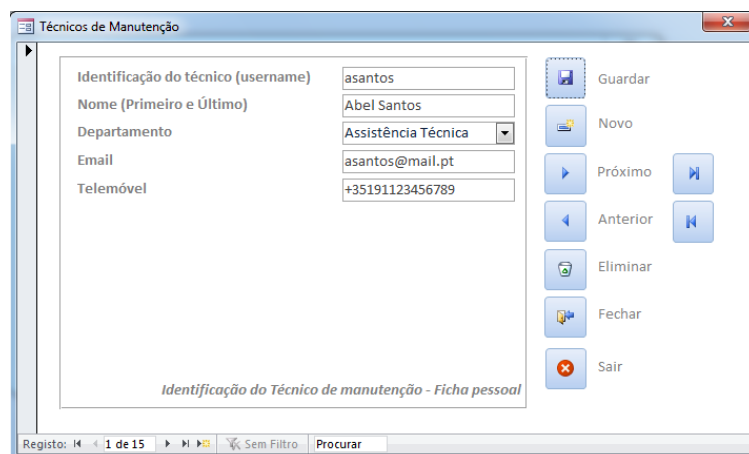
Legenda:
Código de equipamento:
Colocar marca seguido de serial number.
Exemplo:
Marca: xpto
Serial Number: i9505
Designação de equipamento: xptoi9505

Identificação dos Equipamentos

Registo: 1 de 82 Sem Filtro Procurar

Figura 62 – Registo de equipamentos

Na janela da Figura 62 é possível a introdução de novos equipamentos na base de dados assim como a navegação entre equipamentos já existentes. É possível também visualizar o tipo de equipamento.



The screenshot shows a window titled "Técnicos de Manutenção". It contains a form with the following fields and values:

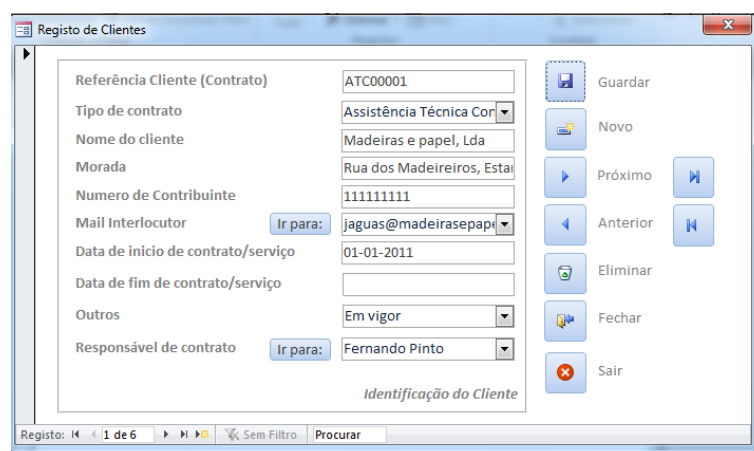
Identificação do técnico (username)	asantos
Nome (Primeiro e Último)	Abel Santos
Departamento	Assistência Técnica
Email	asantos@mail.pt
Telemóvel	+35191123456789

On the right side of the form, there are several buttons: "Guardar", "Novo", "Próximo", "Anterior", "Eliminar", "Fechar", and "Sair". At the bottom of the window, there is a status bar that reads "Registo: 1 de 15" and "Sem Filtro Procurar".

Figura 63 – Registo de técnicos de manutenção

Qualquer equipa ou departamento de manutenção tem técnicos de manutenção associados, responsáveis pela resolução de avarias decorrentes. Esta tabela permite que sejam acrescentados ou eliminados técnicos de manutenção assim como registar os seus dados pessoais tais como informações de contacto ou até mesmo qual o departamento ao qual pertencem (Figura 63).

Naturalmente que há informação que não pode ser introduzida pelo comum utilizador (tal como o departamento) dado que é uma informação já pré-estabelecida.



The screenshot shows a window titled "Registo de Clientes". It contains a form with the following fields and values:

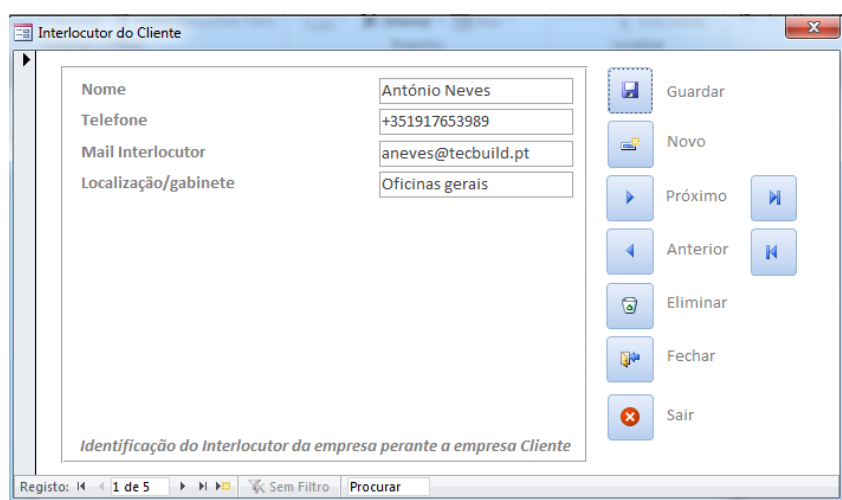
Referência Cliente (Contrato)	ATC00001
Tipo de contrato	Assistência Técnica Cor
Nome do cliente	Madeiras e papel, Lda
Morada	Rua dos Madeiros, Estai
Numero de Contribuinte	111111111
Mail Interlocutor	Ir para: jaguas@madeirasepap
Data de inicio de contrato/serviço	01-01-2011
Data de fim de contrato/serviço	
Outros	Em vigor
Responsável de contrato	Ir para: Fernando Pinto

On the right side of the form, there are several buttons: "Guardar", "Novo", "Próximo", "Anterior", "Eliminar", "Fechar", and "Sair". At the bottom of the window, there is a status bar that reads "Registo: 1 de 6" and "Sem Filtro Procurar".

Figura 64 – Registo de clientes

O registo de clientes (Figura 64) é também um aspeto importante para um sistema de gestão de dados de clientes. Nesta tabela é possível o registo de novos clientes ou a consulta de dados de determinado cliente, seja para contactos formais ou seja para efeitos de faturação.

Um dos pormenores que esta tabela apresenta é a identificação não só do tipo de contrato existente entre a empresa de manutenção e a empresa cliente assim como a identificação da pessoa responsável pelo contacto entre ambas as partes, ou seja, o contacto do interlocutor da empresa à qual é prestado o serviço de manutenção e o nome do gestor de contrato por parte da entidade prestadora de serviço.



Nome António Neves
Telefone +351917653989
Mail Interlocutor aneves@tecbuild.pt
Localização/gabinete Oficinas gerais

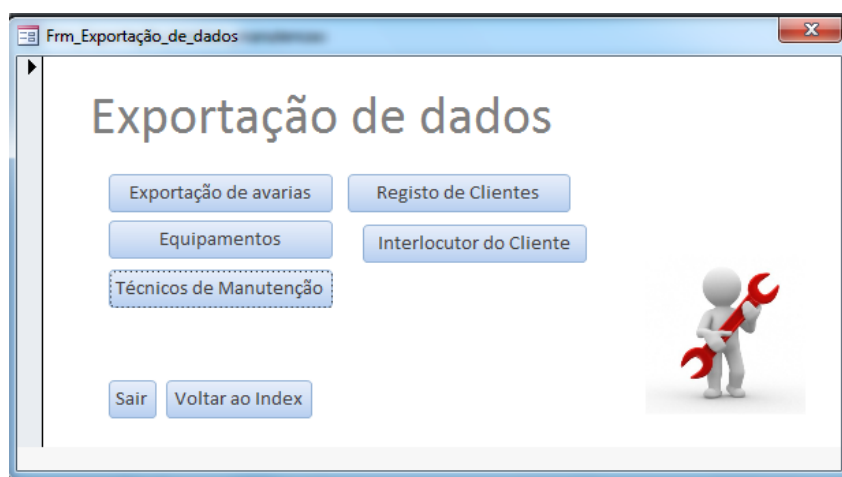
Guardar
Novo
Próximo
Anterior
Eliminar
Fechar
Sair

Identificação do Interlocutor da empresa perante a empresa Cliente

Registo: 1 de 5 Sem Filtro Procurar

Figura 65 – Registo de interlocutor de cliente

Decidiu-se complementar a tabela do registo de clientes com a identificação do interlocutor (Figura 65). Aqui é possível obter mais informações úteis tais como o contacto telefónico, endereço eletrónico e, por exemplo, qual o número do gabinete que essa pessoa ocupa.



Exportação de dados

Exportação de avarias Registo de Clientes
Equipamentos Interlocutor do Cliente
Técnicos de Manutenção

Sair Voltar ao Index

Figura 66 – Visão geral de exportação de dados

A exportação de dados (Figura 66) é útil na medida em que permite que os dados sejam exportados em formato PDF, ou que sejam visualizados sem que sejam impressos.

É possível exportar e/ou imprimir os dados de qualquer tabela (Figura 67). No caso de serem, por exemplo, convertidos para PDF, serão visualizados todos os campos presentes para preenchimento em cada tabela.

Listagem de equipamentos			
			terça-feira, 12 de Dezembro de 2017
			01:21:12
Código de equipamento	Marca	Serial number	Tipo
ABBA000001	ABB	A000001	Analizador de Gases
ABBR000001	ABB	R000001	Refrigerador
ABBA000002	ABB	A000002	Analizador de Gases
ABBA000003	ABB	ABBA000003	Analizador de Gases
Durag000001	Durag	D000001	Opacimetro
ABBC000001	ABB	C000001	Convertidor
ABBR000002	ABB	R000002	Refrigerador
DuragDFL001	Durag	DFL001	Caudal
ABBA000004	ABB	A000004	Analizador de Gases
ABBA000005	ABB	A000005	Analizador de Gases
ABBR000003	ABB	R000003	Refrigerador
Durag000002	Durag	D000002	Opacimetro
ABBA000006	ABB	A000006	Analizador de Gases
ABBA000007	ABB	A000007	Analizador de Gases
ABBA000008	ABB	A000008	Analizador de Gases
ABBR000004	ABB	R000004	Refrigerador
Durag000003	Durag	D000003	Opacimetro
ABBA000009	ABB	A000009	Analizador de Gases
ABBA000010	ABB	A000010	Analizador de Gases
ABBR000005	ABB	R000005	Refrigerador
Durag000004	Durag	D000004	Opacimetro

Figura 67 – Representação de exportação de dados da base de dados para ficheiro

6.2 Considerações finais

A elaboração das ferramentas mencionadas na secção 6.1 foi bastante útil no que respeita ao estudo da quantidade de incidências verificadas assim como o estudo global das mesmas. Nelas foi possível estudar as projecções de fiabilidade para os sistemas assim como estudar o melhor método de manutenção aplicável de forma a maximizar a fiabilidade do sistema, e, claro, do processo de produção das instalações que assim não ficam privadas dos sistemas de amostragem e medida. Foi também útil a criação de uma ferramenta que possa agregar dados e informações de avarias assim como de intervenções realizadas individualmente para cada equipamento existente para que seja possível a elaboração de um histórico desses mesmos equipamentos.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

A presente monografia teve como objetivo o estudo e análise do perfil de intervenções de manutenção de equipamentos com alguma especificidade tanto no seu funcionamento como na sua utilidade.

É um trabalho bastante importante pois visou compreender e melhorar os procedimentos de manutenção com o foco de alcançar sempre índices de fiabilidade elevados, compreender as falhas e melhorar processos, o que implica menos paragens dos equipamentos devido a avarias inesperadas e, naturalmente, consequências para o processo produtivo assim como o cumprimento da legislação aplicável ao sector no que respeita a emissões ambientais.

Uma das componentes interessantes retiradas no estudo deste trabalho foi a pesquisa e o estudo da legislação aplicável, quais os métodos e formas de controlo de emissões e quais as garantias de qualidade e fiabilidade dos equipamentos de medição. O outro aspeto relevante foi o levantamento e documentar todas as avarias que haviam sido constatadas ao longo do período de análise – em muitos casos só se apresentou uma ocorrência de cada avaria, apesar de terem existido avarias que se repetiram mais do que uma vez ao longo do período analisado.

É expectável que no futuro a garantia de qualidade de manutenção assim como a fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos seja ainda mais maximizada, não só pelas obrigações legais que implicam novos e mais ambiciosos níveis de qualidade assim como pela responsabilidade civil das instalações industriais, numa temática cada vez mais problemática e preocupante que é a poluição atmosférica – e as suas consequências para o Planeta em que habitamos.

Referências Bibliográficas

1. "Organização e gestão da manutenção", *manutenção*, edição: Monitor, setembro de 2002 · isbn: 9789729413391. Pinto, Carlos Varela.
2. *Normalização na Manutenção, 10º Congresso Nacional de Manutenção - APMI, 19 de Novembro de 2009*. Coelho, Pedro.
3. Requisitos para prestação de serviços de manutenção. <http://intene.pt/qualidade/np-4492-requisitos-para-prestacao-de-servicos-de-manutencao/>. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
4. Garantia de Qualidade dos Sistemas de Monitorização Contínua. <http://www.industriaambiente.pt/noticias/garantia-qualidade-sistemas-monitorizacao-continuo-en14181/>. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
5. CEN/TR 15983.
6. European Standard EN15267.
7. MDL – Crédito de carbono e a solução ABB Analítica. [http://www02.abb.com/global/brabb/brabb155.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/49e79ac02139c680832574b80052ae73/\\$FILE/Fabio+Casa.pdf](http://www02.abb.com/global/brabb/brabb155.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/49e79ac02139c680832574b80052ae73/$FILE/Fabio+Casa.pdf). [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
8. Edition, International Standard ISO 6141 Third.
9. Infrared Spectroscopy. <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/infrared/infrared.htm>. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
10. Breve Revisão de Espectrometria de Massa e da Técnica PDMS. http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124802_03_cap_02.pdf. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
11. Fonseca, Inácio. *Manutenção e Controlo de Qualidade*.
12. Metano. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Metano>. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
13. Paul Jun, Michael Gibbs, and Kathryn Gaffney, "CH4 and N2O Livestock Manure". http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_2_CH4_and_N2O_Livestock_Manure.pdf. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
14. Nitrogen, Ammonia Emissions and the Dairy Cow. <https://extension.psu.edu/nitrogen-ammonia-emissions-and-the-dairy-cow>. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]
15. World, TRT. <https://www.trtworld.com/americas/cow-farts-and-climate-change-3872>. [Online] [Citação: 1 de dezembro de 2017.]

Anexos

Anexo A História do direito ambiental

O direito ambiental remonta ao século XIX. No entanto, a verdadeira intensificação verificou-se nos finais dos anos 60 muito devido ao desenvolvimento económico, aliado ao desenvolvimento industrial com o início de diversas atividades industriais com impacto ambiental.

Até aos anos 60, a preocupação ambiental residia numa utilização e gestão não danosa dos recursos naturais, recursos esses que passariam a ser tomados como bens de produção assim como bens de consumo.

O início da obrigatoriedade e da legislação ambiental dá-se em 1957 por ocasião do tratado de Roma. Apesar deste não ter dado origem a qualquer instrumento que permitisse às instituições comunitárias qualquer domínio sobre o ambiente, permitiu o início de forma voluntária da legislação ambiental.

O tratado de Roma permitiu também a criação de instituições supranacionais nos quais os estados membros cedem parte da sua soberania sobre determinadas competências.

Estava dado o primeiro passo em direção à união europeia.

Em 1962 e após observada a necessidade de um debate mais profundo sobre as temáticas ambientais, foi criado o Comité de peritos europeus para a conservação da natureza e dos recursos naturais que desenvolveu um maior número de ações de proteção ambiental.

Em 1970 foi publicada a declaração relativa ao ordenamento do ambiente na Europa, documento esse que pela primeira vez definiu os grandes princípios de ação em matéria de proteção ambiental.

Em 1972 Portugal envolveu-se na Conferência de Estocolmo. Esta conferência é amplamente reconhecida como um marco nas tentativas de melhorar as relações do homem com o Meio Ambiente. Procurava também a busca por equilíbrio entre desenvolvimento económico e redução da degradação ambiental – desenvolvimento sustentável.

Ao longo dos anos, o consumo dos recursos naturais por parte do homem era cada vez mais rápida, ao ponto de ser mais rápido o consumo do que a própria natureza era capaz de os repor. A problemática da existência de recursos a longo prazo era cada vez mais evidente.

A partir do século XIX a população humana multiplicou-se exponencialmente, aliada à revolução industrial, dotou o homem com capacidade tecnológica para afetar o meio ambiente

de forma irreversível. Era urgente uma mudança de paradigma e para isso era necessário discutir o tema e estabelecer metas tangíveis e realistas para parar esta evolução.

Apesar de não ter sido uma conferência consensual entre países desenvolvidos e países em fase de desenvolvimento, é um facto de que a problemática ambiental seria agora uma prioridade dos governos dos países assim como a sua consciencialização para o crescente aumento da população global, da poluição atmosférica assim como da intensa exploração dos recursos nativos.

O aumento crescente da poluição a nível mundial assim como a deterioração dos recursos naturais do planeta potenciou a adesão a ações de prevenção. Estavam lançadas as bases para que a humanidade se sentisse ameaçada, com um futuro negro. É neste período que começam a surgir leis para proteção dos recursos naturais e do planeta em si, que sancionava os infratores.

Em 1974 foi criada a Secretaria de Estado do Ambiente.

A última metade do século XX e início do século XXI são marcantes no que toca a acidentes ambientais (Tabela 24). Alguns deles ainda se manifestam até aos dias de hoje. Outros irão-se manifestar durante as próximas gerações.

Tabela 24- Desastres ambientais de 1950 a 2016

<i>Ano</i>	<i>Local</i>	<i>Desastre ambiental</i>	<i>Consequências</i>
1952	Austrália	Foi detetada radioatividade numa chuva de granizo, numa área com cerca de 3.000 km de distância dos testes nucleares realizados pelo Reino Unido.	Doenças provocadas pelo elevado nível de iodo.
1954	Oceano Pacífico	Teste com uma bomba nuclear de hidrogénio, foi feito pelos EUA no Atol de Biquíni, no Oceano Pacífico. A quantidade de partículas espalhadas foi o dobro da esperada e a mudança dos ventos levou as cinzas radioativas em direção às Ilhas Marshall, ao invés de levá-las para o oceano conforme o planeado.	Formou-se uma nuvem radioativa de aproximadamente 410 km de extensão e 75 km de largura, contaminando uma área estimada em 18.000 km ² . Vinte e três tripulantes de um navio pesqueiro japonês, o Fukuryu Maru 5, que pescavam na região cerca de duas semanas após o teste chegaram ao porto com doenças relacionadas com a contaminação por radiação. Peixes que chegaram posteriormente ao Japão, pescados na mesma região, também estavam contaminados. Esse episódio gerou uma campanha extensa de repúdio aos testes nucleares com participação de cientistas de renome como Albert Einstein e autoridades religiosas como o Papa Pio XII.

1956	Japão	Indústria química Chisso despeja 460 toneladas de matérias poluentes na baía de Yatsushiro.	Envenenamento de centenas de pessoas por mercúrio na ilha de Minamata. Mais de 1000 pessoas morrem e um número indeterminado sofre mutilações fruto desse envenenamento. A empresa foi obrigada a pagar mais de 600 milhões de dólares em indenizações e processos judiciais que se arrastam até hoje.
1967	Inglaterra	Naufrágio do petroleiro Torrey Cântion	Centenas de quilómetros da costa da Cornualha foram poluídos.
1969	EUA	Ocorreram mais de mil derramamentos de petróleo em águas americanas.	Impulsionou a regulamentação ambiental pelos danos causados ao meio ambiente.
1972	Brasil	Explosão na refinaria de Duque de Caxias, no Rio de Janeiro.	Totalizou 37 mortos e 53 feridos, devido a um erro de operação envolvendo gás liquefeito de petróleo (GLP). A explosão poderia ter tomado maiores proporções, mas conseguiu-se restringir a área da ocorrência.
1974	Reino Unido	Uma das mais graves explosões na história da indústria química do Reino Unido aconteceu na empresa Nypro, em Flixborough.	Este evento teve supra importância para alertar a indústria e o público do perigo potencial das grandes instalações químicas e levou a uma intensificação na prevenção de acidentes e perdas e na procura de maior controlo público destas instalações. Morreram 28 pessoas e 36 ficaram feridas. 1821 casas, 167 lojas e fábricas foram danificadas com o impacto da explosão.
1976	Itália	Na Indústria química ICMESA ocorreu um sobre aquecimento de um dos reatores que provocou a libertação de uma nuvem de produtos altamente tóxicos.	Este acidente estendeu-se por 1700 hectares e atingiu cerca de 40000 pessoas na cidade de Seveso.
1977	EUA	Despejo indevido de hexaclorociclopenteno na rede de esgoto de Louisville, pela empresa Chen Dine.	Em causa colocou em risco a saúde de 37 funcionários da estação que esteve interdita por 3 meses para descontaminação e limpeza.
1978	Brasil	O navio Brazilian Marina esvazia 6.000 toneladas de petróleo no canal de São Sebastião (São Paulo). A mancha deslocou-se até ao litoral do Rio de Janeiro. Foi necessária a ajuda da guarda costeira americana nos trabalhos de limpeza, executados pela Petrobras e CETESB.	Destruição da fauna, flora e das espécies marítimas. Ficaram também afectadas as principais praias da costa brasileira tão conhecida pelas suas fantásticas praias e areal.
1979	EUA	Acidente nuclear ocorre na empresa Metropolitan Edison em Three Mile Island. Uma série de equívocos levaram à perda da água que	Doenças provocadas pelo elevado nível de iodo.

		refrigerava o reator nuclear, causando um vazamento de radioatividade. Este foi um dos acidentes mais sérios na indústria nuclear dos EUA.	
1980	Brasil	Pólo petroquímico e siderúrgico de Cubatão.	Detetados os primeiros casos de problemas pulmonares, anomalias congénitas e abortos involuntários em moradores da região do polo petroquímico e siderúrgico de Cubatão (São Paulo).
1981	México	Descarrilamento de um comboio que resultou no vazamento de cloro liquefeito em Montana.	A vegetação da área foi atingida pela nuvem de fumo causada. Esta foi detetada numa área de 40.000 m ² . Morreram 17 pessoas e cerca de 1.000 ficaram intoxicadas.
1982	Canadá	Chuvas ácidas provocadas por gases tóxicos formados pela queima de combustíveis.	Morte de peixes em 147 lagos. O governo canadiano acusa o governo americano de indiferença face a esta catástrofe ambiental.
1984	Brasil	Rompimento de um oleoduto da Petrobrás.	Explosões e incêndios acabam com a vida na favela de Vila Soco, matando mais de 150 pessoas e ferindo mais de 200.
	Brasil	Incêndio em Cubatão. Vazamento de petróleo cru em rios da Grande Curitiba e o Desastre de Cataguases.	O acidente destruiu completamente as instalações da refinaria, lançando gotas de GLP a grandes distâncias, que se inflamavam ao tocar nas superfícies aquecidas pelo incêndio. Numerosas partes metálicas dos tanques foram ejetadas a distâncias de até 1.200 m. Cerca de 500 pessoas morreram e 4.000 ficaram feridas.
	Índia	Despejo de Iso cianeto de metila de uma fábrica de pesticidas.	Foi um dos piores desastres da história. Aconteceu em Bhopal, com um vazamento de gases tóxicos, na fábrica da Union Carbide. Foi causada a morte a cerca de 8.000 pessoas e a intoxicação de mais de 200.000. Após este acidente a Union Carbide abandonou a área mas uma grande quantidade de produtos perigosos ficou no local. Ainda hoje se sentem esses efeitos. Os reservatórios de água potável da região foram contaminados e as crianças continuam a sofrer pelos efeitos da contaminação da área. Anote-se no entanto que vários acidentes já haviam ocorrido nas instalações da empresa entre 1981 e 1984. Em 1981, uma pessoa morreu devido a um vazamento de fósforo e em 1982, 21 funcionários, além de moradores da região, foram contaminados pelo vazamento de metilisocianeto, ácido clorídrico e clorofórmio.

	México	Despejo de tanques e botijas de gás causando explosões sucessiva	Causou a morte a mais de 500 pessoas e ferimentos em cerca de 4000.
1986	URSS	Explosão de um dos quatro reatores da central atômica de Chernobyl.	Trinta e uma pessoas perderam a vida e mais de 40.000 ficaram sujeitas ao risco de cancro nos 100 anos subsequentes.
1987	México	Manuseamento de uma cápsula de Césio 137 numa sucata.	Contaminação de dezenas de pessoas com morte em poucos dias.
1988	Mar do Norte ao lado da Escócia	Explosão na plataforma de petróleo da empresa Piper Alpha no Mar do Norte.	Devido à grande fumaça formada pelo incêndio que se seguiu, muitos trabalhadores não tiveram acesso aos botes de salvamento e acabaram por morrer. Escaparam 62 pessoas que desceram por cordas ou saltaram, 167 morreram.
1989	Alasca	Acidente do petroleiro Exxon Valdez com derrame de 41,5 litros de petróleo	Cerca de 580.000 aves, 5.550 lontras e milhares de outros animais morreram no maior acidente ambiental da história dos EUA.
	URSS	Vazamento de gás liquefeito de petróleo (GLP) em Ufa, nas tubulações paralelas à ferrovia de Trans-Siberiana, que terminou numa explosão e incêndio. Com o vazamento, formou-se uma nuvem de vapor que sofreu ignição com a entrada de ar em turbulência pelo movimento dos comboios na área.	Com a explosão, os comboios descarrilaram e 462 pessoas morreram, 706 feriram-se e a vegetação da área foi toda queimada.
1993	Reino Unido	Acidente do petroleiro Braer com derrame de 80 milhões de galões de petróleo.	Este foi considerado o pior acidente britânico causando a morte a muitas espécies.
2000	Brasil	Despejo de uma saída da Petrobrás que em 4 horas vazou 1,3 milhões de litros de óleo nas águas da baía da Guanabarra	Contaminação de solos muito essenciais à sobrevivência da população da região.
2002	Oceano Pacífico (Galápagos)	Iguanas das ilhas Galápagos morrem um ano após um acidente com petroleiro. Cientistas apontam que mesmo um derramamento de óleo pequeno pode causar sérios prejuízos a longo prazo. Se o acidente tivesse ocorrido quando os suprimentos de alimentos não são tão abundantes como eram na época, todas as iguanas da ilha poderiam ter desaparecido. A maior parte dos 605.000 litros de óleo que foram derramados dispersaram pelas fortes correntes oceânicas, poupando as criaturas marítimas mais raras do mundo e pássaros que habitam as ilhas.	Ainda não há certeza mas suspeita-se que o óleo possa ter contaminado as iguanas, as algas marinhas que elas comem ou que as iguanas se recusaram a comer porque as algas estavam contaminadas. Outra explicação é a de que o óleo tenha matado microrganismos necessários às iguanas para as ajudar a digerir as algas. Corretas são as baixas nas iguanas da região.

2003	Espanha	<p>O petroleiro Prestige, com 77.000 toneladas de óleo, enfrenta uma tempestade na costa da Espanha. Após o início do despejo do óleo, com o rompimento do casco do navio, as autoridades espanholas decidiram rebocar o navio para águas mais calmas, a fim de retirar o óleo dos tanques com segurança.</p> <p>O petroleiro não resistiu à operação e partiu-se em dois, afundando no oceano Atlântico. Mais de 47.000 toneladas de óleo já foram recolhidas do mar e de terra firme desde o naufrágio, atingindo Espanha, França e Portugal. Mais de 52.000 toneladas de resíduos foram recolhidas do mar, o que corresponde a pelo menos 23.000 toneladas de óleo.</p>	<p>Contaminação de cerca de 77 mil toneladas de óleo nas águas da região da Galiza e arredores, provocando a morte elevadíssima das espécies marinhas especialmente em Espanha.</p>
	Brasil	<p>As empresas Florestal Cataguazes, Indústria Cataguases de Papel e Iberpar Empreendimentos e Participações, são responsabilizadas pelo acidente ambiental causado pelo despejo de 1,2 bilhões de litros de resíduos tóxicos nos rios Pomba e Paraíba do Sul, em Cataguases (Minas Gerais).</p>	<p>Os resíduos alcançaram 16 cidades (5 em Minas Gerais, 9 no Rio de Janeiro e 2 no Espírito Santo) e afetaram as atividades de pesca, rega e o abastecimento de água. O solo nas margens dos rios atingidos ficou sem condições sequer para o crescimento da vegetação. As atividades agrícolas na região do acidente ficaram imediatamente comprometidas. No futuro o solo pode tornar-se ainda mais crítico devido à interação entre os resíduos e o ambiente.</p>
2005	Brasil	<p>CETESB lacra mais de 12 poços artesianos de empresas da zona do sul de São Paulo. Os mesmos estavam contaminados por compostos organoclorados. No total foram fechados 19 poços de 15 empresas instaladas na região.</p> <p>A contaminação da água subterrânea foi descoberta apenas em 2001 mas só 4 anos após esta descoberta ações foram empreendidas para acabar com a contaminação em virtude de uma auto denúncia da Gillette do Brasil face à aquisição desses terrenos pela Duracell.</p>	<p>Foram detetadas presenças de substâncias tóxicas na água e no solo (organoclorados). Estas substâncias são tão nocivas que conseguem no ser humanos provocar danos ao nível dos rins, fígado e sistema nervoso central, além de serem potencialmente cancerígenas.</p>
2010	EUA	<p>Rompimento de uma conduta na Galp.</p>	<p>Causou a morte de 11 trabalhadores e um infindável número de prejuízos na fauna e na flora do Golfo do México.</p>
2011	Japão	<p>Sismo seguido de Tsunami afetou os reactores da central nuclear de Fukushima.</p>	<p>Causou a morte a milhares de pessoas e os dados exatos dos custos associados ao acidente ainda estão por determinar.</p>

2012	Oceano Atlântico	Furacão Gordon	Ciclone tropical tendo atingido a categoria 2. Não houve registo de mortes.
2013 a 2017	Mundo	Diversos	Diversas condições climáticas adversas fora de época por todo o Mundo resultado das alterações climáticas.

Podemos facilmente concluir que os desastres ambientais nos últimos 60 anos têm sido inúmeros. Há outros problemas, que apesar de não serem visíveis são de igual forma preocupantes: a subida das temperaturas médias, fenómeno este de que não há duvida que tem sido provocado aos poucos pelo homem, não só pelos constantes aumentos de emissões de gases com efeito estufa assim como pelo grande rombo e delapidação das florestas tropicais.

As sequelas são irreversíveis e é urgente mudar.

Em resposta a estas situações, foram criados os organismos que estão encarregues dos assuntos ambientais onde estão incluídos temas tais como a legislação.

Mas, não são apenas os desastres ambientais que têm contribuído para a diminuição da camada de ozono e conseqüente aumento dos gases com efeito estufa.

Um dos fatores que tem contribuído para o aumento substancial das emissões de metano (CH₄) é o gado.

O metano é um gás incolor que quando misturado com o ar, transforma-se numa mistura de alto teor inflamável. (12) As principais fontes de gás metano são minas de carvão, decomposição de resíduos orgânicos, fontes naturais tais como pântanos, fontes de extração de combustível mineral, bactérias e processos de digestão de animais.

A criação de gado que acontece por todo o mundo, é um contribuidor significativo para as emissões de gás metano (13). Essas condições ocorrem quando uma significativa quantidade de animais são criados numa área limitada onde o estrume é tipicamente armazenado em grandes pilhas ou despejado em efluentes ou mesmo lagoas. Durante o processo de nitrificação-desnitrificação é produzido e libertado óxido nitroso, que é também um gás responsável pelo efeito estufa.

O principal fator que afeta a emissão de metano para a atmosfera é a quantidade de estrume que é produzido e que é naturalmente decomposto. A quantidade de estrume produzido pode ser facilmente estimado através de um valor médio de estrume produzido por animal e a

quantidade de animais existentes em determinada exploração. A decomposição do estrume é naturalmente afetada pela temperatura ambiente existente.

Alguns produtores (assim como em alguns aterros) reduzem a quantidade de metano que escapa para a atmosfera através da construção de sistemas de retenção de metano, metano esse que é queimado ou utilizado como combustível para caldeiras, sistemas de aquecimento ou em geradores. A produção de óxido nitroso durante o armazenamento e tratamento de lixo orgânico animal pode ocorrer através de processos de nitrificação e desnitrificação do nitrogénio existente nos resíduos. A quantidade de nitrogénio depende do sistema utilizado e a duração da gestão de resíduos.

O estrume de gado é primariamente constituído por material orgânico e água. A sua decomposição resulta na produção de metano, dióxido de carbono e outros componentes que irão depender da composição da matéria ingerida pelo animal.

A quantidade de metano produzida durante a decomposição é influenciada pelas condições climáticas e a forma como o estrume é armazenado. Um bom sistema de armazenamento é um dos fatores chave para o controlo da produção de metano, produção essa que é afetada por fatores externos tais como o contacto com o ar ambiente (oxigénio), água e níveis de pH.

Animais ruminantes não otimizam a utilização diária de nitrogénio. O excesso de nitrogénio nestes animais na forma de alimento e de proteínas, são excrementados em estrume. Diariamente uma vaca segrega em leite cerca de 25 a 35% de nitrogénio que consome. O restante é segregado em urina e fezes.

O nitrogénio em estrume pode ser convertido em amónia através de degradação bacteriana, primariamente a conversão de ureia urinária em amónia. A urease (que é uma enzima que catalisa a hidrólise da ureia) é produzida por micro-organismos nas fezes reage com a ureia urinária formando de forma rápida a amónia. Ou seja, a concentração de ureia urinária é um fator bastante importante para a determinação da quantidade de amónia a ser produzida.

No entanto, os resíduos fecais emitem quantidades mínimas de amónia. O processo físico de combinação com urina e fezes em superfície (chão) é que resultam em volatilização da amónia. A volatilização da amónia é afetada pela temperatura, velocidade do ar, pH, área de superfície do chão, quantidade de mistura e tempo de armazenamento. Se estivermos perante um ambiente com elevada temperatura e elevado pH, ocorre uma aceleração na produção e emissão de amónia.

As diversas agências de proteção ambiental, onde se inclui Portugal, consideram a amónia uma séria ameaça à qualidade do ar assim como uma ameaça à qualidade das águas em bacias hidrográficas.

A amónia depois de libertada na atmosfera pode reagir com gases de combustão, por exemplo, com ácido nítrico e ácido sulfúrico que formam nitratos de amónia ou sulfatos e amónia. Estes novos compostos gerados são os precursores para o desenvolvimento de partículas de matéria, vulgarmente conhecidos por PM2.5, partículas essas que estão provadas que podem causar problemas respiratórios assim como contribuem para neblinas e fraca visibilidade (14).

As emissões de amónia têm tipicamente uma duração de vida reduzida que podem ir desde várias horas até alguns dias.

No Planeta existem cerca de 1.6 biliões de vacas que libertam cerca de 100 kg de metano para a atmosfera todos os anos. O número pode não ser muito representativo, mas, o impacto do metano nas variações climáticas é cerca de 23 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO₂) (15). O metano vai desta forma contribuir para o aquecimento do planeta.

Cada vaca emite substancialmente o mesmo do que um automóvel que queime cerca de 1000 litros de combustível por ano. São responsáveis por cerca de 18% do total de gases que contribuem para o efeito estufa no planeta, todos os anos. Ou seja, são ainda mais poluentes do que todo o sector de transportes, junto.

O metano é um gás que demora cerca de 10 anos a dissipar (contrariamente ao CO₂ que demora dezenas de anos).

Face a este acontecimento natural, existem já estudos e testes já realizados em que através de adição de algas marinhas às rações consumidas por estes animais, os valores de emissão de metano baixaram consideravelmente. Em alguns casos, baixaram para valores muito abaixo de 20% do emitido anteriormente. Ou seja, através da alteração da ração dada aos animais, foi e é possível reduzir emissões. Será o equivalente a retirar milhões de carros das estradas, todos os anos.

Anexo B Educação ambiental em Portugal

Antes do 25 de Abril de 1974, em Portugal este assunto não era falado. Só após o ano de 1976 com a inclusão de Portugal na antiga CEE é que estes assuntos passaram a vigorar na esfera nacional, muito por influência europeia mas também por vontade do país se evidenciar.

Foi então criada a Lei de Bases (Lei n.º 11/87 de 7 de Abril) que abriu portas ao Direito do Ambiente em Portugal.

Nos escritos da lei de bases, estava implícito que o não cumprimento pelas regras da poluição poderia culminar no encerramento de atividade económicas – algo impensável de ser legislado até à data. No entanto, a realidade seria outra totalmente distinta. Muito se legislou nesta área desde os anos 80 até à atualidade. Muito se debateu até aos dias de hoje. Algumas medidas de mudança de consumo também foram tentadas em Portugal. Os assuntos de matéria ambiental em Portugal são relativamente recentes, razão pela qual a grandeza das normas também não é muito elevada.

Tabela 25 - Evolução da legislação ambiental em Portugal

<i>Década</i>	<i>Leis/outro instrumento normativo</i>	<i>Designação/ação</i>
80	Decreto-Lei n.º 488/85	Classificação e normas de gestão dos resíduos em geral
	Lei n.º 10/87	Lei das Associações de Defesa do Ambiente
	Lei n.º 11/87	Lei de Bases do Ambiente
	Decreto-Lei n.º 251/87	Aprova o Regulamento Geral sobre o ruído
	Decreto-Lei n.º 176-A/88	Planos Regionais de Ordenamento do Território
	Decreto-Lei n.º 172/88	Proteção do montado de sobro
	Decreto-Lei n.º 174/88	Obrigatoriedade de manifestar o corte de ou arranque de árvores
	Decreto-Lei n.º 175/88	Obrigatoriedade de autorização oficial para plantações de eucaliptos com mais de 50 hectares de contínuo
	Decreto-Lei n.º 139/88	Rearborização de áreas ardidas
	Decreto-Lei 180/89	
Decreto-Lei n.º 196/89	Define as áreas de reserva Agrícola Nacional (RAN)	
90	Despacho n.º 16/90	Tratamento dos resíduos hospitalares
	Decreto-Lei n.º 68/90	Planos Municipais de Ordenamento de Território (PDM, PGU e PP)
	Decreto-Lei n.º 74/90	Normas da qualidade da água
	Decreto-Lei n.º 93/90	Define as áreas de Reserva Ecológica Nacional (REN)
	Decreto-Lei n.º 186/90	Obrigatoriedade da elaboração dos estudos de Impacto Ambiental (EIA) para grandes projetos
	Decreto Regulamentar n.º 38/90	

	Decreto-Lei n.º 302/90	Regime de gestão urbanística do litoral
	Decreto-Lei n.º 327/90	Proibição, pelo prazo de 10 anos, de construções e alterações do coberto original de áreas ardidas
	Decreto-Lei n.º 352/90	Regula a Qualidade do ar
	Decreto-Lei n.º 367/90	Revê Decreto-Lei anterior
	Decreto-Lei n.º 213/92	Aplicação da REN aos PDM
	Decreto-Lei n.º 274/92	Aplicação da RAN aos PDM
	Lei n.º 65/93	Acesso à informação sobre Ambiente
	Decreto-Lei n.º 19/93	Estabelece as normas das áreas protegidas
	Decreto-Lei n.º 309/93	POOC-Planos de Ordenamento da Orla Costeira
	Decreto-Lei n.º 379/93	Permite e regulam o acesso dos privados à captação, tratamento e rejeição de efluentes, bem como o abastecimento de águas de consumo.
	Decreto-Lei n.º 319/94	
	Decreto-Lei n.º 25/95	
	Decreto-Lei n.º 46/94	Regime de licenciamento (utilização do Domínio público hídrico)
	Decreto-Lei n.º 47/94	Estabelecimento de taxas de utilização
	Decreto-Lei n.º 45/94	Regula o Planeamento dos recursos hídricos
	Portaria n.º 1058/94	Fixa os valores-limite e valores guia para diversos poluentes
	Disp. Conj. n.º 94	Regime de exceção aos PROT para os empreendimentos turísticos estruturantes
	Resol. Cons. Min. n.º 38/95	Plano Nacional da Política de Ambiente
	Portaria n.º 189/95	Aprova o mapa de registo de resíduos industriais
	Decreto-Lei n.º 310/95	Lei dos resíduos - regras a que fica sujeita a gestão dos resíduos
	Decreto-Lei n.º 33/96	Lei de Bases da Política Florestal
	Resol. Cons. Min. n.º 102/96	Integração de políticas sectoriais nas Áreas Protegidas, considerando-as áreas prioritárias de investimento
	Portaria n.º 313/96	Regras de funcionamento para as embalagens reutilizáveis
	Portaria n.º 125/97	Reduz os valores-limite de emissão dos principais poluentes
	Portaria n.º 174/97	Regras para tratar os resíduos perigosos hospitalares
	Portaria n.º 178/97	Mapas obrigatórios de resíduos hospitalares
	Decreto-Lei n.º 140/99	Revê a transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 79/409/CEE (relativa à conservação das aves selvagens) e da Diretiva n.º 92/43/CEE (relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens).
2000 a 2010	Decreto - Lei n.º 69/2000	Aprova o regime jurídico da Avaliação de Impacto Ambiental, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 85/337/CEE, com as alterações introduzidas pela Diretiva n.º 97/11/CE.
	Portaria n.º 330/2001	Fixa as normas técnicas para a estrutura da proposta de definição do âmbito do EIA (PDA) e normas técnicas

	para a estrutura do estudo do impacto ambiental (EIA).
Despacho n.º 11091/2001	Determina procedimentos para projetos de instalações de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis.
Despacho n.º 11874/2001, de 5 de Junho (2ª série)	Define o formato das aplicações informáticas dos ficheiros que o proponente fica obrigado a entregar, contendo as peças escritas e desenhadas das diferentes fases da AIA, para divulgação na Internet.
Despacho n.º 12006/2001	Define procedimentos para o licenciamento de parques eólicos em zonas sensíveis e a sua articulação com os regimes da Reserva Ecológica Nacional e da AIA.
Portaria n.º 123/2002	Define a composição e o modo de funcionamento e regulamenta a competência do Conselho Consultivo de Avaliação de Impacto Ambiental.
Resolução da Assembleia da República n.º 11/2003	Aprova, para ratificação, a Convenção sobre Acesso à Informação, Participação do Público no Processo de Tomada de Decisão e Acesso à Justiça em Matéria de Ambiente, assinada em Aarhus, na Dinamarca, em 25 de Junho de 1998.
Decreto-Lei n.º 197/2005	Aprova o regime jurídico da avaliação de impacto ambiental dos projetos públicos e privados suscetíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, constituindo um instrumento fundamental da política de desenvolvimento sustentável.
Portaria n.º 1257/2005	Revê as taxas a cobrar no âmbito do procedimento de avaliação de impacto ambiental (AIA).
Despacho n.º 14424/2005	Nomeia os membros do Conselho Consultivo de AIA no triénio 2005-2008.
Declaração de Retificação n.º 2/2006	Retificação de alguns aspetos do Decreto-Lei n.º 197/2005.
Decreto-Lei n.º 232/2007	Estabelece o regime a que fica sujeita a avaliação dos efeitos de determinados planos e programas no ambiente, transpondo para a ordem jurídica interna as Diretivas 2001/42/CE e 2003/35/CE.
Decreto-Lei n.º 285/2007	Aprova o regime dos projetos PIN+, estabelecendo regras para a AIA destes projetos e encurtando os prazos dos respetivos procedimentos.
Decreto-Lei n.º 316/2007	Altera o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJGT), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 380/99, introduzindo alterações decorrentes da transposição da Diretiva 2001/42/CE sobre avaliação ambiental dos planos e programas, estabelecendo, nomeadamente, os procedimentos para a avaliação ambiental dos planos de ordenamento do território (sectoriais, especiais, regionais e municipais).
Decreto-Lei n.º 173/2008 (Diploma PCIP)	Aprova o regime de contratação de empreitadas de obras públicas, de locação ou aquisição de bens móveis e de aquisição de serviços que combine a celeridade processual exigida pela concretização dos referidos projetos com a defesa dos interesses do Estado e uma rigorosa transparência dos gastos públicos.

Despacho n.º 31195/2008	Nomeia os membros do Conselho Consultivo de AIA no triénio 2009-2011.
Portaria n.º 1067/2009	Atualiza os valores das taxas a cobrar pelas Autoridades de AIA.

A função destes organismos consiste no controlo da poluição e na gestão das áreas protegidas. Com os mesmos foi dado um impulso quantitativo e qualitativo, quer ao nível financeiro, jurídico e até mesmo institucional. Ao nível financeiro devido à canalização de fundos que vinham da CEE para os mais diferentes fins. Apesar das obras realizadas, Portugal continua ainda hoje a ter um longo caminho a percorrer de múltiplos investimentos a serem necessários realizar. Particularmente os investimentos em infraestruturas básicas, como por exemplo nas áreas de abastecimento e saneamento de águas, que começam agora a chegar às vilas e aldeias. O tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais, que carece não só de mais centrais de tratamento de lixo, mas principalmente a educação do cidadão português em separar as embalagens usadas e facilitar o processo de recolha e tratamento dos detritos domésticos e, estender inclusivamente esta instrução aos empresários nacionais. A gestão da natureza, dado que a maioria dos terrenos baldios, pinhais, montes e outros patrimónios rústicos continuam sem cultivo e totalmente ao abandono.

A elaboração e introdução de normas nos estados membros da União Europeia da qual Portugal faz parte, a nível nacional, denota-se com alguma resistência e fraqueza na sua aplicação tendo como consequências o seu fraco e carente desenvolvimento nacional.

Anexo C Exemplo de carta de controlo *Shewhart*

A incerteza global é calculada através da soma de todas as incertezas associadas ao equipamento.

$$S_{ams} = \sqrt{u^2_{inst} + u^2_{temp} + u^2_{volt} + u^2_{pres} + u^2_{outros}}$$

em que:

u^2_{inst} é a incerteza da instabilidade

u^2_{temp} é incerteza devido às variações da temperatura ambiente

u^2_{volt} é a incerteza devido às variações na tensão

u^2_{pres} é a incerteza devido às variações na pressão ambiente

u^2_{outros} é a incerteza associada a outro tipo de incertezas existentes

Na generalidade, cada AMS realiza apenas um controlo para cada componente. O limite de alerta pode então ser definido por:

$$y \pm \frac{2s_{ams}}{\sqrt{n}}$$

No caso de o AMS realizar mais do que um controlo para cada componente:

$$y \pm 2s_{ams}$$

Onde y é o valor medido e n o número de repetições (consecutivas) do teste.

O limite de ação pode então ser definido por:

$$y \pm \frac{3s_{ams}}{\sqrt{n}}$$

No caso de o AMS realizar mais do que um controlo para cada componente:

$$y \pm 3s_{ams}$$

Tem que ser impostas regras no controlo para decidir a tomada ou não de alguma ação de decisão. São elas:

- Um ou mais pontos acima do limite;
- Dois ou três pontos consecutivos acima do limiar de alerta;

- Quatro de cinco pontos consecutivos acima do limite de alerta;
- Oito pontos consecutivos acima da linha central;
- Seis pontos consecutivos com sintoma de tendência de crescimento ou de decrescimento.

Exemplo 1:

Medidor de partículas Durag DR300 com ciclos de verificação automática a cada 4 horas com valor de referência em zero como sendo de 0.137 mg/m^3 e valor em *span* de 27.467 mg/m^3 Incerteza do equipamento em zero de acordo com a EN 14181:2004 QAL1 (Quality Assurance Level) e de acordo com a ISO 14956:2002. Os resultados de teste em zero e teste em *span* encontram-se respetivamente na Tabela 26 e Tabela 27.

Incerteza Sams em zero: 0.223 mg/m^3

Incerteza Sams em *span*: 1.2622 mg/m^3

Tabela 26 – Teste em zero para medidor de partículas Durag DR300

Ponto	1	2	3
Data	11-04-2017 @ 4:15	11-04-2017 @ 8:15	11-04-2017 @ 12:15
Valor medido	0.012	0.203	1.025
n	1	1	1
Valor de referência	0.137	0.137	0.137
dt	-0.125	0.066	0.012
HH	0.806	0.806	0.806
H	0.583	0.583	0.583
L	-0.309	-0.309	-0.309
LL	-0.532	-0.532	-0.532
AL1	Não	Não	Sim
AL2	Não	Não	Não
AL3	Não	Não	Não
AL4	Não	Não	Não

Tabela 27 – Teste em *span* para medidor de partículas Durag DR300

Ponto	1	2	3
Data	11-04-2017 @ 4:15	11-04-2017 @ 8:15	11-04-2017 @ 12:15
Valor medido	27.205	27.205	21.103
n	1	1	1

Valor de referência	27.467	27.467	27.467
dt	-0.262	-0.308	-6.364
HH	30.992	30.992	30.992
H	29.729	29.729	29.729
L	24.681	24.681	24.681
LL	23.418	23.418	23.418
AL1	Não	Não	Sim
AL2	Não	Não	Não
AL3	Não	Não	Não
AL4	Não	Não	Não

Interpretação de valores (no caso do *span*):

O equipamento em questão, a cada 4 horas realiza um teste de auto verificação do ponto zero e *span* por forma a cumprir com os requisitos legais de QAL1. Os valores de referência são sempre constantes e são obtidos com o equipamento em pleno funcionamento, calibrado e aferido. Estes valores são expressos em mg/m^3 após conversão de valor de corrente em mA para mg/m^3 .

Existem critérios para avaliar a real necessidade de intervenção no equipamento nos quais são definidos alertas que podem ou não implicar intervenção.

n = Quantidade de testes realizados

dt = valor medido – valor de referência

HH = Limite de ação máximo

H = Limite de alerta máximo

L = Limite de alerta mínimo

LL = Limite de ação mínimo

AL1 = Um ou mais pontos acima/abaixo do limite

AL2 = Dois ou três pontos consecutivos acima do limiar de alerta;

AL3 = Quatro de cinco pontos consecutivos acima do limite de alerta;

AL4 = Oito pontos consecutivos acima da linha central

A leitura do valor seja durante o procedimento de “zero” ou de *span* implica que seja registado um valor de medição. Como para ambos os pontos existe uma incerteza de medição, o valor medido durante o procedimento terá que se encontrar sempre dentro da faixa definida como limite de alerta ou limite de acção do equipamento. No caso de serem detectadas medições fora destes intervalos, pode implicar que o equipamento já não se encontre a medir correctamente, pelo que os valores poderão estar a ser influenciados por algum factor externo (o caso de uma

avaria) e este deverá ser intervencionado a fim de se corrigir a anomalia e repor o normal funcionamento do mesmo. A necessidade de acção a tomar é definida pelo operador da instalação tal como referido anteriormente.

A interpretação para valores de zero é igual como descrito anteriormente.

Exemplo 2:

Analizador multigases ABB ACF-NT com ciclos de verificação automática a cada 12 horas.

No caso deste equipamento, é verificado o *span* da medida de O₂ com valor de referência de 20.96% de O₂. Para a verificação de medida dos restantes componentes, é necessária intervenção manual no equipamento.

A Incerteza do equipamento em zero é definida de acordo com a EN 14181:2004 QAL1 e de acordo com a ISO 14956:2002. Os resultados de teste em zero e teste em *span* encontram-se respetivamente na

Tabela 28 e Tabela 29.

Componente: **CO**

Incerteza Sams em zero: 28.47 mg/m³

Incerteza Sams em *span*: 60.09 mg/m³

Tabela 28 – Teste em zero para componente gasoso

Ponto	1	2
Data	11-04-2017 @ 7:57	11-04-2017 @ 19:57
Valor medido	0.012	13.452
n	1	1
Valor de referência	0	0
dt	0.012	13.452
HH	85.41	85.41
H	56.94	56.94
L	-56.94	-56.94
LL	-85.41	-85.41
AL1	Não	Não
AL2	Não	Não
AL3	Não	Não
AL4	Não	Não

Tabela 29 – Teste em *span* para componente gasoso

Ponto	1	2	3
Data	11-04-2017 @ 10:15	11-04-2017 @ 15:15	11-04-2017 @ 17:12
Valor medido	1521	1403	1302
n	1	1	1
Valor de referência	1613	1613	1613
dt	-92	-210	-311
HH	1793.27	1793.27	1793.27
H	1733.18	1733.18	1733.18
L	1492.82	1492.82	1492.82
LL	1432.73	1432.73	1432.73
AL1	Não	Não	Sim
AL2	Não	Não	Não
AL3	Não	Não	Não
AL4	Não	Não	Não

Interpretação de valores (no caso do *span*):

Apesar de no 2º teste o valor medido ter sido mais baixo (1403 mg/m³), o valor já se encontra dentro do limiar de alarme mas ainda fora do limiar de ação.

No 3º teste o valor medido fica mesmo abaixo do limiar de ação, logo deverá ser tomada uma ação de forma a corrigir o desvio detetado na medida. Os ensaios realizados contemplaram apenas um ensaio. No caso de mais do que um ensaio ($n > 1$), será possível estabelecer um gráfico com os valores medidos e desta forma determinar os resultados de forma igual (apenas com a diferença dos testes serem repetidos o que confere uma maior exatidão nos resultados obtidos).

Exemplo 3:

Analizador multigases ABB ACF-NT com ciclos de verificação automática a cada 12 horas.

No caso deste equipamento, é verificado o *span* da medida de O₂ com valor de referência de 20.96 % de O₂. Para a verificação de medida dos restantes componentes, é necessária intervenção manual no equipamento. A incerteza do equipamento em zero de acordo com a EN 14181:2004 QAL1 e de acordo com a ISO 14956:2002. Os resultados do teste em *span* encontram-se na

Tabela 30.

Componente: **O2**

Incerteza Sams em zero: 0.33 %

Incerteza Sams em *span*: 0.40 %

Tabela 30 – Teste em *span* para componente gasoso

Ponto	1	2
Data	11-04-2017 @ 7:57	11-04-2017 @ 19:57
Valor medido	19.867	23.214
n	1	1
Valor de referência	20.96	20.96
dt	-1.093	2.254
HH	22.16	22.16
H	21.76	21.76
L	20.16	20.16
LL	19.76	19.76
AL1	Não	Sim
AL2	Não	Não
AL3	Não	Não
AL4	Não	Não